

Diagnostic et préparation d'un plan d'action multidisciplinaire pour réduire les impacts, chez les porcs, de la contamination des grains par les mycotoxines

Rapport final

Marie-Josée Turgeon, M. Sc., agr.
Marie-Pierre Fortier, stagiaire
Robert Fillion, agr.



Source : Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ)

Août 2009

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Centre de développement du porc du Québec inc.
Robert Fillion, Marie-Pierre Fortier, Élise Gauthier, Jacques Godbout, Johanne Nadeau,
Monia Tremblay et Marie-Josée Turgeon

Janie Lévesque, agronome consultante

Association québécoise des industries de nutrition animale et céréalière
Emmanuelle Lewis (Agri-Marché inc), Michel Vignola (Nutreco), Sylvie Richard et
Sébastien Lacroix

Centre de recherche sur les grains inc.
Sylvie Rioux, Gilles Tremblay

Université Laval
Jean-François Bernier, Frédéric Guay

Université de Montréal
Younès Chorfi

Agriculture et Agroalimentaire Canada
Martin Lessard

Centre québécois de valorisation des biotechnologies
Dora Rodriguez

REMERCIEMENTS

Ce projet a été rendu possible grâce à la participation financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) dans le cadre du programme d'appui financier aux associations de producteurs désignées – Volet « Initiatives » et du programme d'appui aux initiatives des tables filières québécoises - Volet Renouveau du cadre stratégique agricole canadien, de la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ) ainsi qu'à l'implication de plusieurs chercheurs et organisations, dont le Centre de recherche sur les grains inc. (CEROM), le département des sciences animales de l'Université Laval, la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal, Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), l'Association québécoise des industries de nutrition animale et céréalière (AQINAC), le Centre québécois de valorisation des biotechnologies (CQVB) et le Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ).

Nous remercions sincèrement toutes les personnes impliquées ainsi que les experts consultés car leur collaboration et leur grande participation permettent le succès de ce projet.



Table des matières

REMERCIEMENTS	II
CONTEXTE DE REALISATION DU PROJET	1
Objectif général du projet.....	2
Objectifs spécifiques de travail	3
Les retombées anticipées par la Table filière porcine.....	3
Méthodologie.....	4
PARTIE 1 : DIAGNOSTIC (ETAT DE LA SITUATION, IMPACTS ET BONNES PRATIQUES).....	6
Groupe de travail pluridisciplinaire québécois	6
Centre de développement du porc du Québec inc.	6
AQINAC.....	7
Chercheurs en médecine vétérinaire et en nutrition porcine	7
Chercheurs et experts du domaine végétal	8
Organismes de transfert.....	9
État de la situation	9
Seuils de tolérance des animaux.....	27
Établissement de la toxicité	30
Interactions entre mycotoxines	33
Mycotoxines et système immunitaire des porcs.....	33
Mycotoxines et innocuité de la viande de porc.....	34
Mycotoxines et efficacité des additifs alimentaires.....	37
Évaluation <i>in vitro</i> des additifs alimentaires	41
Évaluation <i>in vivo</i> des additifs alimentaires	43
Protocole à développer au Québec	45
Réseau d'évaluation de la qualité des récoltes du Québec	46
Sensibilité à la fusariose des hybrides de maïs recommandés au Québec	49
Bonnes pratiques pour la réduction des problèmes liés aux mycotoxines	51
Diffusion des bonnes pratiques.....	51
Facteurs de risque et bonnes pratiques.....	51
<i>Facteurs liés à la sensibilité de la plante</i>	<i>52</i>
<i>Hybrides et cultivars</i>	<i>52</i>
<i>Résistance, amélioration génétique et sensibilité à la fusariose</i>	<i>53</i>
<i>Stade de croissance</i>	<i>55</i>
<i>Facteurs liés aux conditions climatiques.....</i>	<i>56</i>
<i>Location</i>	<i>56</i>
<i>Température</i>	<i>56</i>
<i>Humidité.....</i>	<i>57</i>
<i>Pluviométrie</i>	<i>58</i>
<i>Insectes et ravageurs</i>	<i>58</i>
<i>Facteurs liés aux pratiques culturales.....</i>	<i>58</i>
<i>Semis</i>	<i>59</i>
<i>Récolte.....</i>	<i>59</i>
<i>Réglage de la machinerie.....</i>	<i>59</i>
<i>Travail du sol et rotations des cultures (précédent cultural).....</i>	<i>60</i>
<i>Fertilisation.....</i>	<i>61</i>

<i>Fongicides</i>	61
<i>Drainage</i>	62
<i>Contrôle des mauvaises herbes</i>	62
<i>Agriculture biologique</i>	63
<i>Facteurs liés à la manipulation et à l'entreposage des grains et des moulées</i>	63
<i>Séchage des grains</i>	63
<i>Ventilation des silos</i>	64
<i>Nettoyage des silos/camions</i>	64
<i>Conditions d'entreposage</i>	65
<i>Ségrégation des lots sains par rapport aux lots contaminés</i>	66
<i>Facteurs liés à la sensibilité de l'animal</i>	66
<i>Espèce</i>	67
<i>Stade physiologique</i>	67
<i>Facteurs liés au contrôle de qualité des ingrédients et des moulées</i>	68
<i>Échantillonnage des grains</i>	68
<i>Échantillon représentatif</i>	69
<i>Analyse des mycotoxines</i>	70
<i>Décontamination et ajouts d'additifs dans les moulées</i>	71
<i>Décontamination</i>	71
<i>Additifs alimentaires (agents liants/détoxifiants)</i>	72
<i>Modifications nutritionnelles</i>	73
<i>Anti-moisissures</i>	73

**PARTIE 2 – SOMMAIRE DES CONSTATS, RECOMMANDATIONS ET PLAN D'ACTION
A METTRE EN PLACE POUR DIMINUER LES IMPACTS DES MYCOTOXINES CHEZ
LES PORCS**

74

Sommaire des constats et recommandations.....

1- Production et entreposage de grains sains	74
<i>Constats</i> :	74
<i>Recommandations</i> :	75
2-Fabrication d'aliments sains pour les porcs	76
<i>Constats</i> :	76
<i>Recommandations</i> :	77
3-Méthodes d'analyse des mycotoxines	78
<i>Constats</i> :	78
<i>Recommandations</i> :	78
4-Impact des mycotoxines sur les porcs	78
<i>Constats</i> :	78
<i>Recommandations</i> :	79
5-Sécurité alimentaire	79
<i>Constats</i> :	79
<i>Recommandation</i> :	80
6-Équipes de recherche, partage de l'information et des efforts, diffusion de l'information	80
<i>Constats</i> :	80
<i>Recommandations</i> :	81

Plan d'action à mettre en place.....

CONCLUSION.....

REFERENCES

**ANNEXE 1 - LISTE DES OUVRAGES DE REFERENCE INDEXES DANS NOTRE BASE
DE DONNEES (PROCITE)**.....

**ANNEXE 2 - SYNTHESE DE LA LITTERATURE CONSULTEE SUR LES INTERACTIONS
ENTRE LES MYCOTOXINES CHEZ LES PORCS**.....

ANNEXE 3 - BIOVEILLE, FEVRIER 2009. LES MYCOTOXINES : CONTAMINANTS DE L'ALIMENTATION ANIMALE	123
ANNEXE 4 - CDPQ 2009, LES MYCOTOXINES ET LE SYSTEME IMMUNITAIRE. PRESENTATION POWER POINT	125
ANNEXE 5 - DESCRIPTION DE METHODES D'ANALYSE DES ADDITIFS ALIMENTAIRES	141
Test d'absorption et d'adsorption nette.....	141
ANNEXE 6 - LISTE DES LABORATOIRES D'ANALYSE DES GRAINS	143
ANNEXE 7 - CARNET DES CONSULTATIONS ET ACTIVITES DE DIFFUSION REALISEES.....	145

Liste des tableaux

Tableau 1.	Total des indemnités versées dans le cadre de l'assurance récolte au Québec ¹ pour les grains toxiques (vomitoxine). Cumulatif pour les années 2005 à 2008 inclusivement.	10
Tableau 2.	Principaux centres et groupes de recherche sur les mycotoxines, incluant les organismes gouvernementaux et réglementaires	11
Tableau 3.	Équipes de recherche sur la fusariose de l'épi des céréales.....	20
Tableau 4.	Sites et outils Internet sur les mycotoxines.....	22
Tableau 5.	Niveaux maximums admissibles, directives et seuils de tolérance recommandés (mg/kg) dans les aliments destinés aux porcs pour plusieurs mycotoxines selon l'Agence canadienne d'inspection des aliments ^{1,2}	29
Tableau 6.	Seuils de tolérance proposés par l'Union européenne	30
Tableau 7.	Principaux effets de la vomitoxine observés chez le porc (tiré de Etienne, 2007).....	31
Tableau 8.	Principaux fournisseurs et produits utilisés au Québec ¹	38
Tableau 9.	Montants représentés pour l'ajout d'un additif dans les moulées des truies, porcelets et porcs d'engraissement produits au Québec.....	40
Tableau 10.	Paramètres sanguins et autres éléments mesurés pour vérifier les effets des mycotoxines	44
Tableau 11.	Mycotoxines et facteurs favorisant leur développement.....	57

Liste des figures

Figure 1.	Aération des grains et zones propices à la condensation des silos selon la saison (tirée de Hilborn, 1987).....	66
-----------	---	----

Contexte de réalisation du projet

Le Québec est une grande région productrice de grains, mais qui doit composer avec le risque de contamination des récoltes par des mycotoxines. Les mycotoxines sont des substances toxiques sécrétées par certaines moisissures (champignons) qui peuvent parfois contaminer le maïs et les autres cultures, se retrouvant ainsi dans les aliments consommés par les porcs. Le terme moisissure désigne en français certains champignons microscopiques filamenteux du règne des mycètes (Wikipédia, 2009). Les moisissures des genres *Penicillium*, *Fusarium* et *Aspergillus* sont parmi les plus importantes, car elles sont associées à la production des principales mycotoxines qui peuvent affecter les animaux, les porcs en particulier. Le secteur de l'alimentation du bétail ainsi que les producteurs céréaliers et porcins ne sont pas très bien outillés pour faire face à des problèmes chroniques ou aigus de contamination aux mycotoxines et ces problèmes engendrent des pertes économiques importantes tant pour les producteurs de porcs que pour les producteurs de céréales et de maïs. De plus, plusieurs types de mycotoxines peuvent être présents en même temps et les effets sur l'animal d'une combinaison de ces substances sont peu connus.

Lors de l'exercice pour la détermination des priorités de recherche et développement de la Table filière porcine, le comité de nutrition a souligné l'importance des travaux de recherche et développement à effectuer reliés aux mycotoxines. Le comité de nutrition formé par la Table filière porcine du Québec a suggéré notamment qu'un pôle d'expertise pluridisciplinaire réunissant des experts en santé animale, immunologie, toxicologie, agronomie et nutrition devait être développé. Cette problématique des mycotoxines a été reconnue comme prioritaire par un groupe d'experts de la nutrition animale de l'Association québécoise des industries de nutrition animale et céréalière (AQINAC), la Table filière porcine du Québec et la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ); elle a d'ailleurs été présentée comme priorité de recherche à Agriculture et Agroalimentaire Canada. De plus, un groupe d'experts en nutrition, à l'invitation d'un comité de nutrition porcine de la FPPQ, a approuvé qu'une démarche soit développée en ce sens et que le CDPQ en soit le coordonnateur.

Afin de bien cerner les problématiques et proposer des solutions, le CDPQ croit pertinent de faire un diagnostic de qualité qui aboutira à un plan d'action rassembleur. De plus, la Table ronde nationale sur la chaîne de valeur de l'industrie du porc a priorisé la recherche sur les mycotoxines en nutrition dans le rapport du Groupe de travail sur la stratégie de science et d'innovation en novembre 2007. Il y est mentionné que « L'industrie porcine n'est pas différente de n'importe quel autre secteur et la vitalité de la recherche dépend beaucoup de l'existence d'une masse critique de chercheurs dans une discipline donnée. Des domaines d'expertise peuvent facilement être développés grâce à la création de réseaux de R et D qui ont l'avantage de maximiser l'utilisation des ressources et des fonds de recherche... ». On y indique le souhait de la Table filière québécoise de mettre en place un groupe de recherche sur l'effet des mycotoxines sur la santé et la nutrition animale. L'expertise nécessaire existe un peu partout au Canada, mais encore faut-il mettre les chercheurs en réseau et s'assurer qu'ils aient les moyens de donner suite par des actions concertées. Le comité convient qu'il s'est fait et se fait des recherches sur des problématiques des mycotoxines associées à la production porcine à travers le monde, mais que nous n'avons pas un portrait clair actualisé.

Nous savons que plusieurs problématiques restent à éclaircir et à travailler, car elles nuisent à la production et à la rentabilité des élevages. Trois préoccupations ont été apportées en exemple, à savoir les mycotoxines par rapport à l'efficacité des vaccins administrés aux porcs, les seuils de tolérance des porcs à la présence de ces dernières et les interactions qui peuvent exister entre les mycotoxines et la qualité des carcasses, la qualité de la viande et l'innocuité du produit pour la santé humaine. Ainsi, plusieurs données scientifiques disponibles suggèrent que les mycotoxines présentes dans les aliments destinés au bétail pourraient avoir un impact sur le système immunitaire, l'efficacité de la vaccination et la santé des porcs. Par conséquent, la présence de mycotoxines dans les aliments est souvent tenue responsable, à tort ou à raison, des problèmes sanitaires dans les élevages. Mais qu'en est-il vraiment? Pourrait-on développer des systèmes de mesures de la toxicité globale d'un grain? Quels sont les impacts réels de la présence des différentes mycotoxines dans les aliments sur le fonctionnement du système immunitaire et la santé des animaux? Devrions-nous faire de la recherche au Québec ou est-elle déjà réalisée ailleurs?

De plus, les seuils de tolérance des porcs aux mycotoxines n'ont pas été réévalués depuis des années en regard des nouveaux cultivars, de nouvelles pratiques agronomiques et de l'amélioration génétique des porcs. Souvent, on mesure la présence d'une seule mycotoxine, soit la vomitoxine (DON) pour juger de la qualité ou du risque possible d'un grain. Mais qu'en est-il des autres composés pouvant avoir été sécrétés par les moisissures? Quels sont-ils? Peuvent-ils accentuer l'impact d'un faible niveau de vomitoxine ou sont-ils plus toxiques que la vomitoxine?

Cette menace de mycotoxines angoisse principalement les producteurs de porcs et leurs conseillers et vétérinaires. Établir un état de la situation actuelle de la recherche et développement au Québec, au Canada et dans le monde et faire des revues de littérature permettant de saisir tous les éléments pour répondre aux problématiques apportées par les mycotoxines s'avère un objectif indispensable. Cette information pourra déboucher sur le développement de propositions de recherche aux intervenants de la Table filière; ce travail permettra de faire en sorte ne pas dupliquer les expérimentations mais, si nécessaire, d'en proposer à court, moyen et long termes.

Actuellement, les producteurs de porcs utilisent différents additifs pour atténuer les effets des mycotoxines. Les solutions et produits proposés sont loin d'avoir démontré leur efficacité de manière indiscutable et aucun d'entre eux n'est homologué en vertu de ses effets contre les mycotoxines. Une demande a donc été faite à l'équipe en charge du projet d'analyser la situation et de proposer une ou des procédures à mettre en place pour évaluer objectivement ces produits et/ou solutions proposés. Le comité « nutrition » de la Table filière porcine aimerait que des efforts soient faits sur le transfert de connaissances (guide, liste de vérification (check-list), ...) et que soit analysée la possibilité de la mise sur pied d'outils récurrents (réseau de diagnostic de la qualité des récoltes) permettant d'informer les producteurs de porcs et tous les intervenants intéressés par les mycotoxines. Ainsi, développer un plan d'action de même que des outils pour connaître les risques liés aux mycotoxines et les moyens pour les gérer le plus efficacement possible s'avère une nécessité.

Objectif général du projet

Ce projet vise à effectuer, pour le secteur porcin, un diagnostic pour connaître les risques liés aux mycotoxines en production porcine et pour proposer un plan d'action pour les gérer le plus efficacement possible.

Objectifs spécifiques de travail

Le projet de préparer un diagnostic et un plan d'action multidisciplinaire comporte de nombreux objectifs qui conduisent à aborder la problématique des mycotoxines autant du point de vue végétal qu'animal. Il vise également l'étude de la mise en réseau des connaissances et de l'information entourant la question des mycotoxines. De manière plus spécifique, les objectifs de travail sont les suivants :

1. mettre sur pied un groupe de travail constitué d'experts pluridisciplinaires afin d'identifier des solutions qui prennent en compte tous les aspects nécessaires au combat à mener contre les mycotoxines et obtenir le maximum d'impact sur la diminution de leurs effets négatifs sur la production porcine;
2. établir un état de la situation, à partir des contacts des experts, des enquêtes du chargé de projet et des revues de littérature, permettant de saisir et d'analyser tous les éléments permettant de répondre aux problématiques identifiées et générées par les mycotoxines en production porcine;
3. analyser et élaborer des stratégies pour mieux connaître et contrer les effets des mycotoxines sur la santé porcine, ainsi qu'analyser et proposer des procédures d'évaluation des additifs alimentaires (agents liants) sur le marché;
4. élaborer une liste de vérification (check-list) et un guide de bonnes pratiques pour les producteurs et l'industrie, et analyser la faisabilité de développer un réseau de diagnostic permanent pour connaître la qualité des récoltes;
5. élaborer un sommaire de constats-recommandations et un plan d'action à moyen-long termes afin de créer un intérêt pour ce qui est de la recherche liée aux mycotoxines et le développement de solutions au bénéfice de toute la filière.

Les retombées anticipées par la Table filière porcine

Dans le plan stratégique 2005-2009 de la Table filière porcine, l'enjeu 5 concernant l'élevage et la productivité indique que les compétiteurs sont de plus en plus nombreux et certains possèdent des avantages concurrentiels indéniables à différents niveaux : faible coût de la main-d'œuvre, très faible densité animale, production relativement jeune caractérisée par des bâtiments récents et à la fine pointe de la technologie, abondance des grains qui réduit les coûts d'alimentation, etc. Il devient ainsi incontournable de réduire les coûts pour les entreprises québécoises afin qu'elles demeurent compétitives face à leurs concurrents qui convoitent les mêmes marchés. Assurer le maintien des gains de productivité dans le maillon de l'élevage en contexte de contraintes de production devient indispensable.

L'alimentation des porcs constitue le principal poste du coût de production des porcs au Québec et au Canada. Les ingrédients produits pour nourrir ces porcs se doivent d'être exempts de mycotoxines afin d'obtenir les conditions pour optimiser l'alimentation, maintenir la santé des porcs et, par voie de conséquence, réduire les coûts de production. En 2007, 7,2 millions de porcs ont été produits et abattus au Québec. Pour nourrir ces porcs, 2,5 millions de tonnes de moulées sont nécessaires. Ces moulées contiennent environ 70 % de céréales. Une contamination aux mycotoxines a un impact majeur sur la qualité de ces céréales et, par ricochet, sur la production efficace de ces porcs. Une détérioration des performances zootechniques (GMQ, conversion alimentaire), de la santé des porcs, de la qualité de la carcasse et possiblement de la viande a des effets considérables sur la rentabilité des élevages et la compétitivité de la filière porcine. Réduire en continu les impacts de la contamination des grains et de leurs sous-produits ainsi que des moulées par les mycotoxines contribuera à améliorer la santé des troupeaux et les performances zootechniques. Beaucoup d'efforts et de moyens doivent être mis en place pour diminuer ces impacts et améliorer le coût de production. L'avantage sera également partagé par les producteurs de céréales.

Ce projet est unique et innovateur car il vise à faire un état de situation de tout ce qui se fait en recherche et développement au Québec, au Canada et internationalement, à mettre sur pied et conserver actif le travail d'une équipe pluridisciplinaire d'experts et de proposer des moyens pour instaurer et développer de la recherche pour réduire les impacts, chez les porcs, de la contamination des grains par les mycotoxines. De plus, des outils seront développés en parallèle pour permettre de récupérer des données et de transférer et partager des connaissances. La compétitivité et la pérennité des fermes porcines et céréalières pourraient être améliorées par un programme de recherche fructueux sur les mycotoxines conduit de façon multidisciplinaire. Des millions de dollars sont perdus chaque année par toutes les industries, notamment l'industrie porcine. Les industries de la production porcine, céréalière ainsi que de l'alimentation animale ont besoin de réponses afin de demeurer compétitives et être en mesure de fournir aux consommateurs des produits d'une innocuité accrue.

Méthodologie

Le déroulement de ce projet s'est effectué en plusieurs étapes :

1. Mettre sur pied un groupe de travail pluridisciplinaire québécois coordonné par un chargé de projet pour développer la stratégie à mettre en place, faire des recommandations et valider les résultats des travaux à toutes les étapes de réalisation du projet-diagnostic.
2. Établir un état de la situation à travers le Canada et dans le monde afin de déterminer les efforts réalisés en recherche (équipes, projets réalisés, bases de données) pour trouver des solutions aux impacts des mycotoxines sur la production porcine, de la culture des plantes jusqu'à leurs effets une fois consommées par le porc.
3. Répertoire et analyser, par une étude de la littérature, les seuils de tolérance des truies, porcelets et porcs en croissance, pour toutes les mycotoxines susceptibles de se retrouver dans les récoltes du Québec. Établir aussi les interactions qui peuvent exister dans le cas d'une contamination multiple (plusieurs mycotoxines présentes). Répertoire les études dans lesquelles il a été tenté de déterminer un indice de toxicité des grains et dans lesquelles les chercheurs se sont intéressés au diagnostic des mycotoxicoses directement sur l'animal.

4. Répertoire et analyser, par une étude de la littérature, les interactions qui peuvent exister entre les mycotoxines et le système immunitaire des porcs, plus particulièrement sur l'efficacité des vaccins. À partir des résultats obtenus et des consultations avec des médecins vétérinaires, élaborer des recommandations sur des travaux qui pourraient être entrepris à court, moyen et long termes.
5. Répertoire et analyser, par une étude de la littérature, les interactions qui peuvent exister entre les mycotoxines et la qualité des carcasses, de la viande ainsi que sur l'innocuité du produit pour la santé humaine.
6. Répertoire les additifs utilisés dans les moulées ainsi que les procédures utilisées dans le monde pour les évaluer de façon objective. Analyser et recommander la procédure la plus appropriée techniquement et économiquement quant à leur efficacité à mitiger les effets négatifs des mycotoxines chez les animaux porcins.
7. Analyser, notamment avec les producteurs et utilisateurs des céréales, la faisabilité de développer et de mettre sur pied un sommaire des connaissances des niveaux de contamination des récoltes et leur qualité, de saison en saison; vérifier ce qui se fait au Québec, en Ontario, dans l'Ouest du Canada et aux États-Unis et cibler les partenariats possibles.
8. Analyser la faisabilité d'évaluer le degré de sensibilité des maïs inscrits dans le réseau des grandes cultures du Québec, en regard de la fusariose.
9. Élaborer et mettre sur pied une liste de vérification (check-list) de questions à poser aux fournisseurs d'additifs alimentaires par les producteurs de porcs afin de les aider à établir leur efficacité pour une utilisation optimale.
10. Mettre en place des mesures pour faire connaître les bonnes pratiques relatives à la récolte et à la conservation (entreposage) des grains et aliments afin de minimiser les risques reliés à la présence des mycotoxines.
11. Élaborer, en collaboration avec le groupe de travail pluridisciplinaire, un sommaire des constats, des recommandations et un plan d'action à moyen-long termes afin de créer un intérêt permanent autour de la recherche liée aux mycotoxines et le développement de solutions au bénéfice de toute la filière.

Tout au long de ce projet, plusieurs experts et spécialistes ont été consultés. La liste de ces personnes est présentée à l'annexe 7, tout comme le sont les activités de diffusion qui furent réalisées en cours de route.

Afin de faciliter la consultation du présent rapport, chacun des dix premiers points de méthodologie sera traité dans la partie 1 du rapport. La partie 2 présente le sommaire des constats, les recommandations et un plan d'action à mettre en place.

Partie 1 : Diagnostic (état de la situation, impacts et bonnes pratiques)

Groupe de travail pluridisciplinaire québécois

La structure de l'équipe de réalisation du projet repose sur les compétences pluridisciplinaires des experts du groupe de travail. En effet, la problématique des mycotoxines ne peut pas être abordée uniquement du point de vue de ses impacts sur les animaux d'élevage. Plusieurs facteurs sont en cause pour l'introduction des mycotoxines dans la chaîne alimentaire et tous les maillons de la production doivent donc être interpellés pour qu'une amélioration de la situation puisse être notée.

Pour la réalisation de ce projet, nous avons mis sur pied une équipe de réalisation composée d'un responsable et d'une chargée de projet. La réalisation et la coordination des travaux s'effectuent à partir du CDPQ. Une stagiaire et une consultante ont également été engagées pour la recherche documentaire et l'analyse de la littérature à différentes étapes. Afin que la problématique des mycotoxines soit étudiée au sens large, le travail des différentes personnes impliquées au CDPQ est appuyé et orienté par les experts du groupe de travail pluridisciplinaire qui réunit des organismes publics et privés et des collaborateurs ayant une grande expertise dans leurs domaines respectifs. Ce groupe de travail agit comme un comité consultatif afin de supporter la réalisation du projet. Il est constitué d'experts en nutrition porcine délégués par l'AQINAC, de professionnels du secteur des grains (CÉROM), de professionnels du secteur de la recherche (Université Laval, Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal et Station d'Agriculture et Agroalimentaire Canada de Lennoxville). L'équipe de réalisation se compose donc des membres suivants :

Centre de développement du porc du Québec inc.

1- Robert Fillion, agronome

Il est responsable des dossiers d'alimentation-nutrition et du secteur des techniques d'élevage au CDPQ. Il anime une équipe de spécialistes et d'experts de différents domaines et a une longue expérience en nutrition et gestion de projets. Il est responsable du suivi administratif du projet, de la qualité des biens livrables et de leur diffusion ainsi que de l'échéancier et des coûts.

2- Marie-Josée Turgeon, agronome, M. Sc.

Mme Turgeon possède plusieurs années d'expérience en recherche et en nutrition. Pour ce projet, elle agit à titre de chargée de projet. La coordination du projet, à partir de la formation du groupe de travail constitué d'experts jusqu'à la rédaction des rapports lui est attribuée.

3- Johanne Nadeau

Mme Nadeau est documentaliste au CDPQ. En appui aux autres membres de l'équipe, elle est responsable de trouver l'information requise dans les bases de données pertinentes, dans les revues spécialisées et dans la littérature. Elle s'assure également que tous les articles consultés sont indexés dans Procite et gère tous les documents générés par le projet.

4- Marie-Pierre Fortier

Une étudiante stagiaire en agronomie (Université Laval) a également été embauchée pour réaliser, avec l'aide de la documentaliste, les recherches bibliographiques sur les différents sujets abordés par le projet. Sous la supervision et en collaboration avec la chargée de projet, elle a effectué les lectures et collaboré à la rédaction des rapports de synthèse, en plus de co-signer un article publié dans la revue Porc Québec en novembre 2008.

5- Janie Lévesque, agronome, M. Sc.

Consultante spécialisée en nutrition porcine, Mme Lévesque a été embauchée pour réaliser le mandat relié à l'évaluation des additifs utilisés dans les moulées. Elle effectue ce travail en collaboration avec la chargée de projet et les experts du groupe de travail.

AQINAC

6- Michel Vignola, agronome, M. Sc.

M. Vignola travaille en tant que directeur du transfert technologique en production porcine chez Nutreco Canada AgResearch. Pour cette compagnie, il a longtemps œuvré à titre de responsable de la nutrition et de la formulation des aliments pour porcs. Pour le compte de l'AQINAC, M. Vignola a réuni en 2006 un comité de nutritionnistes afin de recommander des priorités d'action et de recherche en nutrition pour la filière porcine. En tant qu'expert de la nutrition des porcs, il possède une grande expertise pratique sur la qualité des ingrédients utilisés pour fabriquer les aliments destinés aux porcs et la gestion des lots de grains contaminés par des mycotoxines. Membre du comité d'experts, il intervient à plusieurs reprises, particulièrement lors de la rédaction de l'état de la situation, de la détermination des procédures d'évaluation des additifs alimentaires, de la proposition de réseautage pour l'évaluation de la qualité des récoltes et de l'élaboration des recommandations.

7- Emmanuelle Lewis, agronome, M. Sc.

Mme Lewis travaille en nutrition et formulation animale Agri-Marché inc.. Avec M. Vignola, elle a été désignée par l'AQINAC pour fournir son expertise et sa participation au présent projet. En tant qu'expert en nutrition des porcs, elle possède une grande expertise pratique sur la qualité des ingrédients utilisés pour fabriquer les aliments destinés aux porcs et est appelée à gérer les lots de grains contaminés par des mycotoxines. Membre du comité d'experts, elle intervient à plusieurs reprises, particulièrement lors de la rédaction de l'état de la situation, de la détermination des procédures d'évaluation des additifs alimentaires et de l'élaboration des recommandations.

Chercheurs en médecine vétérinaire et en nutrition porcine

8- Jean-François Bernier, agronome, Ph. D.

M. Bernier est professeur-chercheur au département des sciences animales de l'Université Laval. Ses travaux portent principalement sur les métabolismes protéiques et énergétiques et les interactions avec l'alimentation des porcs. Membre du comité d'experts, il intervient à plusieurs reprises, particulièrement lors de la rédaction de l'état de la situation et de la détermination des procédures d'évaluation des additifs alimentaires.

9- Frédéric Guay, agronome, Ph. D.

M. Guay est professeur-chercheur au département des sciences animales de l'Université Laval. Ses travaux portent principalement sur le développement de nouvelles stratégies d'élevage, incluant les approches alimentaires, afin d'améliorer le bilan environnemental des élevages porcins. En cours de route M. Guay a été appelé à se joindre au comité d'experts pour la détermination des procédures d'évaluation des additifs alimentaires.

10- Martin Lessard, agronome, Ph. D.

M. Lessard est chercheur à la station de recherche d'AAC de Lennoxville. Il est également professeur auxiliaire au département des sciences animales de l'Université Laval, membre associé de l'Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels (INAF) de l'Université Laval et également membre associé du Centre de recherche en infectiologie porcine (CRIP) de l'Université de Montréal. Il s'intéresse principalement à la physiologie du système digestif des porcs et à l'impact des aliments sur la santé digestive et le système immunitaire des animaux. Dans ce projet, M. Lessard agit à titre d'expert et fournira son expertise tout au long du projet mais principalement lors de la rédaction de l'état de la situation et de la détermination des procédures d'évaluation des additifs alimentaires.

11- Younès Chorfi, DMV, M. Sc., Ph. D.

Dr Chorfi est vétérinaire et coresponsable du laboratoire vétérinaire en agroenvironnement et est professeur adjoint à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal. Ce laboratoire fait partie intégrante de la nouvelle plateforme de recherche en environnement et production animale (REPA). Dr Chorfi travaille à mettre au point des méthodes analytiques de détection des pathogènes et de l'état d'immunocompétence des animaux. Dans ce projet, M. Chorfi agit à titre d'expert en médecine vétérinaire et fournira son expertise tout au long du projet mais principalement lors de la rédaction de l'état de la situation, des méthodes diagnostiques de détection des mycotoxicoses directement sur l'animal, de la détermination des procédures d'évaluation des additifs alimentaires et de l'élaboration des recommandations.

Chercheurs et experts du domaine végétal

12- Sylvie Rioux, agronome, Ph. D.

Mme Rioux a obtenu son Ph. D. de l'Université Laval en 1992. Elle se spécialise dans la phytogénétique et la phytopathologie. Elle est actuellement chercheuse au CEROM et s'intéresse plus particulièrement à la sensibilité et la résistance des céréales aux moisissures du genre *Fusarium* (champignons qui produisent des mycotoxines comme la vomitoxine). Dans ce projet, Mme Rioux agit à titre d'expert en production végétale et fournira son expertise tout au long du projet mais principalement lors de la rédaction de l'état de la situation, de l'évaluation de la sensibilité des végétaux à la fusariose, des informations sur les bonnes pratiques, de la proposition de réseautage pour l'évaluation de la qualité des récoltes et de l'élaboration des recommandations.

13- Gilles Tremblay, agronome, M. Sc.

M. Tremblay est détenteur d'une maîtrise en agro météorologie. Il termine présentement un doctorat à l'Université McGill. Il est actuellement chercheur au CEROM et s'intéresse plus particulièrement à la régie et aux pratiques culturales des céréales. Dans ce projet, M. Tremblay agit à titre d'expert en production végétale et fournira son expertise tout au long du projet mais principalement lors de la rédaction de l'état de la situation, des informations sur les bonnes pratiques, de la proposition de réseautage pour l'évaluation de la qualité des récoltes et de l'élaboration des recommandations.

Organismes de transfert

14- Dora Rodriguez, Ph. D.

Mme Rodriguez est spécialiste en gestion de technologies bioagricoles pour le CQVB. Elle assure une liaison entre les entreprises et les centres de recherche. Dans ce projet, il était initialement prévu que le CQVB assurerait la diffusion de l'information et participerait principalement à l'organisation d'une journée thématique sur les mycotoxines. Mme Rodriguez a coordonné la rédaction d'une fiche Bio-Veille sur les mycotoxines. En tant que chargée de projet, Marie-Josée Turgeon a participé à la rédaction de cette fiche avec le CQVB.

Pour des raisons organisationnelles, nous avons décidé en cours de route, de s'associer à l'AQINAC pour la réalisation de la journée thématique sur les mycotoxines.

15- Sylvie Richard, agr. et Sébastien Lacroix

Mme Richard et M. Lacroix travaillent au sein de l'AQINAC et seront responsables de la logistique et de l'organisation de la journée thématique sur les mycotoxines, de la formation du comité organisateur jusqu'à la réalisation de l'évènement.

État de la situation

Lors de l'exercice pour la détermination des priorités de recherche et développement de la Table filière porcine, le comité de nutrition a souligné l'importance des travaux de recherche et développement à effectuer reliés aux mycotoxines. Le comité convient qu'il s'est fait et se fait de la recherche sur des problématiques de mycotoxines associées à la production porcine à travers le monde mais un portrait clair n'est pas actualisé. Malgré que beaucoup de travail a été fait au fil des ans, les mycotoxines engendrent encore aujourd'hui et malgré tout, beaucoup de problèmes et de pertes pour les producteurs de céréales et les éleveurs de bétail (incluant les porcs). En 2006 par exemple, la récolte de maïs grain en Ontario a été lourdement contaminée par la vomitoxine et les pertes pour les producteurs de grains de cette province ont été évaluées à plus de 60 \$ millions (Schaafsma et Limay-Rios, 2008). Le tableau 1 présente des données que nous avons obtenues en 2009 de la Financière Agricole du Québec pour les producteurs qui adhèrent à l'assurance-récolte au Québec (programmes collectif et individuel). On peut y voir qu'au total, pour les années de 2005 à 2008, plus de 1,3 M\$ ont été versés en indemnités à ces producteurs pour des réclamations liées à des pertes de revenus de vente causés par la présence de grains toxiques (vomitoxine). Nous ne sommes cependant pas en mesure actuellement d'évaluer avec plus de précision toutes les pertes économiques causés par la présence des mycotoxines. Il faudrait pour cela tenir compte des pertes de rendement des cultures au champ, des difficultés de commercialisation des grains contaminés, des montants investis dans les analyses et du contrôle de la qualité des grains et des moulées, des silos supplémentaires requis pour ségréger les lots sains des lots contaminés, des pertes de performances des animaux, du prix des modifications nutritionnelles qui sont parfois recommandées, etc.

Tableau 1. Total des indemnités versées dans le cadre de l'assurance récolte au Québec¹ pour les grains toxiques (vomitoxine). Cumulatif pour les années 2005 à 2008 inclusivement.

Description	Cumulatif des unités affectées (kg)	Cumulatif des indemnités (\$)
Avoine	298 577	37 964,61
Blé destiné à l'alimentation	7 906 053	377 801,60
Maïs grain	634 716	20 056,31
Orge	18 089 684	897 960,09
Triticale	66 742	2660,15

¹ Source : données reçues de la Financière Agricole du Québec. 2009.

Il apparaît donc que la problématique des mycotoxines est loin d'être réglée. Dans cette optique, nous avons cru bon d'établir au préalable un état de la situation actuelle de la recherche et développement au Québec, au Canada et dans le monde. Cette information pourra déboucher sur le développement de propositions de recherche aux intervenants de la filière tout en accélérant la diffusion de l'information. Il est également intéressant de savoir qui sont les chercheurs impliqués, tant du côté végétal qu'animal; nous croyons que cela ouvrira assurément la porte à des dialogues et des collaborations qui ne peuvent qu'être bénéfiques pour toute la production.

Pour réaliser cet état de la situation, nous avons procédé en trois temps. Dans un premier temps, nous avons collaboré avec le CQVB à la rédaction d'une publication sur les mycotoxines. Le CQVB, Centre québécois de valorisation des biotechnologies, est un centre de liaison et de transfert, dont la mission est de stimuler et soutenir le transfert et l'innovation technologique au sein des PME du secteur des bio-industries au Québec. Afin de réaliser sa mission, le CQVB a créé le Réseau Bio-Innovation. En plus d'activités de réseautage d'affaires, le réseau publie le bulletin *Bio Veille*, un bulletin de veille stratégique qui présente les innovations et enjeux sectoriels du Québec et d'ailleurs. Nous avons donc collaboré à la rédaction du *Bio Veille* « Les mycotoxines : contaminants de l'alimentation animale » paru en février 2009. Une copie de ce bulletin est présentée à l'annexe 3. Dans ce numéro, sont présentés les principaux enjeux liés à la présence de mycotoxines dans les aliments pour animaux. Le bulletin contient des capsules décrivant les innovations et travaux en cours de plusieurs équipes de recherche.

Dans un deuxième temps, nous avons constitué une banque d'information qui comprend articles et documents scientifiques et techniques (incluant livres et autres ouvrages de référence) sur les mycotoxines. Dans notre recherche documentaire, nous avons concentré nos efforts sur les documents publiés après 1980. Une copie de tous ces documents est gardée au centre de documentation du CDPQ et le contenu de la banque est indexé sur Procite, ce qui permet une recherche rapide des documents en notre possession. Pour une personne intéressée, il est donc possible de contacter notre documentaliste qui effectuera la recherche dans la base de données Procite et sortira rapidement les articles pertinents. La liste des documents de la base Procite Mycotoxines est disponible à l'annexe 1.

En troisième lieu, nous avons dressé les tableaux suivants qui répertorient les centres de recherche, les organismes gouvernementaux et/ou réglementaires, et certains sites et outils accessibles sur Internet qui apportent une information utile et facilement accessible (tableaux 2,3 et 4).

Tableau 2. Principaux centres et groupes de recherche sur les mycotoxines, incluant les organismes gouvernementaux et réglementaires

Centre ou groupe de recherche	Personne(s) responsable(s)	Discipline
QUÉBEC		
<p>AAC - Lennoxville Agriculture et Agroalimentaire Canada - Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc</p>	<p>Martin Lessard</p>	<p>Le Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc fait partie du réseau national de 19 centres de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). Il est situé à Lennoxville, dans la région des Cantons de l'Est au Québec. Il s'agit du seul centre de recherche d'AAC spécialisé dans la recherche novatrice principalement axée sur les industries laitière et porcine du Canada. Quelques travaux sont effectués à la station de Lennoxville (porcs).</p> <p>Martin Lessard s'intéresse principalement à la physiologie du système digestif des porcs et à l'impact des aliments sur la santé digestive et le système immunitaire des animaux.</p>
<p>AAC - Québec Agriculture et Agroalimentaire Canada - Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures</p>	<p>André Comeau, François Langevin (amélioration génétique, blé, triticales)</p> <p>Denis Pageau, Julie Lajeunesse (pratiques culturales, orge, avoine et blé)</p>	<p>Le Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures fait partie du réseau de 19 centres de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Les activités du Centre touchent deux secteurs principaux de recherche : les ressources en sols, en eau et en air, et la gestion et l'utilisation des grandes cultures dans l'Est du Canada. La mission du Centre consiste à accroître les connaissances scientifiques, à mettre au point des techniques novatrices et à élaborer des méthodes de gestion intégrée des sols et des grandes cultures favorisant la préservation de la qualité des sols, de l'eau et de l'air. Les équipes de recherche visent également l'amélioration génétique de variétés végétales afin d'offrir des cultivars de qualité nutritive et sanitaire supérieure, qui résistent mieux aux maladies, qui offrent une plus grande tolérance aux stress environnementaux et, selon les besoins de l'industrie, qui peuvent être utilisés comme matière première pour la production de bioproduits. Le Centre est à</p>

		<p>l'origine d'une part importante des variétés de plantes fourragères et de céréales cultivées au Québec. La ferme expérimentale de Normandin est associée à ce centre de recherche.</p> <p>Amélioration génétique, pratiques culturales (orge, avoine et blé).</p>
<p>AAC - Saint-Jean-sur-Richelieu Agriculture et Agroalimentaire Canada - Centre de recherche et de développement en horticulture</p>	<p>Gaétan Bourgeois</p>	<p>Le Centre de recherche et de développement en horticulture fait partie du réseau de 19 centres de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Situé à Saint-Jean-sur-Richelieu, au Québec, le Centre a pour mandat de mener des recherches dans les secteurs de la production durable, de la lutte antiparasitaire et de la préservation de la qualité des cultures et de l'horticulture après la récolte. Les scientifiques sont spécialisés dans l'exploitation maraîchère intensive, dans les fruits de verger, dans les petits fruits, dans les arbustes d'ornement et dans les nouvelles cultures.</p> <p>Modèles prévisionnels (blé et orge).</p>
<p>CDPQ Centre de développement du porc du Québec inc.</p>	<p>Robert Fillion, Marie-Pierre Fortier, Johanne Nadeau, Marie-Josée Turgeon</p>	<p>Le Centre a pour mission de contribuer à l'innovation et au transfert de connaissances nécessaires au développement durable du secteur porcin québécois. Le secteur des techniques d'élevage est un pilier important pour la recherche au CDPQ et les experts en nutrition coordonnent et collaborent, avec l'industrie et les autres centres d'expertise, à la préparation d'un plan d'action pluridisciplinaire qui vise à long terme à mieux contrôler et réduire les impacts des mycotoxines en alimentation porcine. Avec ces partenaires, d'autres projets seront donc mis sur pied dans les prochaines années.</p>
<p>CEROM Centre de recherche sur les grains inc.</p>	<p>Sylvie Rioux, Yves Dion, Gilles Tremblay, Serge Fortin</p>	<p>La mission du CEROM est de faire de la recherche d'intérêt public et collectif pour le développement du secteur de la production de grains du Québec. Une des orientations de recherche du CEROM vise à améliorer l'innocuité et la qualité des grains produits au Québec (blé, orge, avoine, maïs).</p> <p>Phytopathologie (épidémiologie, méthodes d'évaluation des cultivars, pratiques culturales), amélioration génétique, effets des traitements de fongicides, modélisation, pratiques culturales, entreposage et</p>

		conservation des grains.
FADQ La Financière agricole du Québec		Programme d'assurance récolte disponible pour le maïs et les céréales. Les dommages causés par la fusariose sont admissibles sur preuves de pertes financières causées par contamination par la vomitoxine. Lorsqu'une superficie en culture a été affectée par la fusariose l'année précédente, au moins une des trois pratiques culturales suivantes y est appliquée : labour, rotation avec une plante autre qu'une graminée ou utilisation des cultivars recommandés par le Réseau Grandes cultures du Québec (RGCQ) avec une cote de résistance à la fusariose de 1 à 7 inclusivement pour l'orge et de 1, 2 ou 3 pour le blé.
Université Laval Chaire de recherche du Canada en phytoprotection	Richard Bélanger	L'objectif principal du programme de la Chaire consiste à harmoniser les connaissances scientifiques acquises pour ce qui est des méthodes de lutte alternatives aux pesticides avec les réalités pratiques de l'application de telles méthodes. De façon générale, le programme s'articule autour des domaines suivants : 1) Les agents de lutte biologique 2) Le phénomène de la résistance induite dans le cadre des interactions plante-agent pathogène. Développement de biopesticides. Production de protéines hétérologues. Potentiel nutraceutique de molécules fongiques et végétales. Potentiel anti-fongique de molécules fongiques et végétales.
Université Laval Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation- Département des sciences animales	Frédéric Guay	Évaluation de l'efficacité des additifs alimentaires dans les aliments pour porcs.
Université Laval Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation - Département de	François Belzile, Suzanne Marchand	Biologie moléculaire. Biotechnologie végétale et alimentaire. Amélioration génétique de l'orge (marqueurs moléculaires). Techniques de production de plants d'orge hybrides résistants à la fusariose.

phytologie		Exploitation de la diversité génétique et création variétale chez le soya.
Université McGill	Ajjamada Kushalappa	Profils métaboliques de plantes cultivées, inoculées avec des agents pathogènes afin de produire des plantes à des niveaux de résistance plus élevés. Interactions entre la plante et l'agent pathogène pour détecter et discriminer les maladies pendant l'entreposage.
Université de Montréal, Faculté de médecine vétérinaire	Younès Chorfi	Évaluation des mycotoxicoses sur l'animal vivant. Le laboratoire du D ^r Chorfi a développé et validé une méthode d'analyse par HPLC permettant de quantifier la déoxynivalénol (vomitoxine), son métabolite (déépoxyvalénol) et l'ochratoxine A dans le sérum et les urines des animaux.
CANADA		
AAC - Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard Agriculture et Agroalimentaire Canada - Centre de recherche sur les cultures et les bestiaux de Charlottetown	Richard Martin	Le Centre de recherche sur les cultures et les bestiaux de Charlottetown fait partie du réseau de 19 centres de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Le Centre met au point des techniques novatrices en matière de cultures agricoles d'une manière qui permet d'améliorer l'environnement et de protéger les ressources naturelles régionales. Le Centre participe à un programme conjoint important avec le Conseil national de recherches du Canada et l'Université de l'Île-du-Prince-Édouard dans le secteur des bioressources et de la santé axé sur la découverte et le développement de produits et de procédés d'origine biologique à valeur ajoutée, à partir de cultures existantes ou nouvelles. Le Centre compte également un site de recherche situé à la ferme Harrington, au nord de Charlottetown, et qui appuie 95 % de la recherche menée sur le terrain par le Centre dans les domaines des pommes de terre, des céréales, des fourrages, ainsi que du travail et de la conservation du sol. Certains blés développés à ce Centre ont un rendement élevé et conviennent au Québec. Phytopathologie.
AAC - Guelph, Ontario Guelph Food	Yuting Zhou Joshua Gong	Écologie des pathogènes d'origine alimentaire et commensale (bactérienne) et leur interaction avec les animaux pour le développement de

<p>Research Centre – Centre de recherches sur les aliments de Guelph</p>		<p>nouvelles stratégies dans le contrôle des agents pathogènes d'origine alimentaire. Désintoxication des porcs contaminés par la vomitoxine par ajout de bactéries.</p>
<p>AAC - Lethbridge, Alberta Agriculture et Agroalimentaire Canada - Centre de recherche de Lethbridge</p>	<p>François Eudes</p>	<p>Le Centre de recherche de Lethbridge est l'un des plus grands établissements du réseau national de 19 centres de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Situé dans le sud de l'Alberta, le Centre est axé sur la recherche dans les secteurs de la santé environnementale, des produits et des procédés biologiques, de la salubrité des aliments et de la nutrition et des systèmes de production durable. Le Centre mène des recherches importantes sur des technologies nouvelles et améliorées en matière d'élevage de bovins et de qualité des produits. De plus, le CRL met au point des systèmes de culture durables et rentables axés sur les terres sèches et irriguées, de même que sur les grands pâturages des prairies du sud du Canada. Amélioration génétique, biotechnologies (blé et triticales).</p>
<p>AAC - Ottawa, Ontario Agriculture et Agroalimentaire Canada - Centre de recherche de l'Est sur les céréales et les oléagineux</p>	<p>Marc Savard, Allen Xue, Lana Reid, Xiaoyang Zhu, Harvey Voldeng, Alek Choo, Keh Ming Ho, Weikai Yan</p>	<p>Le Centre de recherche de l'Est sur les céréales et les oléagineux fait partie du réseau national de 19 centres de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Il se trouve sur le lieu historique de la Ferme expérimentale centrale, au centre-ville d'Ottawa. Le Centre participe à un large éventail d'activités de recherche. Il s'attache principalement à mettre au point des variétés améliorées d'orge, de maïs, d'avoine, de soja et de blé destinées à l'Est du Canada et à offrir une expertise en matière de végétaux, de champignons et d'insectes à des fins de contrôle biologique et d'amélioration génétique. Analyse des mycotoxines, phytopathologie et amélioration génétique (avoine, orge à deux rangs, orge à six rangs, blé d'automne, blé de printemps, maïs).</p>
<p>AAC - Swift Current, Saskatchewan Agriculture et Agroalimentaire Canada - Centre de</p>	<p>Myriam Fernandez</p>	<p>Le Centre de recherche sur l'agriculture des Prairies semi-arides fait partie du réseau de 19 centres de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Situé à Swift Current, dans la région du sud-ouest de la</p>

recherche sur l'agriculture des Prairies semi-arides		Saskatchewan, le Centre mène des activités de recherche importantes sur les régions de terres arides des Prairies du Canada. 92 % du blé dur et près de 50 % du blé de printemps produits dans l'Ouest canadien découlent de la recherche menée par le Centre. La Ferme expérimentale d'Indian Head et la Ferme expérimentale de Régina sont des sites satellites du Centre. On y effectue des recherches axées sur l'agronomie fondée sur l'élimination du travail du sol et sur des systèmes de culture annuelle destinés à la région de terres à parc; on y effectue également des essais relatifs à des variétés de grandes cultures. La ferme abrite l'Unité de multiplication des semences, qui produit des semences de base pour la sélection généalogique de 60 à 70 céréales annuelles, d'oléagineux et de légumineuses à graines, et de 25 à 35 cultivars de fourrage mis au point par les phytogénéticiens d'AAC. Phytopathologie.
AAC - Winnipeg, Manitoba Agriculture et Agroalimentaire Canada - Centre de recherche sur les céréales	Jeannie Gilbert, Andy Tekauz	Le Centre de recherche sur les céréales de Winnipeg (Manitoba) fait partie du réseau national de 19 centres de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Les activités du centre sont axées sur l'amélioration génétique du blé et de l'avoine et sur l'amélioration de la qualité des céréales et de leur résistance aux maladies et aux insectes ravageurs. Phytopathologie (avoine, orge et blé)
ACIA	Agence canadienne d'inspection des aliments	Protéger la santé et le bien-être des Canadiens, l'environnement et l'économie en préservant la salubrité des aliments, la santé des animaux et la protection des végétaux.
AgReTech, Ontario	H.L Trenholm	AgReTech est composé d'experts internationaux dans le domaine de la toxicologie et de la nutrition animale (mycotoxines, sécurité alimentaire, nutrition, sous-produits, etc.).
CCG	Commission canadienne des grains	La Commission canadienne des grains est l'organisme fédéral chargé d'établir et de maintenir les normes de qualité des grains du Canada.
LRG	Laboratoire de recherches sur les	Le laboratoire de recherche sur les grains est un centre de recherche reconnu à l'échelle

	grains	internationale et le centre canadien de recherches sur la qualité et la salubrité du grain. Les chercheurs mènent des recherches pour élargir les connaissances scientifiques sur les éléments constituant de la qualité du grain et s'assurent que le caractère technologique du grain est conservé d'une cargaison à l'autre et d'une année à l'autre.
OMAFRA Ontario Ministry of Agriculture, Food & Rural Affairs - Crop Technology Branch		L'OMAFRA publie régulièrement un bulletin, CropPest, sur l'évolution des récoltes et de la qualité. En 2006 et en 2008, ils ont également publié les résultats d'une campagne d'échantillonnage du maïs au champ dans divers comtés ontariens en vue de connaître la teneur en vomitoxine des récoltes.
Santé Canada	Luc Pelletier	Santé Canada réalise des recherches pour évaluer la toxicité des toxines naturelles chez l'humain et évalue le risque d'effets indésirables lié à leur exposition. Il établit des normes relatives aux limites maximales acceptables dans les aliments. Avec la collaboration d'autres partenaires du gouvernement fédéral, notamment l'Agence canadienne d'inspection des aliments, le ministère des Pêches et des Océans, et la Commission canadienne des grains, cet organisme contrôle régulièrement le niveau de diverses toxines naturelles présentes dans les aliments.
Université de Guelph Animal and Poultry Science	Kees de Lange Trevor K. Smith <i>(Gabriel Diaz-Llano a également co-signé plusieurs publications lorsqu'il travaillait à l'Université de Guelph)</i>	Nutrition des porcs, santé intestinale, modélisation mathématique, détoxification enzymatique des aliments contaminés par les <i>Fusarium</i> . Effets des facteurs anti-nutritionnels tels que les mycotoxines du genre <i>Fusarium</i> (porcs, volailles, bovins laitiers, chevaux, animaux de compagnie). Méthodes analytiques de détection des mycotoxines dans les aliments.
Université de Guelph Plant Agriculture, Ridgetown Campus	Art Schaafsma, Lily Tamburic-Illincic, Victor Limay-Rios	Phytopathologie (maïs et céréales), modèle de prédiction de la fusariose DONcast (nom du modèle), application de fongicides dans le blé, résistance génétique du blé, tests de détection des mycotoxines.
Université de Guelph Plant Agriculture,	Peter Pauls Laima Kott	Sélection d'hybride de maïs pour la résistance à la fusarium graminearum

Ridgetown Campus		
Université du Manitoba	Dilantha Fernando, Xiaowei Guo	Phytopathologie (blé) – modélisation.
Université de Manitoba	Jim House	Nutrition des monogastriques, biochimie et nutrition vitaminique.
MONDE		
Agroscope (Suisse) Station de recherche fédérale Reckenholz - Tänikon ART		Les travaux de cette station sont plutôt orientés vers les méthodes culturales avec un pôle de recherche sur la fusariose dans les céréales et le maïs.
Agroscope (Suisse) Station de recherche fédérale Changins - Wädenswil ACW		Les chercheurs de l'ACW travaillent sur la sélection et la résistance des variétés de céréales et de maïs.
Agroscope (Suisse) Station de recherche fédérale Liebefeld-Posieux ALP		Dans cette station de recherche fédérale suisse, les travaux de recherche portent sur les productions animales.
Alltech (USA)		Mycosorb – additifs alimentaires pour prévenir le développement des mycotoxines, efficace pour toutes les espèces animales. Alltech supporte le site Internet www.knowmycotoxins.com (Voir Tableau 4).
Biomin (Autriche)		Ligne de produits Mycofix – pour la désactivation des mycotoxines dans l'alimentation des animaux. Créateur du site Internet www.mycotoxins.info (voir Tableau 4).
HGCA Home grown cereals authority (UK)		Cette organisation vise l'amélioration de la production, de la mise en marché et de la compétitivité des grains et oléagineux produits au Royaume-Uni HGCA a également un site Web (voir Tableau 4).
INRA (France)	Isabelle Oswald Jean-Pierre Jouany	Influence de l'ingestion de mycotoxines sur la réponse immunitaire et sensibilité aux infections chez les porcs. Détoxification des mycotoxines par l'utilisation des levures.

Stimul (France)		Pôle de recherche et expertise sur la qualité sanitaire des céréales. Groupe d'intérêt scientifique formé des trois partenaires suivants : Groupe coopératif Maisadour, Syngenta seeds et Maisadour semences.
Toxicology and mycotoxins Research Unit (TMRU) (USA)	Charles W. Bacon Anthony E. Glenn Kenneth A. Voss Ida E. Yates	Branche du Research and Service du United States Department of Agriculture (USDA). Amélioration de la consommation et du marché d'exportation, de l'acceptabilité des produits agricoles des États-Unis (maïs, blé) qui peuvent être contaminés par <i>Fusarium</i> . Études toxicologiques de paramètres associés à une ou plusieurs mycotoxines, individuellement ou combinées, ainsi que la toxicité <i>in vivo</i> des espèces de <i>Fusarium</i> isolées à partir de maïs, de blé et autres céréales. Contrôler et / ou prévenir la formation de mycotoxines dans le maïs qui sont produites par le champignon <i>F. moniliforme</i> . Production écologique, accumulation de <i>F. moniliforme</i> des toxines et prévention de ces toxines dans la plante, principalement par le biais de stratégies de lutte biologique, telles que les bactéries inoffensives.
Université Cornell (NY, USA)	Gary Burgstrom, David Schmale III	Phytopathologie (maïs et blé).
Université de l'état du Dakota du nord (ND, USA)	Marcia McMullen	Phytopathologie (blé et orge).
Université du Michigan (MI, USA)	James J Pestka	Nutrition, toxicologie des aliments, effets immunotoxicologiques des mycotoxines et des bactéries, suppléments naturels.
Université du Minnesota (MN, USA)	Ruth Dill-Macky	Phytopathologie (céréales et maïs).
Université fédérale de Parana (Brésil)	Elizabeth Santin	Dre Santin est professeur adjointe à l'Université fédérale de Parana, d'où elle a fait ses études post-doctorales. Elle est diplômée en médecine vétérinaire de l'Université Fédérale de Santa Maria avec une spécialisation en diagnostic biomoléculaire de virologie à l'université du Nebraska et une maîtrise et un doctorat à l'Université <i>Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho</i> . Ses travaux

		portent principalement sur les levures <i>S. cerevisiae</i> , les mycotoxines, l'immunité, la maladie Newcastle et l'interaction entre la nutrition et les performances zootechniques.
Université de l'Utah (USA)	Duarte E. Diaz	Dr Diaz est professeur assistant au département des sciences animales de l'Université de l'Utah. Il a effectué différents travaux portant sur l'analyse des mycotoxines, l'impact des mycotoxines dans l'alimentation des ruminants et sur l'efficacité de l'ajout d'additif alimentaire dans la ration. Il est également l'éditeur du livre <i>Mycotoxin Blue Book</i> .
USDA-GIPSA (IL, USA)	Anne Desjardins	Mycotoxicologie des <i>Fusarium</i> .
USWBSI US Wheat and barley scab initiative (USA)		L'objectif de l'USWBSI est de contribuer au développement rapide de moyens et méthodes de contrôle pour minimiser les impacts de la fusariose dans les cultures d'orge et de blé. Par la coordination des activités de recherche et le financement de projets, il vise aussi à identifier et faire connaître les meilleures pratiques de production (résistance des cultivars, fongicides, pratiques culturales, rotations, modèles prévisionnels, analyses économiques). L'USWBSI est financé par l'Agricultural Research Service du USDA et le comité exécutif est composé de producteurs de grains, d'utilisateurs, de représentants de plusieurs universités et du USDA.

Concernant les équipes de recherche, un premier constat peut être posé en comparant le nombre d'intervenants dans le secteur des productions végétales à celui des productions animales. Un plus grand nombre d'équipes de recherche semblent impliquées dans la recherche autour de la fusariose de l'épi (céréales et maïs) que du côté des effets sur les animaux.

Tableau 3. Équipes de recherche sur la fusariose de l'épi des céréales

Centre de recherche	Chercheur responsable	Espèce	Discipline
QUÉBEC			
AAC Normandin	Denis Pageau Julie Lajeunesse	Orge, avoine, blé	Pratiques culturales Évaluation de la résistance à <i>Fusarium</i>
AAC	François	Blé, triticales	Amélioration génétique

Québec	Langevin André Comeau	(orge : évaluation seulement)	But : résistance à <i>Fusarium</i> et autres stress
AAC Saint-Jean-sur- Richelieu	Gaétan Bourgeois	Blé et orge	Modèles prévisionnels
CÉROM	Sylvie Rioux Yves Dion Gilles Tremblay Serge Fortin	Blé, orge, avoine Blé, orge Maïs, blé Céréales	Phytopathologie (emphasis sur <i>Fusarium</i>) (épidémiologie, méthodes d'évaluation de cultivars - pratiques culturales) Amélioration génétique - Essais de fongicides Modélisation Pratiques culturales Entreposage et- conservation des grains
Université Laval Québec	François J. Belzile Suzanne Marchand	Orge	Amélioration génétique, marqueurs moléculaires
Université McGill Sainte-Anne-de- Bellevue	Ajjamada Kushalappa	Blé et orge	Amélioration génétique - marqueurs métaboliques
CANADA			
AAC Charlottetown Île-du-Prince- Édouard	Richard Martin	Céréales	Phytopathologie Amélioration génétique
AAC Lethbridge Alberta	François Eudes	Blé, triticale	Amélioration génétique - biotechnologie
AAC – Ottawa	Marc Savard Allen Xue Lana Reid Xiaoyang Zhu Harvey Voldeng Alek Choo Keh Ming Ho Weikai Yan	Céréales Blé, orge Maïs Maïs Blé de printemps Orge à six rangs Orge à deux rangs Avoine	Chimie- Analyses de mycotoxines Phytopathologie Amélioration génétique Amélioration génétique Amélioration génétique Amélioration génétique Amélioration génétique (emphasis sur <i>Fusarium</i>)
AAC Swift Current	Myriam Fernandez	Céréales	Phytopathologie

Saskatchewan			
AAC Winnipeg	Jeannie Gilbert Andy Tekauz	Blé Orge, avoine	Phytopathologie Phytopathologie (emphasis sur <i>Fusarium</i>)
Université de Guelph	Art Schaafsma Lily Tamburic- Ilincic	Maïs, céréales	Phytopathologie
Université du Manitoba	Dilantha Fernando / Xiaowei Guo	Blé	Phytopathologie (modélisation)
ÉTATS-UNIS			
Université Cornell,	Gary Burgstrom David Schmale III (VA)	Maïs, blé	Phytopathologie
Université du Dakota du Nord	Marcia McMullen Mohamed Mergoum	Blé, orge	Phytopathologie (une certaine emphase sur <i>Fusarium</i>)
Université du Minnesota	Ruth Dill-Macky	Céréales, maïs	Phytopathologie
USDA- GIPSA	Anne Desjardins		Mycotoxicologie des <i>Fusarium</i>

Tableau 4. Sites et outils Internet sur les mycotoxines

Organisation responsable	Adresse Internet	Description
QUÉBEC		
CDPQ	http://www.nav_cdpq.asp?page=champs_dactivite/05Technique_delevage/Myco toxines	Cette page Web présente l'information sur les facteurs qui peuvent influencer l'apparition des mycotoxines ou leurs impacts sur les porcs. Des documents techniques provenant de différents partenaires y sont également déposés. Cet outil de diffusion a été conçu de façon à apporter un complément plus technique au présent document. La page web évoluera au fil du temps et de nouveaux documents y seront ajoutés.
CEROM	www.cerom.qc.ca	Ce site contient plusieurs bulletins techniques sur l'entreposage des grains (séchage, ventilation, conservation).

La Financière agricole du Québec	www.fadq.qc.ca/index.php?id=2311	On y retrouve en ligne les bilans en assurance récolte pour les différentes régions du Québec. La Financière agricole publie aussi le bulletin <i>L'état des cultures au Québec</i> ainsi que l'évolution des récoltes par région.
RAP- Réseau d'avertissements phytosanitaires	www.agrireseau.qc.ca/rap	On y retrouve tous les bulletins émis par le RAP. Ces avertissements sont produits par le CEROM. Trois fois par semaine pendant l'été des avertissements donnent le niveau de risque d'infection à la fusariose (blé et orge seulement) pour les régions du Québec. Les producteurs peuvent donc utiliser cette information pour planifier les traitements fongiques.
Réseau Grandes Cultures du Québec	http://www.cerom.qc.ca/documentation/Resultats_RGCCQ_2008.pdf	Ce document présente le degré de sensibilité de certains cultivars dont le blé et l'orge, évalués par l'Atelier céréales du Réseau Grandes Cultures du Québec. Il renferme les résultats 2007 ainsi que les recommandations pour 2008. Ce réseau impose des normes sévères concernant <i>Fusarium</i> et ses toxines.
Vent-Expert	www.cerom.qc.ca/3_0/3_1.html	Logiciel développé par le CEROM pour le calcul des systèmes de ventilation des grains.
CANADA		
Commission canadienne des grains	www.grainscanada.gc.ca	Statistiques annuelles sur les grains de blé fusariés dans l'Ouest canadien, autres données sur la qualité pour divers grains, photos de grains fusariés, normes de classement.
Manitoba Agriculture, Food and Rural Initiatives	www.gov.mb.ca/agriculture/crops/diseases	Information diverse sur la fusariose des grains, les méthodes culturales, l'entreposage, le choix des variétés.
Manitoba Agriculture, Food and Rural Initiatives	www.gov.mb.ca/agriculture/crops/fhb/index.html	Modèles de prédiction du risque de fusariose en fonction des prévisions et conditions météorologiques dans les différentes régions du Manitoba. Les résultats sont présentés sur des cartes mises à jour chaque semaine.
OMAFRA Ontario Ministry of Agriculture, Food & Rural Affairs - Crop Technology Branch	www.omafra.gov.on.ca/english/crops/field/news/news_croppest.html	Bulletin CropPest qui fait état de la qualité et de l'évolution des récoltes en Ontario. L'abonnement à la version électronique du bulletin est gratuit.
Weather Innovations inc.	www.weatherinnovations.com/DONcast.cfm	Weather Innovations Incorporated est une nouvelle compagnie mise sur pied à l'origine au Campus Ridgetown de l'Université de Guelph sous le nom de projet Ontario Weather Network. La compagnie se spécialise dans le développement de modèles prévisionnels basés sur les conditions météorologiques

		facilement utilisables sur les fermes de grandes cultures. Un des modèles développés est le DONcast qui prédit pour un site de culture de blé, le risque de contamination de la récolte par la vomitoxine.
ÉTATS-UNIS		
Alltech (selon François, Alltech n'est pas l'auteur de ce site mais le supporte)	www.knowmycotoxins.com	Site Internet géré de façon autonome par un groupe de spécialistes des mycotoxines avec l'appui technique de Alltech. Contient de l'information sur les événements à venir, la réglementation, les impacts des mycotoxines sur l'animal et les stratégies pour en combattre les effets, les méthodes d'échantillonnage. Le site propose aussi « l'Expert du mois » et fait connaître ses travaux en lien avec la problématique des mycotoxines.
FAO/IAEA	www.iaea.org/trc/main.htm	Entente entre la FAO (Food and Agriculture Organization) et l'IAEA (International Atomic Energy Agency). Il supporte les États membres et leurs institutions dans l'implantation de normes internationales relatives à la sécurité alimentaire, à l'utilisation judicieuse des pesticides et aux mesures phytosanitaires (méthodes d'analyse). Il exerce son mandat par la formation, par des services d'assurance qualité et du transfert technologique. Sur le site Internet (onglets « General information » et « Mycotoxins »), on peut retrouver des publications sur les méthodes analytiques et la réglementation en rapport avec les mycotoxines.
Grain Inspection, Packers & Stockyards Administration GIPSA/USDA	www.gipsa.usda.gov	Le site Internet présente une section sur les mycotoxines (sous l'onglet « <i>grain, rice & pulses</i> »). De nombreuses publications disponibles en ligne se retrouvent également sous l'onglet « laws & regulations ». Un rapport d'évaluation des performances des trousseaux de détection rapide des mycotoxines (test kits) se retrouve également sur le site (aflatoxine, DON, fumigation, inspection des grains, méthodes de détection, etc).
National Agricultural Statistics Service (USDA)	www.nass.usda.gov/publications/state_crop_progress_and_conditions/index.asp	Rapports de progression des récoltes pour tous les États américains. On peut s'inscrire en ligne pour recevoir les bulletins hebdomadaires par courriel ou les consulter sur le site.
Université du Dakota du Nord	www.ag.ndsu.nodak.edu/cropdisease/cropdisease.htm	Modèle prévisionnel du risque d'infection par la fusariose.
Université de l'Ohio	www.oardc.ohio-state.edu/ohiofieldcropdisease/	Le site contient beaucoup d'information sur les mycotoxines et les cultures. Il y a une section sur les effets chez les animaux, les niveaux recommandés et les bonnes pratiques à mettre en place. Le site comporte aussi un modèle prévisionnel du risque

		d'infection par la fusariose.
Université de la Pennsylvanie	www.wheatcab.psu.edu	Modèle prévisionnel du risque d'infection par la fusariose.
USWBSI US Wheat and barley scab initiative	www.scabusa.org	Site de l'USWBSI. On y retrouve des rapports de projets, des liens vers d'autres sites, les résumés des forums nationaux sur la fusariose de l'épi (National Fusarium Head Blight Forum) et les chercheurs impliqués dans les projets.
EUROPE		
Agroscope (Suisse)	www.mycotoxines.ch	Site commun pour les travaux de recherche sur les mycotoxines effectués dans les stations d'Agroscope.
Swiss Granum (Suisse)	http://swissgranum.ch	Swiss granum est la plate-forme commune de la branche des céréales, oléagineux et protéagineux. Elle représente et défend les intérêts communs définis par ses membres.
Australian Mycotoxin Newsletter (Australie)	www.aciar.gov.au/node/461	Newsletter publiée entre 1982 et 2003 par Postharvest Technology Program de l'Australian Center for International Agricultural Research. Regroupait des résumés de publications scientifiques traitant des mycotoxines et des données analytiques sur l'occurrence des contaminations en Australie. Le format était intéressant mais la publication a cessé étant donné qu'avec la venue de l'Internet l'accès aux publications s'est vu grandement facilité. Les anciens numéros sont encore en ligne et peuvent être téléchargés gratuitement.
Biomin	www.mycotoxins.info	Nouveau site Internet publié par la compagnie Biomin. Le site renferme une foule de renseignements sur les mycotoxines, un calendrier des grands événements mondiaux en rapport avec les mycotoxines, une section questions & réponses. L'information est regroupée dans différents onglets : champs, entreposage, effets sur les animaux, données scientifiques et vétérinaires ainsi qu'une section dédiée aux consommateurs. L'information de base est présentée ainsi que les mesures de prévention à chaque niveau. Biomin dépose également des capsules sur le thème des mycotoxines.
Commission européenne	www.ec.europa.eu/food/food/chemical_safety/contaminants	Ce site permet de télécharger les opinions scientifiques publiées par le Scientific Committee for Food sur les toxines suivantes : deoxynivalénol, nivalénol, T-2 et HT-2, zéaralénone et fumonisines. Les liens pour les textes de lois, règlements et recommandations de la Communauté européenne figurent aussi sur le site.
École d'ingénieurs en	http://biosol.espita.org/liens/myco_200	Site contenant de l'information spécifique aux mycotoxines, créé par l'école d'ingénieurs en

agriculture	4/index.htm	agriculture, en Europe. Il renferme les principaux aspects concernant les mycotoxines, à savoir les facteurs d'apparition, les méthodes de détection, les risques et conséquences.
European Mycotoxins Awareness Network (EMAN)	www.mycotoxins.org	Site Web qui regroupe de l'information scientifique et technique déposée par un consortium d'experts. Le réseau a été créé en 2000. Le site regroupe des fiches techniques, de l'information, entre autres, sur les méthodes de détection et d'analyse des mycotoxines, la prévention, l'évaluation des risques et la législation. Il est actuellement financé par Biomin, Neogen et Leatherhead International.
HGCA (UK) Home grown cereals authority	http://www.hgca.com/content/template/0/0/Home/Home/Home.msp	Le site présente beaucoup d'information relativement aux marchés, à la recherche sur les cultures, des cartes sur l'évolution des récoltes et de l'état sanitaire, ainsi que des outils en ligne. La section sur les mycotoxines renferme des guides de bonnes pratiques afin de minimiser la contamination des grains, des rapports sur les niveaux de contamination, des fiches techniques sur l'entreposage des grains et un chiffrier qui permet de calculer la durée d'entreposage.
IFA Tulln Université de Vienne	http://www.ifa-tulln.ac.at/index.php?id=6&L=1	IFA Tulln est l'unité d'Agrobiotechnologie de l'Université de Vienne. Biomin est en relation très étroite avec cette faculté. Cette branche se spécialise en chimie analytique, mycotoxine, de l'eau et la biochimie.
ISPB Université de Lyon Institut des sciences pharmaceutiques et biologiques	http://ispb.univ-lyon1.fr/mycologie/site_lab_myco/enseignement/3/mycotoxines01.htm	Ce site regroupe des documents destinés à l'enseignement de la mycologie. On y retrouve des textes et des présentations PowerPoint sur le développement des moisissures, sur les mycotoxicoses et leurs effets sur la santé des hommes et des animaux, sur les modes de prévention et la réglementation.
MoniQA	http://www.moniqa.org/	Financé par l'Union européenne, MONIQA regroupe 33 organisations du monde entier qui travaillent ensemble pour aider les fabricants de produits alimentaires, les magasins de détails et les organismes de réglementation à faire face aux défis posés par la mondialisation de l'économie alimentaire. En particulier, MONIQA est en train d'établir des méthodes et des normes dans l'analyse alimentaire. Cet organisme assure l'efficacité et l'efficience de la qualité des aliments et de sécurité au sein de l'UE et dans le monde entier.
Mycotoxicology Newsletter Dr. Angelo Visconti,	http://www.mycotoxology.org/index.html	Newsletter publiée entre 1998 et 2008. Forum regroupant des résumés de publications scientifiques, les nouvelles récentes et les conférences portant sur divers aspects des mycotoxines au niveau international.

<i>Institute of Sciences of Food Production</i>		
Rapid alert system for food and feed RASFF	http://ec.europa.eu/food/food/rapidalert/index_en.htm	Réseau d'information en lien avec l'innocuité alimentaire dans les pays européens, incluant les alertes pour la présence de tous types de contaminants alimentaires, les mycotoxines dans les aliments (humains, animaux) et les grains. Ce réseau a été créé par le règlement EC 178/2002. Il permet la transmission rapide d'information entre les États membres, la Commission européenne et l'EFSA- European food safety authority. Par ce réseau, les États membres qui détectent des contaminants dans les aliments doivent en faire un rapport immédiat au RASFF, qui retransmet l'information à tous.
Stimul	www.maitriserlesfusarium.org	Information générale sur les mycotoxines, réglementation européenne, programmes de recherche sur la résistance et la tolérance des lignées et cultivars de maïs, pratiques culturales et facteurs agro-environnementaux et leur lien avec les taux de contamination, schémas de bonnes pratiques.

Seuils de tolérance des animaux

Selon un rapport publié par la FAO/IAEA (FAO, 2004), au moins 99 pays disposaient en 2003, de réglementations (ce qui inclut les limites données à titre indicatif) concernant les niveaux de mycotoxines permis dans les produits d'alimentation animale ou humaine. La détermination des seuils de tolérance des animaux aux différentes mycotoxines permet de mieux gérer l'utilisation des grains contaminés. En effet, la détermination et le respect de seuils de tolérance permettent d'utiliser les grains contaminés en diminuant le risque que des problèmes de santé ou des pertes de performance surviennent dans l'élevage. L'établissement de seuils de tolérance n'est toutefois pas une chose aisée. En effet, la tolérance des animaux est influencée par bon nombre de facteurs comme par exemple :

- la disponibilité de données toxicologiques : est-ce que des études ont été faites? Si oui, sont-elles récentes?
- la connaissance des contaminants de l'aliment : les essais ont-ils été réalisés avec des aliments naturellement contaminés ou bien contaminés artificiellement avec des standards de mycotoxines?
- la présence de formes conjuguées de mycotoxines (mycotoxines masquées)
- la présence d'autres contaminants : y avait-il d'autres mycotoxines ou d'autres composés présents et qui n'auraient pas été analysés?
- l'état de santé de l'animal
- la présence d'autres facteurs de stress dans l'élevage

De plus, bon nombre d'observations cliniques effectuées dans les élevages ne semblent pas compatibles avec les faibles niveaux de mycotoxines analysés dans les aliments qui étaient distribués, alors que les symptômes observés laissent entrevoir la possibilité d'une contamination importante (Binder, 2007). Cette situation est régulièrement rapportée par les experts en nutrition animale et les conseillers d'élevage. Plusieurs raisons peuvent expliquer ces observations mais la présence de mycotoxines masquées est une des explications plausibles rapportée dans quelques publications (Berthiller *et al.*, 2005 ; Zhou *et al.*, 2005) (voir section sur l'analyse des mycotoxines). La présence simultanée d'une combinaison de mycotoxines (certaines moisissures peuvent en produire plus d'une) pourrait être une autre explication; l'analyse de toutes les mycotoxines potentielles n'est pas toujours demandée lorsqu'on envoie un échantillon de grain ou de moulée au laboratoire. De plus, comme certaines mycotoxines ont un effet immunosuppresseur chez les porcs, la sensibilité de l'animal aux effets des mycotoxines peut être amplifiée dans certains cas. Cela démontre bien la difficulté de déterminer avec précision les concentrations maximales en mycotoxines à ne pas dépasser, étant donné que la sensibilité de l'animal varie, qu'un aliment peut être contaminé par plus d'une toxine à la fois et qu'on ne connaît pas forcément la concentration de tous ces composés dans l'aliment.

La détermination d'un seuil de tolérance conduit généralement à fixer des concentrations maximales de mycotoxines à ne pas dépasser lors de l'incorporation d'un ingrédient dans la fabrication d'une moulée destinée aux porcs. Par exemple, si on établit que le seuil de tolérance d'un porc à la vomitoxine est de 1 ppm et que l'aliment à préparer contient 50 % de maïs, il ne faudra pas que le maïs employé contienne plus que 2 ppm de vomitoxine (à condition que les autres ingrédients n'en contiennent pas). Au Canada, l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) présente une fiche d'information (tableau 5) dans laquelle sont établis les seuils de tolérance de mycotoxines potentiellement présentes dans les aliments destinés aux porcs (Charmley et Trenholm, 2000). Selon les mycotoxines, ces niveaux sont soit des maximums légaux, soit des directives réglementaires ou de simples recommandations. Pour la vomitoxine, il existe un maximum légal de 2 ppm mais cette norme ne s'applique qu'au blé destiné à l'alimentation humaine. Dans le cas des aliments destinés aux porcs, il est aussi recommandé de ne pas dépasser 2 ppm de vomitoxine; cependant, il s'agit dans ce cas-ci d'un seuil de tolérance et non une directive réglementaire. Par contre, un avis plus récent de l'ACIA recommande de ne pas dépasser 1 ppm pour les aliments destinés aux porcs et d'éviter de distribuer des aliments contaminés aux truies en gestation et en lactation (ACIA, 2009). Le Dr Trenholm mentionne que les seuils de tolérance présentés dans la fiche de renseignements de l'ACIA (Charmley et Trenholm, 2000) sont principalement basés sur des études portant sur des mycotoxines individuelles. Ainsi, il suggère que « des recherches plus poussées sur les interactions des mycotoxines les unes avec les autres et avec d'autres facteurs environnementaux et nutritionnels permettraient de valider et éventuellement de modifier ces directives ».

Tableau 5. Niveaux maximums admissibles, directives et seuils de tolérance recommandés (mg/kg) dans les aliments destinés aux porcs pour plusieurs mycotoxines selon l'Agence canadienne d'inspection des aliments^{1,2}

Mycotoxines	Aspect légal	Limites en mg/kg (ou ppm)
Déoxynivalénoïl (DON, vomitoxine)	Seuil de tolérance recommandé ¹	2
Déoxynivalénoïl (DON, vomitoxine)	Seuil de tolérance recommandé ²	1 pour les porcs mais il est recommandé de ne pas distribuer un aliment contaminé aux truies en gestation et en lactation
Aflatoxines	Maximum légal admissible	0,02
Diacétoxy-scirpénol (DAS)	Seuil de tolérance recommandé	2
Toxine T-2	Seuil de tolérance recommandé	1
Zéaralénone (ZEN)	Seuil de tolérance recommandé	1-3 pour les jeunes truies MAIS l'industrie porcine s'est déclarée préoccupée par les concentrations allant de 0,25 à 5
Ochratoxine A (OA)	Seuil de tolérance recommandé	0,2
Ergot (alcaloïdes)	Seuil de tolérance recommandé	4-6

¹ Charmley, L.L. et H.L. Trenholm. 2000. Fiche technique : les mycotoxines. Agence canadienne d'inspection des aliments. [En ligne]. <http://www.inspection.gc.ca/francais/anima/feebet/pol/mycof.shtml>

² Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). 2009. Directive réglementaire RG-1 Chapitre 7, section 7.1 Mycotoxines dans les aliments du bétail (anciennement T-3-116). [En ligne] http://www.inspection.gc.ca/francais/anima/feebet/regdir/sect7_1f.shtml

Le rapport sur la réglementation mondiale relativement aux niveaux de mycotoxines dans les aliments (FAO, 2004) présente une comparaison des normes entre le Canada et les États-Unis. En ce qui concerne la vomitoxine, les normes américaines mentionnent que les grains et sous-produits de grains, incorporés à la ration jusqu'à un maximum de 20 %, ne doivent pas contenir plus de 5 ppm de vomitoxine. Ceci est donc équivalent à la récente recommandation canadienne de 1 ppm dans l'aliment complet.

L'Union européenne a également proposé des seuils de tolérance pour les produits destinés à l'alimentation animale (Berger, 2005; Poilvet, 2005). Ces recommandations sont présentées au tableau 6. Elles sont plus sévères que celles publiées sur le site de l'ACIA (tableau 5), particulièrement pour l'ochratoxine A (0,05 ppm vs 0,2 ppm) et la zéaralénone (0,1 ppm vs 0,25 ppm). D'autres recommandations sont présentées un peu partout dans la littérature et cela démontre bien la difficulté d'établir des seuils de tolérance uniformes.

Tableau 6. Seuils de tolérance proposés par l'Union européenne

	Déoxynivalénol (vomitoxine)	Zéaralénone	Ochratoxine A	Fumonisine B1 + B2
Céréales et produits céréaliers	8 mg / kg	2 mg / kg	0,25 mg / kg	80 mg / kg
Aliments complets et complémentaires pour porcs	0,9 mg / kg	0,1 mg / kg Porcelets et cochettes 0,25 mg / kg Truies et porcs	0,05 mg / kg	5 mg / kg

Établissement de la toxicité

Une autre difficulté dans la détermination de niveaux maximums de concentration des aliments en mycotoxines est la définition de la notion de sécurité d'un aliment et le choix des variables qui serviront à l'évaluation scientifique de cette sécurité (Binder, 2007). En effet, avant de déterminer à quel niveau la concentration en mycotoxines d'un aliment est sécuritaire pour un porc, il faut déterminer à partir de quelles variables les conclusions seront tirées (concentration létale? diminution de la croissance? développement de maladies? changements dans les paramètres sanguins? déviations dans le système immunologique ou dans les concentrations des différentes enzymes?). Toutes ces définitions auraient avantage à être uniformisées afin d'amener plus de cohésion quant aux seuils de tolérance recommandés dans les diverses publications.

Nous avons mentionné dans une section précédente la découverte depuis quelques années de formes conjuguées de certaines mycotoxines (vomitoxine, zéaralénone). Ces mycotoxines « masquées » échappent aux analyses conventionnelles de laboratoire qui nous donnent la concentration en vomitoxine ou en zéaralénone « libres » (Berthiller *et al.*, 2005 ; Zhou *et al.*, 2005). Par contre, une fois dans l'animal, il arrive que ces composés soient hydrolysés et la mycotoxine ainsi libérée pourrait alors exercer ces effets toxiques pour l'animal (Gareis, M. cité par Berthiller *et al.*, 2005). De ce fait, les interactions entre la barrière intestinale et les mycotoxines (ou autres produits toxiques associés) ne seraient pas bien connues et des recherches plus poussées auraient avantage à être effectuées afin de bien comprendre dans quelle mesure les mycotoxines et leurs formes conjuguées sont absorbées par les porcs.

Au laboratoire vétérinaire en agroenvironnement de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal, Dr Younès Chorfi travaille à mettre au point des indicateurs physiologiques de mycotoxicoses chez les animaux de différentes espèces, incluant les porcs. Dr Chorfi et son équipe ont mis au point des méthodes d'analyse de certains métabolites indicateurs d'un challenge mycotoxique de l'animal. Selon les espèces et les mycotoxines, ils procèdent à partir d'échantillons de sang ou d'urine; l'animal n'a donc pas à être sacrifié, ce qui réduit les coûts et accélère l'expérimentation. Pour ce qui est de l'espèce porcine, ils sont actuellement à faire le parallèle entre les doses ingérées des mycotoxines et les réponses physiologiques observées. L'emploi de telles analyses viendra faciliter le travail d'évaluation des effets toxiques des mycotoxines sur les animaux et aussi l'évaluation de l'efficacité des additifs ou des stratégies nutritionnelles qui pourraient être employées.

Etienne (2007) a effectué une revue de littérature sur les effets de la vomitoxine chez les porcs. Il apparaît que les porcs sont plus sensibles que les autres espèces à la vomitoxine. La présence de vomitoxine dans leurs aliments peut avoir de nombreux effets négatifs. Le tableau 7 est tiré de son étude et présente les effets rapportés sur la consommation, la vitesse de croissance, l'efficacité alimentaire, la rétention azotée, les paramètres de la reproduction, les paramètres sanguins, les organes et tissus et la fonction immunitaire. Il en ressort que les principaux effets négatifs observés sont une diminution des performances zootechniques, consécutive à la baisse de consommation généralement observée pour des teneurs supérieures à 1 ppm de vomitoxine dans l'aliment. Étant donné que des effets sont rapportés sur les fonctions immunitaires, il recommande que des études soient effectuées afin d'éclaircir les interactions entre la vomitoxine et la réponse immunitaire des porcs soumis à des stress.

Tableau 7. Principaux effets de la vomitoxine observés chez le porc (tiré de Etienne, 2007)

Paramètre	Observation	Teneur en vomitoxine (DON) de l'aliment
Consommation aliment	Diminution ↓	Si > 1 mg/kg -4 à -5% par mg/kg de DON
Vitesse de croissance	Diminution ↓	Si > 1 mg/kg -7 % par mg/kg de DON
Efficacité alimentaire	Pas d'effet, voire amélioration	< 3 mg/kg
	Pas d'effet ou ↓	> 3 mg/kg
Rétention azotée	Pas d'effet	3,7 et 5,3 mg/kg
	Amélioration	6,5 mg/kg
Reproduction	Pas d'effet sur le développement sexuel	4 mg/kg
	↓ de la consommation alimentaire	2 et 3,5 mg/kg
	↓ des réserves corporelles des truies	Si consommation diminuée
	Pas d'effet sur le poids des porcelets	2 à 6,2 mg/kg
	Pas d'effet sur le nombre de porcelets nés vivants	2 à 6,2 mg/kg
	↑ du nombre de porcelets mort-nés	5,7 mg/kg
	Traces de DON dans le lait	2, 3,8, 6,2 mg/kg
Paramètres sanguins	Effets limités et épisodiques : ↓ des	3 mg/kg

	leucocytes	
	Effets limités et épisodiques : ↓ de l'hémoglobine	10,5 mg/kg
	Effets limités et épisodiques : ↓ protéines, albumine, globulines	3,5 mg/kg
	Effets limités et épisodiques : ↑ de la T4	3 mg/kg
Fonctions immunitaires	↑ fréquente des IgA totales	Entre 1,4 et 6,6 mg/kg
	Effets non systématiques : ↑ ou ↓ des IgG	5,5 et 2,5 ou 1,6 mg/kg
	Effets non systématiques : ↑ ou pas d'effet sur prolifération lymphocytaire	1,6 à 3,9 ou 2,9 et 5,5 mg/kg
	Après vaccination ou challenge immunitaire : ↑ IgA et IgG anti-ovalbumine	2,5 mg/kg
	Après vaccination ou challenge immunitaire : ↓ anticorps anti-SRCB ou toxine tétanique	3 mg/kg, ou 1,8 et 4,7 mg/kg
	Après vaccination ou challenge immunitaire : ↓ prolifération spécifique des lymphocytes	2,5, 1,8 et 4,7 mg/kg
Effets sur organes et tissus	Effets non systématiques : Nécrose du pancréas, nodules lymphatiques	0,5 mg/kg Poids vif (injection intraveineuse)
	Effets non systématiques : ↑ poids relatif du foie	Entre 2,9 et 8,7 mg/kg
	Effets non systématiques : ↑ poids relatif des reins	Entre 2,9 et 3,9 mg/kg
	Effets non systématiques : Morphologie de l'estomac	0,6 à 19 mg/kg

Interactions entre mycotoxines

Il est difficile d'établir des seuils de tolérance pour les mycotoxines en alimentation porcine puisque, plusieurs facteurs sont à prendre en considération pour évaluer les effets nocifs de ces mycotoxines. Cette difficulté résulte entre autres du fait que dans la fabrication d'une moulée, plusieurs ingrédients sont combinés. Chacun de ces ingrédients peut avoir été contaminé par une ou plusieurs mycotoxines qui se retrouvent alors ensemble, dans un même aliment. Les mycotoxines peuvent agir en interaction les unes avec les autres et les effets nocifs pour l'animal peuvent alors être amplifiés. Ainsi, une combinaison de plusieurs mycotoxines, à faible dose, peut avoir des effets beaucoup plus néfastes qu'une seule mycotoxine à forte dose. Plusieurs exemples d'interactions entre mycotoxines ont été rapportés à l'intérieur de différentes études, mais toutes ne sont pas forcément graves. Comme le mentionnait Dr Trenholm dans la fiche de renseignements sur les mycotoxines (Charmley et Trenholm, 2000), beaucoup de recherches restent encore à faire afin de définir des seuils de tolérance lorsqu'un aliment contient une combinaison de mycotoxines. Cela pose une grande incertitude aux experts en nutrition. Dans le cadre du présent projet, nous avons donc effectué une recherche dans la littérature pour vérifier l'état des connaissances. Les résultats détaillés de la synthèse bibliographique sont présentés à l'annexe 2.

Mycotoxines et système immunitaire des porcs

De façon générale, les mycotoxines peuvent agir à tous les niveaux du système immunitaire et du système antioxydant. De cette façon, elles peuvent agir sur toutes les cellules de l'immunité et aux différents niveaux de la réponse immunitaire (Oswald, 2006). En effet, la consommation de mycotoxines peut se manifester par une diminution des lymphocytes T et B, une inhibition des fonctions des macrophages et des neutrophiles, ou encore une altération de la réaction inflammatoire ou de la fonction de barrière des épithéliums (Oswald, 2007). Une mycotoxicose peut également induire une apoptose des cellules, un stress oxydatif et une modification de l'expression des gènes. Ces changements sont responsables de l'action immunosuppressive des mycotoxines. Les dommages causés aux récepteurs à la surface des macrophages, des neutrophiles et des lymphocytes causent la perte de communication entre les cellules, ce qui crée l'immunosuppression (Oswald, 2007 ; Surai et Mezes, 2005). Comme les cellules immunitaires sont constamment en renouvellement, le système immunitaire est plus affecté par les mycotoxines. Il arrive aussi que le système immunitaire soit stimulé en présence de mycotoxines. Cependant, cette stimulation n'est pas toujours favorable puisqu'elle peut mener à une hypersensibilité, une réaction allergique ou une immunopathologie (Oswald, 2007).

La diminution des fonctions immunitaires par les mycotoxines peut également réduire l'efficacité vaccinale et thérapeutique. Par exemple, la contamination des aliments par la Fumonisine B1 pourrait conduire à une rupture de l'immunité vaccinale et, à long terme, provoquer l'émergence de maladies infectieuses même dans des troupeaux convenablement vaccinés. Elle engendre également une diminution significative de la synthèse d'anticorps, rendant les animaux plus susceptibles aux infections comme *E. coli* et SRRP, ce qui occasionne une baisse de productivité de ces animaux (Oswald, 2007 ; Taranu, 2003).

Parmi les équipes de recherche qui s'intéressent à l'impact des mycotoxines sur le système immunitaire des porcs, celle dont fait partie D^{re} Oswald de l'Institut national de la recherche agronomique en France est particulièrement active. Elle et ses collègues de l'unité de pharmacotoxicologie, s'intéressent aux effets des mycotoxines, principalement issus des moisissures du genre *Fusarium*, sur le système immunitaire et sur la réponse de l'animal à l'infection et à la vaccination. D^{re} Oswald et ses collaborateurs ont écrit de nombreuses publications sur le sujet (annexe 1).

Une présentation Powerpoint concernant les mycotoxines et leur interaction avec le système immunitaire porcin a été élaborée afin de fournir un outil plus visuel pour présenter l'information recueillie (annexe 4). La présentation est également disponible sur la page Web du site internet du CDPQ (tableau 4). Elle comporte, entre autres, plusieurs exemples de l'efficacité vaccinale et de la sensibilité aux maladies lorsque les troupeaux sont nourris avec un aliment contaminé par différents types et différents niveaux de mycotoxines.

Mycotoxines et innocuité de la viande de porc

Au Canada, Santé Canada réalise des recherches pour évaluer la présence et la toxicité des mycotoxines dans les aliments destinés aux humains et évalue le risque d'effets indésirables liés à l'exposition des toxines naturelles. Santé Canada établit également les normes relatives aux limites maximales acceptables dans les aliments. La majorité des mycotoxines dans l'apport alimentaire des humains provient des grains de céréales et de légumineuses tandis que la contribution des aliments d'origine animale est considérée très faible (Pelletier, L., Santé Canada, 2009, communication personnelle). Cela explique pourquoi l'exposition aux mycotoxines est habituellement plus grande dans les pays en développement; les grains et les légumineuses constituent la base de l'alimentation et la consommation de produits animaux y est plus faible. Les pays plus industrialisés présentent également moins de risque de contamination étant donné les normes et le contrôle des risques relativement élevés (Atkins et Norman, 1998). Les produits comme les épices, les fruits et leurs jus, les noix, le vin, la bière, le café, le vinaigre et le cacao constituent aussi des sources potentielles de mycotoxines dans la chaîne alimentaire (Galvano *et al.*, 2005). Malgré que le risque soit considéré comme plus faible, il reste possible que les mycotoxines se retrouvent dans la chaîne alimentaire par le biais des produits d'origine animale tels que la viande, le lait ou les œufs.

Lorsque les mycotoxines se retrouvent dans l'alimentation des porcs, elles peuvent provoquer plusieurs troubles tels que la perte d'appétit, l'affaiblissement du système immunitaire, le ralentissement de la croissance et les troubles de reproduction. Cependant, le problème ne s'arrête pas seulement à une diminution des performances chez l'animal. La nature de la mycotoxine et sa facilité à être métabolisée par l'animal agissent sur le transfert des mycotoxines des moulées vers les animaux. En général, ce transfert est faible mais peut varier selon la mycotoxine et selon l'espèce animale.

Dans le cas de la vomitoxine, lorsqu'un animal a consommé une nourriture contaminée par moins de 3 mg/kg, une courte période de temps après le retour à un aliment sain est généralement suffisante pour réduire la présence de vomitoxine à des niveaux non détectables (Pollmann *et al.*, 1985; Grosjean *et al.*, 2003). Les ruminants sont habituellement plus tolérants aux effets des mycotoxines que les porcs ou les volailles puisque les microorganismes du rumen dégradent certaines de ces mycotoxines. Seuls quelques résidus peuvent passer dans le lait ou la viande des bovins (Ratcliff, 2002).

Le principal problème concernant les ruminants est surtout lié aux aflatoxines. Partout dans le monde, les aflatoxines sont le groupe de toxines le plus fortement réglementé étant donné leurs effets cancérigènes non seulement chez les animaux mais également chez l'homme. Le problème des aflatoxines vient du fait que le bétail métabolise les aflatoxines B₁ et B₂ et produit les aflatoxines M₁ et M₂ qui viennent compromettre la qualité sanitaire du lait. En conséquence, Santé Canada a mené plusieurs enquêtes pour déterminer les niveaux de certaines mycotoxines comme les aflatoxines et l'ochratoxine A dans les produits laitiers. Selon un sondage analysant une variété de produits laitiers, 108 échantillons avaient tous une concentration d'aflatoxine M₁ de moins que 0,015 partie par milliard (Pelletier, L., Santé Canada, 2009, communication personnelle). Aussi, pour 336 échantillons de lait cru et de lait au détail, aucun n'avait une concentration d'ochratoxine A (OTA) au delà de la limite de détection de l'instrument analytique (0,1 partie par milliard). Finalement, sur 87 échantillons de préparation pour nourrissons à base de lait, seulement 1 échantillon avait une concentration d'OTA détectable, de plus de 0,1 partie par milliard. Il faut noter que les préparations pour nourrissons peuvent contenir des ingrédients à base de grains de céréales (Pelletier, L., Santé Canada, 2009, communication personnelle).

L'ochratoxine A a une grande affinité pour certaines protéines du sang et demeure donc plus longtemps dans le système des animaux monogastriques. C'est pourquoi la viande et certains produits de porc sont susceptibles de se retrouver contaminés par cette mycotoxine lorsqu'elle est présente dans leur alimentation (Pelletier, L., Santé Canada, 2009, communication personnelle). En effet, sa faible clairance et sa très longue demi-vie (89 heures) expliquent l'élimination lente des résidus d'ochratoxine chez cette espèce. Dans les tissus des porcs, les taux d'ochratoxine A sont corrélés avec le niveau de contamination des aliments. En général, les concentrations d'OTA chez le porc sont plus élevées dans le sang, les reins et le foie (AFSSA, 2006). Ainsi, certaines saucisses de sang ou de foie de porc peuvent parfois avoir des niveaux d'OTA plus élevés que d'autres produits de viande. Comme cette toxine est chimiquement très stable, les processus de transformation tels que la cuisson de la viande ont très peu d'effets sur la réduction d'OTA. Selon une évaluation récente par Santé Canada sur les risques à la santé humaine, les produits de porc contribuent très peu à l'exposition totale d'OTA; environ 5 à 9 % de l'OTA de l'apport alimentaire proviennent des produits de porc. Ces résultats sont similaires aux valeurs indiquées par l'Union européenne qui a estimé qu'environ 4 % de l'OTA de l'apport alimentaire proviennent des produits de porc et volaille (Pelletier, L., Santé Canada, 2009, communication personnelle). Les céréales sont donc considérées comme la principale source d'exposition humaine à l'ochratoxine A (FAO, 2004).

Le déoxynivalénol (vomitoxine) peut causer une légère modification de l'estomac et de la muqueuse de l'intestin grêle. Cette toxine est absorbée et distribuée rapidement et efficacement dans l'organisme mais faiblement métabolisée par le porc. Ceci peut expliquer pourquoi les porcs sont également plus sensibles que les autres espèces domestiques à cette toxine. Cependant, elle est rapidement et presque complètement éliminée dans les 24 heures et seulement des traces sont encore présentes dans les tissus après une période de 12 à 24 heures suivant la fin de la distribution de l'aliment contaminé aux porcs (Etienne et Wache, 2008). Elle représente alors peu ou pas de risques pour le consommateur. Pour ce qui est de la toxine T-2, seuls de très faibles niveaux de contamination sont mesurés dans les tissus porcins 18 heures après administration de la toxine T-2, ce qui limite les risques de toxicité pour le consommateur également (AFSSA, 2006).

Des recherches complémentaires sont nécessaires afin de poursuivre l'étude du métabolisme des mycotoxines chez les animaux et l'éventuelle présence de résidus dans les tissus comestibles. Comme l'élimination totale des moisissures ou des mycotoxines dans la chaîne alimentaire est improbable, la méthode de gestion de risque la plus efficace pour garantir la sécurité des produits alimentaires d'origine animale reste donc de surveiller et de réduire les niveaux de mycotoxines dans les ingrédients utilisés dans l'alimentation des animaux, malgré le fait que la transmission des mycotoxines par l'intermédiaire des produits animaux présente un risque faible pour la santé humaine.

La FAO et l'Agence Internationale pour l'Énergie Atomique (FAO et IAEA, 2001) ont rédigé un manuel qui propose des lignes directrices pour utiliser l'approche HACCP dans la prévention et le contrôle des risques associés aux mycotoxines. L'approche HACCP, prévoit un certain nombre de composantes comme des programmes préalables (les bonnes pratiques), l'identification des risques et des points critiques, la définition des limites ou seuils critiques, des systèmes de monitoring, des procédures définies ainsi que des systèmes de documentation et de vérification. Les auteurs mentionnent que les modèles HACCP font partie intégrante des systèmes de gestion de la sécurité des aliments et qu'ils sont une partie importante des systèmes de gestion de la qualité et des stratégies à long terme pour assurer l'innocuité des aliments. Les exemples présentés dans le document s'appliquent surtout à la fabrication de produits spécifiques comme une usine produisant de la moulée pour les animaux par exemple. Nous l'avons vu depuis le début, la problématique des mycotoxines déborde largement du simple cadre d'une usine ou d'une meunerie. Il serait donc avantageux de viser une approche plus intégrée pour coordonner les efforts à tous les niveaux de production. La publication de Lopez-Garcia *et al.* (1999) présente un système complètement intégré de gestion des risques associés aux mycotoxines dans l'alimentation humaine et animale. Les actions à mettre en place ne s'adressent pas uniquement aux meuneries mais tiennent compte de toutes les étapes. Leur approche comporte les composantes suivantes :

1. Mise en place des limites réglementaires
 - a. Enquêtes sur les niveaux de contamination des ingrédients
 - b. Enquêtes sur les niveaux d'ingestion des mycotoxines par les humains et les animaux
 - c. Évaluation des données toxicologiques
 - d. Détermination des capacités analytiques des laboratoires
 - e. Évaluation de la disponibilité des aliments, basée sur différentes limites ou seuils maximum de mycotoxines
 - f. Proposition de limites pour le contenu en mycotoxines
2. Établissement d'un programme de monitoring des mycotoxines
 - a. Définition d'un plan et des méthodes d'échantillonnage
 - b. Définition des méthodes d'analyses
 - c. Réalisation des analyses
 - d. Définition des usages permis des ingrédients contaminés à des niveaux supérieurs aux seuils établis
3. Contrôle de la production de grains sains par l'application des bonnes pratiques de culture
4. Contrôle de la fabrication d'aliments sains par l'application des bonnes pratiques manufacturières et le contrôle de qualité
5. Décontamination ou mitigation des problèmes par différents traitements ou produits ajoutés

- a. Évaluation des produits
 - b. Définition des usages permis
6. Éducation des producteurs et des intervenants

Bien que l'imposition de limites réglementaires soit nécessaire pour les aliments qui sont destinés à la consommation humaine, en ce qui concerne l'alimentation des animaux, il serait plus simple de parler de seuils ou de niveaux de contamination, plutôt que de limites légales. Néanmoins, l'approche proposée par Lopez-Garcia et ses collaborateurs (1999) pourrait servir de base pour situer les actions proposées dans le plan d'actions, en lien avec la production d'aliments sains pour les porcs et pour les humains qui consomment leurs produits.

Mycotoxines et efficacité des additifs alimentaires

Dans le cadre du présent projet, nous avons convenu de nous pencher sur la question des stratégies qui sont disponibles pour contrer les effets des mycotoxines sur la santé des porcs et plus spécifiquement sur les additifs alimentaires qui sont parfois incorporés aux aliments. Le but visé par notre travail n'est toutefois pas de faire une recommandation sur l'efficacité d'un produit particulier ou d'un autre car aucun d'eux n'est officiellement homologué pour contrer les effets des mycotoxines. Compte-tenu de ce fait, nous avons aussi mentionné l'importance de créer une liste de vérification (*check-list*) ou de cibler les bonnes questions à poser avant de faire le choix d'un additif alimentaire advenant le cas où un producteur prendrait la décision d'utiliser ce genre de produits.

Dans la littérature scientifique, plusieurs études ont porté sur l'utilisation possible des argiles minérales pour lier les mycotoxines et les absorber dans le tractus digestif avant que ces dernières ne traversent la barrière intestinale du porc et exercent leur toxicité. Il existe de nombreux produits qui semblent bien travailler contre les aflatoxines mais leur efficacité est plus ou moins démontrée dans le cas des autres mycotoxines qui nous affectent particulièrement au Québec. C'est le cas principalement de celles de la famille des trichothécènes (vomitoxine, T-2, HT-2, nivalénol, diacetoxyscirpenol (DAS)), de l'ochratoxine et de la zéaralénone (Devegowda et Murthy, 2005). La majorité de ces produits sont issus d'argiles (principalement des bentonites, zéolites ou aluminosilicates), de charbon (activé ou non) ou de terre diatomée. Certains de ces produits ont un niveau d'incorporation qui est souvent élevé et leur pouvoir adsorbant n'est pas toujours spécifique aux mycotoxines. Conséquemment, des nutriments comme les vitamines par exemple, peuvent être liés et rendus non disponibles à l'animal. L'arrivée sur le marché d'additifs à base de composantes de levures, d'extraits de fermentation microbiens ou de composés enzymatiques ouvre également une avenue prometteuse. Ces produits agiraient en modifiant la structure même des mycotoxines, ce qui en réduirait la toxicité. Des résultats d'essais prometteurs sont rapportés dans la littérature concernant l'efficacité de ces produits à atténuer les effets des mycotoxines telles que la zéaralénone, la vomitoxine, la toxine T-2, l'aflatoxine, l'ochratoxine et le DAS chez différentes espèces animales. Les mécanismes d'actions sont cependant encore mal connus et les résultats ne sont pas toujours positifs. En résumé, l'utilisation de ces additifs peut être bénéfique mais leur efficacité fait encore l'objet de nombreux débats (House, J., S.d.)

Nous avons répertorié les additifs disponibles sur le marché québécois pour lesquels nous avons pu obtenir des informations de la part des fournisseurs. Ils sont présentés au tableau 8 avec les dosages recommandés et les prix par kilogramme de produit.

Tableau 8. Principaux fournisseurs et produits utilisés au Québec¹

Fournisseur	Produits	Quantité recommandée ² Kg/tonne aliment complet (porcins)	\$/kg ²	Autres noms commerciaux (ailleurs qu'au Canada)
Alltech	Integral	1,0	8,00 \$	MTB100, Mycosorb
Biomim Canada	Biofix II	0,5 à 2,5	12,00 \$	
	Biofix Select	0,5 à 2,5	10,00 \$	
Distribution DCL	Carbovet	2,0 à 5,0	4,50 \$	Biocarbo
Distribution DCL	Flo-Aid	2,5 à 5,0	1,40 \$	
INVE Nutri-ad	Nutri AZ C Dry	0,5 à 1,0	4,95 \$	Toxy-Nil
JEFO	Prémélange M	2,5	1,37 \$	
Jupiter	AFX Plus	0,5 à 2,0	12,50 \$	
Kemin	TXN-86	1,0 à 6,0	5,20 \$	
Probiotech	Mycoad A-Z	0,5 à 1,0	8,00 \$	NovaSil, ToxFree

¹ Les auteurs et le CDPQ se dégagent de toute responsabilité liée à l'utilisation de l'information contenue dans ce tableau. À notre connaissance, aucun n'est commercialisé en tant qu'additif pouvant contrer les effets des mycotoxines chez les porcs.

² Les prix et les quantités recommandées nous ont été fournis par les fournisseurs de ces produits. Ils sont donnés à titre indicatif seulement (prix de détail suggérés au 30 juillet 2009).

Idéalement, un bon agent liant posséderait les caractéristiques suivantes (Devegowda et Murthy, 2005) :

- spectre d'adsorption pour un large éventail de mycotoxines
- faible taux d'inclusion dans l'aliment
- dispersion uniforme et rapide dans l'aliment lors du mélange
- stable durant l'entreposage
- résistant à la chaleur lors du cubage ou de l'extrusion
- aucune affinité d'adsorption pour les minéraux, vitamines ou autres nutriments essentiels à l'animal
- stable dans un bon éventail de pH
- biodégradable après excrétion
- sécuritaire pour les animaux et les humains
- palatable

À cela, un fournisseur suggère que pour être efficace, un agent liant devrait également posséder un pouvoir d'adsorption nette élevée (voir section sur les méthodes d'analyse *in vitro*) (Gauthier, R., JEFO, 2009, communication personnelle). Les experts en nutrition animale qui ont collaboré au présent projet sont d'avis que l'accès à des résultats d'essais *in vivo* (avec des animaux) réalisés dans notre contexte et avec des grains locaux contaminés de façon naturelle constitue un avantage pour aider à juger de l'efficacité d'un produit. Concrètement, la question du prix de revient de l'additif par tonne d'aliment complet doit aussi être évaluée. La connaissance des mycotoxines présentes dans l'aliment permettra de faire un meilleur choix sur le type de produit et sur la quantité à ajouter.

Lorsqu'on aborde la question des additifs alimentaires pour contrer les effets négatifs des mycotoxines, il faut d'abord être conscient qu'aucun d'entre eux n'est officiellement homologué pour un tel usage au Canada. D'ailleurs, tous les fournisseurs que nous avons contactés, sans exception, nous ont bien avisés de cet état de fait. La plupart de ces produits sont approuvés comme agents liants, agents d'écoulement ou produits de fermentation (*conséquemment, les auteurs et le CDPQ se dégagent de toute responsabilité liée à l'utilisation de l'information contenue dans ce rapport car à notre connaissance, aucun de ces produits n'est commercialisé en tant qu'additif pouvant contrer les effets des mycotoxines chez les porcs*). Malgré ce que nous venons de mentionner concernant les qualités que devraient posséder un bon additif liant, il reste difficile pour les conseillers d'élevage et pour les producteurs de s'y retrouver parmi les différents produits sur le marché et de comparer leur efficacité. Comme nous l'avons indiqué, certains producteurs et experts en alimentation utiliseraient néanmoins périodiquement ces additifs. L'alimentation représente une part importante des frais de production avec environ 53 % des coûts pour les entreprises de type naisseur-finisserie (Belleau, 2007). À partir des informations qui figurent au Tableau 8, nous avons calculé que le coût total d'incorporation aux dosages recommandés des additifs disponibles au Québec varie entre environ 2,50\$ et 9,00\$ la tonne d'aliment complet. Dans certaines situations où des contaminations plus sévères sont suspectées, l'ajout d'une plus grande quantité d'additif est nécessaire et les coûts vont alors jusqu'à 30\$ la tonne d'aliment complet. Si on pose l'hypothèse que lors des mauvaises années la moitié des aliments pour porcs pourraient contenir de ces additifs, ce sont entre 3,3 et 11,9 \$M qui seraient investis par les producteurs de porcs pour tenter de contrer les effets négatifs des mycotoxines, sans garantie d'un retour sur l'investissement (calcul fait à partir de données de consommation d'aliments et des inventaires de truies et des porcelets et porcs produits du Québec; voir tableau 9).

Tableau 9. Montants représentés pour l'ajout d'un additif dans les moulées des truies, porcelets et porcs d'engraissement produits au Québec

	Truies en inventaire	Porcelets produits	Porcs produits
Nombre d'animaux ¹	355 691	8 223 743 ³	7 847 096
Kg moulée consommés/animal/an ²	1 166	31,3	250,9
Kg total consommés/an	414 735 700 (414 735 tonnes)	257 403 156 (257 403 tonnes)	1 968 836 385 (1 968 836 tonnes)
Montant pour l'ajout d'un additif à 2,50\$/tonne \$/an	1 036 837	643 507	4 922 090
Montant pour l'ajout d'un additif à 9\$/tonne \$/an	3 732 615	2 316 627	17 719 524
Montant total \$/an	Entre 6,6 \$M et 23,8 \$M selon le prix de l'additif pour tous les aliments		

¹ Source provenant des résultats de la Financière Agricole du Québec, mis à jour le 14 avril 2009

² Men\$uel Porc, édition du 6 juillet 2009

³ Le nombre de porcelets est estimé en appliquant un taux de mortalité de 4,58%² en engraissement

À cause des montants en jeu et de l'influence des mycotoxines sur la santé et les performances des porcs, il nous apparaît donc important d'encourager le développement de méthodes standardisées pour évaluer efficacement l'efficacité des additifs alimentaires proposés. Étant donné que les mycotoxines ne pourront jamais être éliminées complètement, il est également impératif de continuer à développer de nouveaux additifs ou encore de nouveaux procédés de décontamination.

Nous avons donc effectué une revue de littérature afin de voir quelles procédures sont proposées pour vérifier l'efficacité de ces produits. Les fournisseurs ont été contactés et ils nous ont fourni des informations très pertinentes sur les méthodes utilisées. Une réunion du comité d'experts (alimentation animale et vétérinaire) a été organisée pour discuter des méthodes proposées dans la littérature et de ce qui pourrait être mis en place au Québec. Des recommandations sont issues de cet exercice et sont présentées dans le texte ci-après. Nous souhaitons que cette section du rapport puisse servir de base à l'élaboration des travaux futurs sur l'évaluation de l'efficacité des additifs alimentaires.

Dans la littérature et selon les informations recueillies auprès des fournisseurs, il existe principalement deux grands types d'analyses qui sont effectuées pour vérifier l'efficacité des additifs alimentaires : l'essai *in vitro* (en laboratoire) et l'essai *in vivo* (avec des animaux).

Évaluation *in vitro* des additifs alimentaires

L'essai *in vitro* se déroule exclusivement en laboratoire et nécessite des équipements appropriés. L'additif, ou agent liant, et la mycotoxine sont mis en contact dans des conditions qui simulent celles qu'on retrouve dans le tractus gastro-intestinal de l'animal. La température, le pH, la durée d'incubation, etc. sont tous des éléments qui sont pris en considération. Ce type d'essai est en général peu coûteux par rapport à un essai *in vivo*.

Quoiqu'il prédise difficilement ou inadéquatement les effets chez les animaux (pas nécessairement corrélé), l'essai *in vitro* est un outil qui semble utile pour tester le potentiel des additifs qui adsorbent les mycotoxines. Ce type d'essai est utile pour identifier les conditions ou les mécanismes favorables à la séquestration de la mycotoxine par l'additif. Cependant, même s'il est efficace pour démontrer le potentiel d'un produit, l'essai *in vitro* semble peu efficace pour faire des comparaisons entre agents liants et donne peu d'informations sur comment le produit peut être utilisé en pratique. D'après Diaz et Smith (2007), lorsque les résultats ne sont pas concluants *in vitro*, il y a peu de chance qu'ils le soient lors d'essais *in vivo*. Cependant, cet énoncé ne fait pas l'unanimité.

Des différences existent dans la littérature quant aux méthodes *in vitro* proposées et quant aux conditions employées. Les différences sont attribuables, entre autre, aux caractéristiques et aux modes d'action qui diffèrent entre les divers produits disponibles sur le marché. Quoiqu'il en soit, il est proposé de tester les additifs par différentes méthodes *in vitro* avant de faire un choix et de les évaluer chez les animaux par la suite.

La méthode *in vitro* la plus simple et la plus utilisée est la suivante : il s'agit de mesurer le pourcentage d'adsorption d'une mycotoxine purifiée dans un milieu aqueux. Une quantité connue de mycotoxine réagit avec une quantité connue d'un additif (agent liant) dans une solution aqueuse. La différence, entre la quantité de mycotoxines restante dans le liquide après séparation et celle liée à l'additif, détermine la quantité adsorbée. Cette méthode serait employée par divers fournisseurs pour vérifier l'efficacité de plusieurs produits disponibles sur le marché qui ont la propriété d'adsorber les mycotoxines (aluminosilicates, charbon, parois cellulaires de levures, etc.). Les produits dont l'action est de désactiver les mycotoxines par une biotransformation à partir d'enzymes nécessiteraient une autre méthode *in vitro* (modèle intestinal porcine).

Certains proposent d'ajouter à la première étape du test d'adsorption une autre phase qui consiste à mesurer la force de liaison du complexe mycotoxine : additif liant. Après avoir déterminé dans un premier temps la quantité de mycotoxine séquestrée il s'agit d'évaluer, en deuxième lieu, la séparation avec l'agent liant en l'exposant à un autre solvant (quantité relarguée). L'adsorption nette, qui est obtenue par la différence entre la quantité de mycotoxine adsorbée et relarguée, serait un résultat plus représentatif de ce qui se passe dans le tractus gastro-intestinal des porcs.

En termes d'efficacité, une capacité d'adsorption d'au moins 80% *in vitro* est recherchée pour l'aflatoxine (Gauthier, R., 2009, communication personnelle). Le résultat d'adsorption est toutefois moindre dans le cas des mycotoxines de la famille des trichotécènes (~ 40-50%). En effet, les mycotoxines de cette famille sont connues pour être plus difficilement adsorbables.

Il n'est pas adéquat de simplement rapporter le pourcentage d'adsorption d'un agent liant vis-à-vis une mycotoxine donnée. Il faut connaître également les conditions dans lesquelles les essais ont été réalisés, les concentrations de mycotoxine et d'additif employées de même que la méthode de détection utilisée (Taylor, 1999).

Dans le cadre du présent projet nous avons obtenu une description plus technique des essais par adsorption et adsorption nette proposées. Ces méthodes sont présentées en détail à l'annexe 5.

Pour tenir compte de la complexité des conditions qui prévalent dans le tractus digestif des porcs, d'autres méthodes *in vitro* peuvent être employées. Ces méthodes visent principalement à « mimer » les mécanismes et conditions réelles dans lesquelles les additifs et les mycotoxines se retrouvent une fois ingérés par l'animal.

Nous avons une connaissance limitée des mécanismes d'adsorption et des interactions des mycotoxines et des additifs avec le système digestif des porcs. Il est cependant connu que les mycotoxines altèrent la barrière intestinale (Bouhet et Oswald, 2005). L'utilisation de cellules épithéliales de l'intestin en laboratoire peut être utilisée pour des essais *in vitro* pour l'évaluation d'agent séquestrant (mesure de la perméabilité intestinale). À cause de leur emplacement, les cellules épithéliales de l'intestin ont développé une variété de mécanismes. Elles maintiennent la barrière intestinale fonctionnelle, laquelle permet de prévenir le risque d'infection par des agents pathogènes. Le développement d'un modèle pour évaluer l'efficacité des produits disponibles sur le marché vis-à-vis les mycotoxines les plus à risque de causer des problèmes est une avenue intéressante. Toutefois, ce concept est en voie de développement. Au Québec, Dr Martin Lessard, chercheur à la station de recherche d'AAC de Lennoxville, s'intéresse principalement à la physiologie du système digestif des porcs et à l'impact des aliments sur la santé digestive et le système immunitaire des animaux. Selon lui, beaucoup de travaux sont encore nécessaires avant de bien cerner les interactions entre les mycotoxines, les additifs alimentaires et la barrière intestinale des porcs (Lessard, M., AAC Lennoxville, 2009, communication personnelle).

Toujours dans le but de vérifier la capacité des additifs alimentaires à séquestrer les mycotoxines, un modèle de laboratoire porcin (TIM) a été développé (Avantaggiato *et al.*, 2007). Ce modèle, contrôlé par ordinateur, simule les conditions du tractus gastro-intestinal porcin. Dans une première étape, les chercheurs font des tests d'adsorption *in vitro* (tel que décrit plus haut) afin de faire un premier «screening» des produits. Dans l'essai *in vitro*, ils testent également l'efficacité d'un additif en employant diverses concentrations de mycotoxines avec une quantité fixe du liant. De cette manière, ils produisent un graphique du niveau d'adsorption en fonction de la concentration de mycotoxines et déterminent ainsi la capacité maximale de liaison de l'additif (B_{max} /gramme d'agent liant). Après avoir effectué une première sélection des produits avec le test *in vitro*, ils mesurent à l'aide du système TIM la capacité des produits à réduire la disponibilité des mycotoxines dans le petit intestin. Ce système permet de simuler la température dans le tractus gastro-intestinal, les sécrétions, le niveau de pH, le péristaltisme et le transit du contenu intestinal. Les produits de digestion et l'eau absorbée dans les compartiments du système, qui représentent l'iléon et le jéjunum, sont alors pompés au travers des membranes filtrantes. Par exemple, un échantillon d'aliments qui contient des mycotoxines peut être absorbé via la membrane du TIM ou passer à travers tout le tractus parce que la mycotoxine est liée à l'additif liant. Le liquide qui passe au travers des membranes des deux compartiments (recueilli dans le compartiment jéjunum et celui qui représente l'iléon) est analysé pour son contenu en mycotoxines (HPLC ou fluorométrie) et comparé à un liquide témoin provenant de la digestion par le TIM du même aliment sans mycotoxine. Ce modèle est complexe mais présente tout de même un potentiel pour permettre aux chercheurs de mieux comprendre et de participer au développement d'additifs plus performants. Malgré sa complexité, il conserve l'avantage de ne pas nécessiter l'utilisation d'un grand nombre d'animaux comme pour les tests *in vivo*, ce qui limite les coûts et permet d'effectuer un plus grand nombre d'essais dans un laps de temps plus court qu'avec les expérimentations classiques en ferme.

Évaluation *in vivo* des additifs alimentaires

L'essai *in vivo* consiste à mesurer, chez les animaux vivants, les effets d'un additif incorporé à un aliment contaminé par une concentration élevée de mycotoxines. Les performances zootechniques doivent être évaluées (GMQ, C.A., IMQ, taux de saillie, etc.) mais parallèlement, la mesure de certains paramètres dans le sang, les fluides (urine, fèces) ou les tissus apporte plus de précision quant à la réponse (Chorfi, Y., FMV Montréal, 2009, communication personnelle). De nouvelles méthodes d'analyses à partir d'échantillons sanguins ou de fluides corporels sont en développement afin de permettre le diagnostic des mycotoxicoses chez l'animal vivant. Au Québec, ces travaux sont effectués dans le laboratoire du Dr Chorfi (laboratoire vétérinaire en agroenvironnement de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal). Ce laboratoire fait partie intégrante de la nouvelle plateforme de recherche en environnement et production animale - REPA). Ces travaux pourront éventuellement conduire à mieux évaluer l'efficacité des additifs alimentaires.

Pour les essais *in vivo*, un protocole expérimental bien établi est nécessaire. En général, les protocoles proposent quatre traitements dans un arrangement factoriel 2 X 2:

- 1) aliment témoin (non contaminé)
- 2) aliment témoin + additif à la dose recommandée
- 3) aliment contaminé par une ou des mycotoxines
- 4) aliment contaminé par une ou des mycotoxines + additif à la dose recommandée

En plus d'évaluer l'efficacité de l'additif à la dose recommandée certains suggèrent de le faire également à un taux d'inclusion élevé (Ledoux, 2007).

Lorsqu'il est nécessaire de comparer plusieurs produits *in vivo*, il est préférable statistiquement de le faire au même moment et dans les mêmes conditions. Dans ce cas (exemple de 3 produits à tester), les traitements pourraient être les suivants :

- 1) aliment témoin (non contaminé)
- 2) aliment contaminé par une ou des mycotoxines
- 3) aliment contaminé par une ou des mycotoxines + l'additif #1 à la dose recommandée
- 4) aliment contaminé par une ou des mycotoxines + l'additif #2 à la dose recommandée
- 5) aliment contaminé par une ou des mycotoxines + l'additif #3 à la dose recommandée

La durée de l'essai peut être variable selon l'âge des animaux et le degré de contamination de la céréale. Pour un grain fortement contaminé, la réponse chez l'animal peut être rapide. Un minimum de 10 jours (temps d'apparition dans le sérum et l'urine) est considérée comme suffisant pour observer des effets chez les animaux peu importe la mycotoxine en cause (Chorfi, Y., FMV Montréal, 2009, communication personnelle).

Les experts du comité de réalisation du projet ont également proposé d'évaluer les additifs lorsque l'aliment contaminé contient de fortes concentrations de mycotoxines, reconnues comme pouvant engendrer des symptômes chez les animaux. Bien que ce ne soit pas toujours le cas dans les études qui sont publiées, ils ont également suggéré d'utiliser un grain contaminé naturellement plutôt qu'une céréale contaminée à partir de mycotoxines synthétiques car les résultats seront plus représentatifs de ce qui se passe réellement sur le terrain lors de l'utilisation d'un grain cultivé localement. La concentration de mycotoxines dans l'aliment devrait toujours au préalable être confirmée par des analyses de laboratoire, de même que le dosage de toutes les mycotoxines usuelles.

Afin de s'assurer d'avoir le même niveau de contamination dans tous les traitements, les experts proposent d'utiliser un lot de grain fortement contaminé et d'effectuer une fabrication maîtresse (*master batch*) qui sera subdivisée, selon le nombre de traitements, pour fabriquer les aliments contaminés par des mycotoxines (comité d'experts en nutrition du projet). Des grains sains seront toutefois utilisés pour la fabrication de l'aliment témoin. Tous les régimes offerts devront aussi contenir des teneurs similaires en nutriments (protéine brute, énergie brute, matière grasse, calcium, phosphore, etc.).

Peu importe l'âge de l'animal, les performances zootechniques ayant des conséquences économiques doivent être évaluées (GMQ, C.A., consommation, taux de mortalité, taux de mise bas, ISSF, taux de conception, IMB, nombre de porcelets par portée, nombre de sevré par portée, viabilité des porcelets, etc.). Il est suggéré d'évaluer également des paramètres dans le sang, les fluides ou les tissus afin d'aller plus loin dans la compréhension des effets des mycotoxines et de vérifier également les fonctions immunitaires des animaux. Les paramètres à analyser dépendent de la mycotoxine présente et du stade de production de l'animal. Le tableau suivant (Tableau 10) présente les différentes variables rapportées dans les études que nous avons consultées.

Tableau 10. Paramètres sanguins et autres éléments mesurés pour vérifier les effets des mycotoxines

Mycotoxines	Porcelets	Porcs en engraissement	Cochettes et reproducteurs
Vomitoxine (DON)	Dans le sérum : LDH, CK, albumine, protéine totale, sodium, potassium, chlore, créatinine, urée, glucose, GGT, GOT, GPT, érythrocytes, leucocytes, hémoglobine, hématocrite, MCV, MCH, MCHC, plaquettes, cortisol, T3, T4, globuline alpha, bêta et gamma et l'activité enzymatique ALT et AST qui sont des indicateurs des dommages causés aux organes. Température de la peau, dommage stomacal (couleur, épaisseur, inflammation, de la muqueuse. Lésions histopathologiques	Poids des organes : estomac, foie, rein, rate, vessie. Morphologie muqueuse stomacale (couleur, épaisseur, inflammation, ulcération)	NH ₃ sérique, protéine, urée, biopsie des muscles pour doser concentration ADN, ARN, protéines

	du foie et d'autres organes		
Zéaralénone	Œdème de la vulve, prolapse rectal, augmentation de la taille des organes reproducteurs. Histopathologie du foie, rate lymphé et utérus.		Poids du système reproducteur, utérus, cervix, ovaire. Composition du lait,
T-2	Ulcères dans la gueule et l'œsophage		
Fumonisines		Poids du foie, cœur, poumons, aspect des poumons et des organes reproducteurs	
Ochratoxine	Toxine dans le plasma, rein, foie, cœur et muscle	Urée sérique, protéine, albumine, bilirubine, créatine, activité enzymatique ALP, GGT, GOT, GPT. Lésions histopathologiques du rein et du foie	reins, foie, histopathologie

Protocole à développer au Québec

Beaucoup de méthodes sont proposées dans la littérature mais il ne semble pas y avoir de consensus sur une méthode uniforme et standardisée. Les experts qui participent à la réalisation de ce projet s'entendent pour dire que la méthode *in vitro* semble intéressante puisqu'elle est plus reproductible que la méthode *in vivo*. Toutefois, puisque les produits sur le marché sont différents quant à leurs caractéristiques et leurs modes d'action, ceci fait en sorte qu'il est difficile d'effectuer des comparatifs entre les produits avec une méthode *in vitro* commune; une comparaison dans ces conditions ne serait pas précise puisque les modes d'actions des produits ne sont pas les mêmes. Le développement d'un modèle estimant la perméabilité intestinale lorsqu'une mycotoxine et un additif sont présents est une avenue intéressante mais non envisageable pour l'instant car les recherches ne sont pas suffisamment avancées. Quoiqu'il en soit, il serait primordial d'effectuer un essai *in vivo* pour effectuer un comparatif entre les différents produits sur le marché qui lient ou désactivent les mycotoxines. Tous s'entendent sur le fait de proposer une méthodologie pour vérifier l'efficacité des produits liants disponibles sur le marché par des essais *in vivo* seulement, compte tenu que les utilisateurs préfèrent avoir ces données avant de vérifier l'efficacité réelle des produits proposés par les fournisseurs. Les experts en nutrition ont aussi demandé que l'évaluation soit faite dans le contexte du Québec et avec les mycotoxines susceptibles d'être présentes de façon naturelle dans nos aliments.

L'issue de tout ce travail devrait permettre de mieux comprendre l'interaction entre les mycotoxines, les additifs et la barrière intestinale des porcs et de développer les indicateurs d'efficacité sur l'animal ainsi qu'une procédure standard techniquement et économiquement appropriée pour la mesure de l'efficacité de ces produits à mitiger les effets négatifs des mycotoxines rencontrées au Québec chez les porcs. Cela pourrait donc faciliter éventuellement l'homologation de ces produits et guider les décisions de les utiliser ou non pour améliorer la rentabilité des élevages les années où le risque de présence de mycotoxines dans les aliments des porcs est plus important.

Réseau d'évaluation de la qualité des récoltes du Québec

La gestion des risques passe inévitablement par la connaissance des dangers, c'est pourquoi il est préférable de connaître à l'avance la qualité des grains afin de mettre en place des stratégies et de diminuer les pertes. Les pertes liées aux mycotoxines touchent directement les éleveurs de porcs mais aussi les producteurs céréaliers qui mettent en marché les lots de grains. Les acheteurs de grains et les fabricants d'aliments assument aussi leur part des coûts (échantillonnage, prix grains à la baisse, coûts opérationnels des traitements, silos supplémentaires, retour de marchandise...). En 2006 par exemple, la récolte de maïs-grain en Ontario avait été lourdement contaminée par la vomitoxine. Sur plus de 2000 échantillons de maïs analysés, 83% contenaient des niveaux de vomitoxine entre 0,5 et 54 ppm, avec une moyenne de 4,8 ppm, représentant un manque à gagner pour les producteurs de maïs de cette province évalué à 60\$ millions (Schaafsma, 2009).

Parmi tous les ingrédients cultivés au Québec, le maïs est probablement celui utilisé en plus grande quantité dans les aliments pour les porcs (Hayard *et al.*, 2006). L'orge et le blé sont également employés. Chez les monogastriques en général, son utilisation dépasse probablement celle des autres céréales comme le blé, l'orge ou l'avoine. À cause des problèmes qui peuvent être causés par les mycotoxines dans les élevages, plusieurs fabricants d'aliments ont mis sur pied un programme de contrôle de la qualité pour les ingrédients qui entrent dans la fabrication des moulées. Plusieurs meuneries échantillonnent systématiquement les ingrédients avant le déchargement. Des analyses de mycotoxines sont effectuées périodiquement tout au long de l'année mais plus intensivement après la nouvelle récolte. Comme les conditions climatiques varient d'année en année et d'une région agricole à l'autre, les utilisateurs doivent mettre en place un programme qui mesure en continu les niveaux de mycotoxines. Certains ont des critères de qualité (seuils ou limites d'acceptabilité) et peuvent refuser des lots de grains ou en négocier le prix à la baisse, selon le cas. Néanmoins, ceux qui acceptent des lots contaminés doivent mettre en place des mesures pour gérer ces lots afin de minimiser les impacts négatifs sur les animaux (tamisage, ségrégation, utilisation dans une espèce animale moins sensible, dilution, ajouts d'additifs, etc...). Tout cela engendre des frais supplémentaires, d'où l'intérêt de diminuer la pression de contamination à la source, avant la livraison du grain et son utilisation.

Au Québec, selon un rapport de la FPCCQ (2009), l'industrie de l'alimentation animale utilisera 3 150 000 tonnes de maïs québécois pour l'année 2008-2009. Selon Doyon (2008) en 2004, 50 % de ce volume aurait été acquis par sept gros acheteurs, 25 % par dix meuneries importantes et cent petits négociants. À eux seuls, ces 117 acheteurs utiliseraient 75 % de la récolte de maïs et au total, un peu plus de 400 acheteurs s'approvisionnent chez les producteurs de maïs québécois (selon les données de 2004 utilisées dans le rapport de Doyon 2008). La plupart des gros acheteurs ont investi dans un programme d'échantillonnage pour déterminer les niveaux de mycotoxines dans les ingrédients qu'ils achètent et caractériser les récoltes à chaque année. À l'heure actuelle, chacune de ces organisations investi un montant important mais les résultats ne sont pas forcément partagés ni rendus publics. Nous croyons également que bon nombre d'utilisateurs n'ont pas mis en place de tels programmes et ne connaissent donc pas le niveau de contamination des grains utilisés. Les années où les conditions climatiques sont favorables au développement des mycotoxines, ces entreprises courent un grand risque de vivre des pertes importantes de performance et des problèmes de santé dans leurs élevages. En plus de ces statistiques intéressantes sur les acheteurs de maïs québécois, le rapport de Doyon (2008) traite principalement de l'intérêt de mettre un système de recueil et de diffusion de l'information (SRDI) afin d'améliorer l'efficacité économique de la mise en marché des grains au Québec. Outre le fait que l'information sur les prix de vente des grains transigés soit le cœur d'un tel système, M. Doyon souligne que de façon générale, « plusieurs types d'information sont nécessaires au bon fonctionnement d'un marché. Pensons par exemple, sans être exhaustif, à l'information concernant les caractéristiques d'un bien tels la qualité, le format et les modalités de livraisons; pensons également au prix et aux modalités de paiement ». Pour un producteur de porc, la qualité sanitaire d'un lot de grain est un attribut important de sa qualité, tout comme le classement du grain l'est pour le producteur de céréales.

Depuis quelques années, l'Ontario a mis sur pied un réseau qui vise à dépister, juste avant la récolte, les problèmes de fusariose au champ et la présence de vomitoxine, une mycotoxine importante. En effet, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (OMAFRA) et l'Université de Guelph ont débuté en 2006 une campagne d'échantillonnage pour détecter les niveaux de vomitoxine des champs de maïs dans les différents comtés de la province et de faire le lien avec l'observation visuelle des épis affectés par les moisissures dans les champs. La province a été divisée en six zones (18 comtés) et 94 champs ont été échantillonnés. Les résultats ont permis de savoir que 17 % des champs ont conduit à des niveaux de mycotoxines de plus de 6 ppm (OMAFRA, 2006). Ces champs étaient situés exclusivement dans les régions du sud-ouest de la province. Une grande partie de la récolte des autres régions était de très bonne qualité.

Compte tenu du grand intérêt démontré par les producteurs de maïs et les utilisateurs de grain, OMAFRA et l'Association des producteurs de maïs de l'Ontario (Ontario Corn Producers Association) ont repris l'exercice en 2008. Pour la récolte de 2008, la concentration moyenne en vomitoxine était de 1,1 ppm avec 84 % des champs avec moins de 2 ppm. Seulement 1 % des champs échantillonnés démontraient une concentration de plus de 6 ppm de vomitoxine (OMAFRA, 2008).

Bien que cette information ne remplace pas un programme de contrôle de qualité et d'échantillonnage pour les utilisateurs de grains, il en résulte une meilleure connaissance de la situation dans les différentes régions productrices de grains. Greg Stewart (spécialiste en maïs pour OMAFRA) mentionne que les résultats de cette enquête annuelle permettent aux producteurs de maïs d'être au courant à l'avance des difficultés potentielles d'écoulement de la récolte (d'autant plus qu'il semblerait qu'il y ait une tendance chez les gros acheteurs à n'acheter que les lots de maïs contenant 1 ppm de vomitoxine ou moins). Les résultats servent aussi aux producteurs de maïs qui sont eux-mêmes impliqués dans l'élevage, car ils peuvent alors prendre une décision éclairée plus rapidement au début des récoltes et décider de conserver des volumes restants d'anciennes récoltes pour alimenter les animaux ou de remplacer par de nouveaux grains. *“The corn producers support the survey because they want to be aware in advance if possible of marketing challenges that they may be facing with the crop. Now that there is a movement underway for major corn users to accept corn only at 1 ppm DON or below these concerns are heightened. In some cases the corn producers are also swine producers and they need to make decisions about feed supply as early in the harvest as possible (i.e. keep last years remaining corn or replace with new crop”* (Stewart, G. OMAFRA Ontario, 2009, communication personnelle).

Une telle démarche pourrait-elle être appliquée au Québec? C'est un peu dans cette optique que nous nous sommes questionnés sur la pertinence de mettre en place un réseau de diagnostic, ou plutôt un portrait annuel, de la qualité des récoltes au Québec. La qualité de tous les ingrédients et de tous les grains est importante et compte-tenu de la grande part du maïs-grain dans l'alimentation des porcs (et des monogastriques en général), nous croyons qu'il serait opportun de débiter avec cette culture. La possibilité d'étendre le portrait aux autres grains et sous-produits locaux, ainsi qu'aux grains importés devrait être considérée pour avoir une idée plus juste de la qualité sanitaires des ingrédients (plusieurs de ces produits se retrouvent couramment dans les aliments des porcs fabriqués au Québec). Pendant plusieurs années, les filières « grains » et « productions animales » se sont entendues sur le besoin de réagir très tôt à la présence possible des mycotoxines dans les lots de maïs-grain afin de prédire et réduire les impacts possibles sur les animaux et de trouver les moyens de mieux les utiliser. Pour sa part et il y a plusieurs mois, la table filière sur les grains avait déjà préconisé de créer un système d'information sur la qualité des grains. Il devait s'y greffer une forme de partage d'information (*clearing floor*) où les producteurs de grains auraient eu une meilleure idée des contraintes de gestion liées à la qualité par les utilisateurs afin d'établir en bout de ligne une valeur plus juste. Le projet n'a pas eu de suite. Cependant, tous s'entendent qu'une meilleure coordination est nécessaire et qu'il faut mettre en place une stratégie concertée et la plus complète possible. La pertinence d'obtenir l'information et de la partager semble établie, mais la forme et le financement d'une telle initiative restent à préciser. Nous croyons important de pousser plus loin la démarche.

Un portrait annuel de la qualité sanitaire du maïs et des autres grains viendrait compléter les initiatives déjà en place avec le RAP- Réseau d'avertissements phytosanitaires du MAPAQ. Le RAP, produit des avertissements phytosanitaires pour les céréales à paille afin de permettre aux producteurs d'appliquer les traitements fongiques pour prévenir les dommages causés par la fusariose. Ce genre d'avis (qui ne comporte pas d'analyse de mycotoxines) n'est pas basé sur un diagnostic d'observation de la présence de la maladie dans les champs mais plutôt sur la présence d'une combinaison de conditions climatiques et de stade de croissance qui fait que la culture est à un moment « sensible » pour l'infection. Ces avis sont d'une aide précieuse pour le suivi agronomique et l'adoption de mesures préventives. Au Canada, le ministère de l'Agriculture du Manitoba produit également ce genre d'information pour les producteurs céréaliers. En Ontario, une compagnie privée, Weather Innovations, commercialise un modèle de ce genre, destiné aux producteurs de blé. Ce modèle, le DONcast, donne les renseignements relatifs à l'évolution du risque de fusariose mais prédit également le niveau de contamination par la vomitoxine de la récolte.

Plusieurs organisations américaines ont également mis en place des modèles prévisionnels du risque d'infection des cultures à la fusariose en fonction des conditions météorologiques (Université du Dakota du Nord, Université de l'Ohio, Université de la Pennsylvanie – Voir les tableaux 2 et 4). Comme pour le RAP au Québec, ces initiatives visent à appuyer les recommandations des phytopathologistes pour prévenir les dommages aux récoltes causés par la fusariose de l'épi par une meilleure planification des interventions sanitaires. Ces réseaux d'information sont donc utiles pour les experts des cultures et les producteurs céréaliers et contribuent assurément à diminuer le problème des mycotoxines à la source. Si on se place du point de vue de l'utilisateur de grain ou du fabricant d'aliments pour animaux, ces modèles prévisionnels n'apportent pas l'information concrète dont ils ont besoin. En effet, pour ces organisations, il est de première importance de savoir si les récoltes sont effectivement ou non contaminées par les mycotoxines et dans quelle mesure. Au Québec, la vomitoxine est importante mais d'autres toxines sont également susceptibles de contaminer les ingrédients utilisés pour fabriquer les aliments. Il est donc important pour ces utilisateurs d'avoir un portrait juste de la qualité des récoltes. Malheureusement, les informations produites par les modèles prévisionnels présentés ci-dessus ne fournissent pas d'indication quant à la teneur en mycotoxines. Elles sont donc peu utiles pour les utilisateurs tant que le risque de fusariose n'est pas relié à la présence de vomitoxine ou d'autres mycotoxines. Le DONcast ontarien est cependant un exemple de modèle qui pourrait devenir très pertinent, à la fois pour les producteurs céréaliers et les utilisateurs. Actuellement, le modèle fonctionne pour le blé, mais il serait intéressant qu'un outil semblable puisse être proposé pour les autres céréales et le maïs.

D'ici à ce que de tels modèles soient développés, le réseau de diagnostic de la qualité des céréales pourrait être un outil utile pour l'ensemble de la filière maïs-grain.

Sensibilité à la fusariose des hybrides de maïs recommandés au Québec

Il existe une différence entre les cultivars et les hybrides quant à leur résistance à certaines maladies fongiques comme la fusariose de l'épi. En ce qui concerne les céréales à paille comme le blé et l'orge, les évaluations annuelles des cultivars, menées par le CEROM dans le cadre du Réseau des Grandes Cultures du Québec comportent une appréciation de la résistance à la fusariose. Les résultats des essais et les recommandations du CEROM sont publiés à chaque année dans un dépliant distribué aux producteurs. Le choix d'un cultivar résistant à la fusariose fait donc partie des bonnes pratiques à adopter.

L'évaluation de la sensibilité à la fusariose n'est actuellement pas effectuée pour les hybrides de maïs qui sont évalués par le CEROM dans le cadre du Réseau des Grandes Cultures du Québec et conséquemment, il ne peut y avoir de recommandations émises sur les hybrides à privilégier lors du choix des semences. La raison la plus probable, selon Gilles Tremblay, chercheur au CÉROM (2009, communication personnelle), serait reliée au coût de l'évaluation. Il faudrait qu'une organisation ou des organisations soient prêtes à défrayer les frais pour l'ensemble des travaux. Depuis 1986, Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) mène au CECRO à Ottawa un programme de sélection du maïs qui vise à obtenir des lignées résistantes à la fusariose. Jusqu'à présent, ces travaux ont produit huit lignées pures dotées d'une résistance accrue à cette maladie (Reid, 2003). Une neuvième lignée devrait s'ajouter en 2010 (Redi, L. AAC. 2009, communication personnelle).

Les améliorations ont donc en mains du matériel génétique qui pourrait les aider à mettre en marché des hybrides résistants à la fusariose. Il est cependant difficile d'incorporer cette résistance aux hybrides produits sans affecter d'autres critères importants comme le rendement en grains (Reid, 2003). La recherche et la mise au point de nouvelles lignées est donc essentielle. Certaines compagnies semencières font déjà des évaluations des comportements de leur hybride face à certaines maladies et diffusent généralement l'information sur le Web mais dans le cas des organisations publiques, aucune n'effectue ce genre de test présentement au Québec. Savoir s'il serait intéressant de le faire? Probablement, mais le principal problème réside dans le financement de ces essais. La première chose à faire serait de démontrer que le maïs produit au Québec est affecté significativement par la fusariose comme pour le blé et l'orge qui le sont.

Le niveau de la maturité physiologique du grain atteint à la fin de la saison de croissance aurait une influence importante sur le risque d'apparition des mycotoxines. Cette piste est intéressante mais rien n'a encore vraiment été démontré présentement avec les conditions au Québec. Une étude a été entreprise mais aucun résultat n'est publié pour le moment. À moins d'obtenir les recommandations directement du fournisseur de semences, il n'est pas possible pour un producteur céréalier de choisir un hybride résistant; les informations disponibles actuellement sur les hybrides sont celles diffusées par les compagnies semencières. Par contre, certaines observations ont été faites et il semblerait qu'une certaine résistance soit remarquée chez les hybrides dont les soies du bout de l'épi sont plus recouvertes par l'enveloppe.

Bonnes pratiques pour la réduction des problèmes liés aux mycotoxines

Diffusion des bonnes pratiques

On peut dresser un portrait global de tous les facteurs de risques et de toutes les interventions qui peuvent être entreprises pour diminuer les impacts négatifs des mycotoxines dans les aliments pour les porcs. Ces mêmes principes s'appliqueront évidemment aux autres espèces animales. Un des objectifs de notre projet était de mettre en place des mesures pour faire connaître les bonnes pratiques relatives à la récolte et à la conservation (entreposage) des grains et aliments afin de minimiser les risques liés à la présence des mycotoxines. Dans le présent rapport, en consultant divers documents déjà publiés sur le sujet, nous avons rassemblé les facteurs de risque et les bonnes pratiques qui s'y rapportent. Nous croyons qu'il serait important d'accentuer la sensibilisation des producteurs de céréales, des fabricants d'aliments, des personnes impliquées dans le commerce et dans l'entreposage des grains et aliments, des personnes impliquées dans la transformation des grains en sous-produits et des producteurs de porcs, en adoptant une approche de partage des responsabilités. En effet, les quelques publications qui visent à démontrer les bonnes pratiques s'adressent particulièrement aux producteurs céréaliers et, dans une moindre mesure, aux fabricants d'aliments ou autres personnes impliquées dans la grande chaîne de production. Pour ce qui est des producteurs de porcs, les initiatives mises de l'avant prennent la forme souvent la forme d'articles ou de conférences préparées par les fournisseurs d'aliments ou d'agents liants. Le monde « végétal » est souvent gardé distinct du monde « animal », les fabricants d'aliments se retrouvant entre les deux. Dans les mesures que nous souhaitons mettre en place, nous croyons primordial d'intégrer toute la chaîne. Pour ce faire, nous avons choisis les deux véhicules suivants :

- une page Web a été conçue sur le site du CDPQ. Elle présente l'information sur les facteurs qui peuvent influencer l'apparition des mycotoxines ou leurs impacts sur les porcs. Des documents techniques provenant de différents partenaires y sont également déposés. Nous avons conçu cet outil de diffusion de façon à apporter un complément plus technique au présent rapport tout en permettant de rassembler des documents sur un même site, avec l'accord des différents auteurs qui les ont rédigés. La page web évoluera au fil du temps et de nouveaux documents y seront ajoutés. Nous vous invitons à visiter cette page à l'adresse suivante :
 - http://www.nav.cdpq.asp?page=champs_dactivite/05Technique_delevage/Mycotoxines
- une journée d'information, organisée par l'AQINAC en collaboration avec le CDPQ aura lieu le 1 décembre 2009, à Drummondville

Facteurs de risque et bonnes pratiques

Différentes espèces de moisissures produisent différents types de mycotoxines et la toxicité de chacune d'entre elles varie grandement. Ces moisissures peuvent infecter les cultures au champ mais également durant l'entreposage. La présence d'épis moisissés au champ ne signifie pas automatiquement que la récolte est gravement contaminée par des mycotoxines. À l'inverse, l'absence de signes de moisissures sur un lot de grain par exemple, ne garantit pas l'absence de mycotoxines. Les sous-produits de céréales qui sont utilisés en alimentation animale peuvent aussi contenir des mycotoxines.

Bien que l'élimination complète des mycotoxines ne soit pas encore possible, plusieurs actions peuvent être mises en place, à tous les niveaux, soit pour en minimiser l'apparition ou pour en réduire les impacts négatifs. Pour un meilleur succès, la problématique devrait être abordée sous tous ses angles, en commençant par le choix des cultivars et hybrides à semer, jusqu'aux stratégies alimentaires de conception des moulées. Plus il y aura de reconnaissance de la responsabilité de chacun à tous les maillons, plus grand sera le succès dans la lutte pour contrer les effets négatifs des mycotoxines. Pour connaître les bonnes pratiques à mettre en place il faut d'abord identifier tous les facteurs entrant en ligne de compte et qui peuvent influencer l'apparition des mycotoxines dans un lot de grains ou de moulée. Ces facteurs peuvent être séparés en plusieurs catégories :

1. plante elle-même : résistance génétique à l'infection du cultivar ou de l'hybride, stade de croissance, susceptibilité aux maladies et insectes
2. conditions climatiques : température, humidité, pluviométrie
3. pratiques culturales : semis, récolte, travail du sol, fertilisation, application de fongicides, présence d'insectes, mauvaises herbes, rotations, résidus de culture
4. manipulation et entreposage des grains et des moulées : ventilation, silos, ajouts d'anti-moisissures, présence d'insectes ou de rongeurs, manutention, mélange, tamisage

À ces facteurs peuvent en être ajoutés d'autres qui préviennent ou qui vont venir influencer la réponse négative de l'animal à la présence de mycotoxines dans sa moulée :

5. sensibilité de l'animal : espèce, stade physiologique
6. état de santé de l'animal
7. contrôle de qualité des ingrédients et des moulées.
8. ajout de certains produits dans la moulée : anti moisissures, agents liants, niveaux plus élevés de vitamines
9. présence simultanée de plusieurs mycotoxines dans le même aliment

La prévention demeure la meilleure méthode pour contrôler la croissance des moisissures et la formation possible des mycotoxines. Ces dernières sont favorisées par plusieurs critères et c'est l'ensemble de ces critères qui doit être pris en considération afin de réduire de façon efficace leur développement et leur prolifération.

Facteurs liés à la sensibilité de la plante

Hybrides et cultivars

Plusieurs points sont à prendre en considération quant au choix du cultivar le mieux adapté. Il est d'abord important de savoir que, du côté de la plante, le développement des moisissures et la production de mycotoxines sont causés principalement par trois facteurs : 1) les conditions climatiques, 2) la quantité d'inoculum présent et 3) la sensibilité de la plante à l'infection (Rioux *et al*, 2003). Si l'on parvient à minimiser l'une de ces composantes, on peut réduire significativement les risques d'infection et ce, même si les deux autres facteurs sont présents. La relation entre ces trois conditions explique pourquoi un cultivar sensible peut ne pas être infecté ou au contraire, qu'un cultivar réputé moins sensible puisse être infecté fortement pour une saison donnée.

La présence au champ de cultivars possédant des dates de floraison et de maturités différentes est favorable afin de mieux répartir le risque de propagation de l'infection. Les cultivars à floraison hâtive semblent accumuler une plus grande quantité de vomitoxine que les cultivars à floraison tardive (Champeil *et al*, 2004). Cela s'expliquerait, entre autre, en raison des différences variétales mais surtout par la coïncidence entre la phase de sensibilité de la plante et la période plus favorable à la dispersion des spores. Si des conditions de pluie et d'humidité surviennent lorsqu'un cultivar est en pleine floraison, les autres cultivars seraient à des stades moins sensibles, soit avant ou après la floraison. Dans une revue portant sur les stratégies de contrôle en post-récolte, on mentionne qu'un hybride de maïs à maturation tardive (classe 600-700) démontre des niveaux 3 à 4 fois supérieurs de zéaralénone et de vomitoxine comparativement aux hybrides à maturation hâtive (classe 400-500) (Naresh et Alfred, 2007).

Résistance, amélioration génétique et sensibilité à la fusariose

Il existe une différence entre les cultivars et les hybrides quant à leur résistance à certaines maladies fongiques comme la fusariose de l'épi. La résistance et la tolérance des plantes aux maladies sont complexes et plusieurs gènes sont impliqués. Elles sont catégorisées en différents types selon les mécanismes qui sont en cause : résistance à l'infection initiale par le *Fusarium* (type I), résistance à la dispersion de l'infection sur le plant (type II); plusieurs autres types de résistance ou de tolérance ont été proposés (Comeau et al., s.d.). Lemmens *et al.* (2005) ont démontré que certaines lignées de blé sont capables de résister aux dommages causés par la fusariose en conjuguant la vomitoxine par un mécanisme de glycolysation (résistance de type II); la vomitoxine se retrouve alors principalement sous forme de DON-3-glycoside. Certains auteurs vont faire référence à ces formes conjuguées en parlant des mycotoxines « masquées » car lors du dosage, elles échappent aux méthodes d'analyses de laboratoire conventionnelles (voir section sur l'analyse des mycotoxines).

Au Québec et au Canada, les travaux de sélection et d'amélioration génétique impliquent une collaboration entre plusieurs centres : le CEROM, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec (Ste-Foy), le CRECO (Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa), ainsi que les centres d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Charlottetown et Winnipeg. Ajoutons que Lana Reid, au CRECO (Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa) développe des maïs *inbred* résistants à *Fusarium*. L'amélioration des plantes est encore la stratégie la plus prometteuse dans la prévention de la contamination par les mycotoxines avant la récolte (Jouany, 2007; Reid, 2003). Pour l'espèce *Fusarium*, il n'est pas évident de prédire la résistance d'un cultivar à la maladie puisqu'il s'agit d'une moisissure dont la virulence varie beaucoup en fonction du climat; c'est aussi un saprophyte (capable de se nourrir de matière organique en décomposition) avec un large éventail d'hôtes et de faibles niveaux de variation intra spécifique, ce qui n'est pas le cas des autres pathogènes en général. Beaucoup d'efforts sont investis du côté du blé depuis 15 ans. Au Québec, pour la fusariose de l'épi dans le blé, beaucoup de recherches sont faites dans le développement de lignées et de cultivars naturellement résistants à l'infection initiale par cette moisissure, principalement par l'amélioration de la résistance de type I (Comeau, A., AAC Québec, 2009, communication personnelle). Pour ce faire, les chercheurs ont adapté une méthode de sélection mise au point par EMBRAPA au Brésil, qui est fondée sur une approche systémique plutôt que conventionnelle. Des progrès génétiques rapides sont effectués car la méthode permet l'évaluation de plus de 9000 croisements par année (Comeau et al., 2008). Ces chercheurs sont également convaincus que cette méthode pourrait être étendue à la sélection d'autres céréales que le blé, afin d'améliorer la résistance à la fusariose. En se basant sur les succès obtenus avec l'approche systémique dans le blé, plus d'efforts pourraient être portés sur l'orge par exemple, malgré que ce soit une espèce sur laquelle la recherche s'est penchée activement (Comeau, A., AAC Québec, 2009, communication personnelle).

En appui à la nouvelle approche présentée par Comeau et ses collaborateurs (2008) qui vise l'amélioration de la résistance des plantes à l'infection initiale par *Fusarium* (mécanismes de résistance de type I), Mesterházy et ses collaborateurs (2007) mentionnent que beaucoup de programmes d'amélioration génétique au USA, au Canada et en Chine sont concentrés sur l'amélioration des résistances de type II. Il semblerait par contre que la stabilité de la résistance des différents lignées développées en s'appuyant sur l'un ou l'autre des types de résistance ne soit pas la même. En effet, pour favoriser un progrès génétique plus stable et rapide, Mesterházy *et al.* (2007) soulignent l'importance de mettre plus d'emphasis sur les méthodes qui encouragent la résistance à l'infection initiale à la fusariose (type I).

Afin de limiter les risques de développement des champignons à l'intérieur des cultures, il est donc important de choisir les cultivars les plus résistants. L'Atelier céréales du Réseau de Grandes Cultures du Québec évalue chaque année le degré de sensibilité des cultivars de blé et d'orge et les résultats sont disponibles dans le feuillet de recommandations de céréales (RGCQ, 2008). Le choix d'un cultivar résistant à la fusariose fait donc partie des bonnes pratiques à adopter. Il est à noter que les cotes de résistance sont comparatives pour une même espèce mais ne se comparent pas d'une espèce à l'autre, par exemple entre le blé et l'orge. À sensibilité égale, un cultivar à paille longue échappe mieux aux contaminations qu'un cultivar à paille courte; les raisons de cette différence sont très complexes, et on ne peut pas espérer d'ici 2015 une forte résistance à *Fusarium* chez les céréales à paille les plus courtes (Comeau, A., AAC Québec, 2009, communication personnelle). Une incompatibilité de l'hybride de maïs dans la région dans laquelle il est planté peut prédisposer la plante à la croissance fongique et au développement des mycotoxines (Ceballos et Kastler, 2007).

En ce qui concerne la maïs-grain, l'évaluation de la sensibilité à la fusariose n'est pas effectuée actuellement pour les hybrides qui sont évalués dans le cadre du Réseau de Grandes Cultures du Québec et conséquemment, il ne peut donc pas y avoir de recommandation émise en ce sens sur les hybrides à privilégier lors du choix des semences (voir la section sur la sensibilité à la fusariose des hybrides de maïs recommandés au Québec). Dans ce cas, à moins d'obtenir les recommandations directement du fournisseur de semences, il n'est pas possible pour un producteur céréalier de choisir un hybride de maïs résistant à la fusariose. Par contre, certaines observations ont été faites au champ et il semblerait qu'une certaine résistance soit remarquée chez les hybrides dont les soies du bout de l'épi sont plus recouvertes par l'enveloppe (Fillion, P., MAPAQ Québec, 2009, communication personnelle). Certains fournisseurs de semences vont aussi préconiser l'emploi de semences ayant reçu un traitement avec un insecticide et un fongicide (Pickseed, 2009).

Stade de croissance

Les moisissures produisent les mycotoxines lorsqu'elles sont en situation de stress ou lorsqu'elles se sentent en compétition avec les autres organismes vivant sur la plante. Pendant la saison de végétation, lorsque les conditions sont favorables, les spores atteignent les épis et causent l'infection. L'infection correspond à la pénétration du champignon dans les tissus de la plante. Le stade de la céréale le plus critique pour l'infection est la période épiaison-floraison, période qui dure à peine quelques jours (Rioux *et al*, 2006). À ce stade, la fleur est ouverte et donc plus sujette à l'invasion par la moisissure. Durant cette période, l'humidité et la température auront le plus grand impact sur le niveau de contamination.

Chez le blé, l'infection a lieu pendant une très courte période, quelques jours à peine, soit au moment de la sortie des étamines. À ce stade de développement, la fleur du blé est grande ouverte et plus sujette à l'infection. L'infection à ce stade de croissance de la plante a le plus d'impact sur le rendement en grains. Pour l'orge, comme la pollinisation se fait au tout début de l'épiaison, la fleur de l'orge est mieux protégée que celle du blé au moment où l'infection cause le plus de dommages. Cependant, la fenêtre propice à la contamination semble beaucoup plus large que celle du blé. Elle peut s'étendre aussi à un stade de développement plus avancé. Si l'infection survient plus tard, lorsque les grains sont formés, le rendement en grains sera peu affecté. Par contre, le niveau de mycotoxines peut être élevé et le criblage ne permet alors pas d'éliminer ces grains infectés tardivement (Rioux *et al*, 2006).

Ce sont la connaissance de la sensibilité des plantes aux différents stades de croissance, l'observation des champs et l'adoption de pratiques culturales appropriées qui vont permettre aux producteurs de limiter la présence des mycotoxines dans les céréales cultivées (voir section sur les pratiques culturales).

Facteurs liés aux conditions climatiques

Comme nous avons déjà mentionné précédemment, le développement et la formation de mycotoxines dépendent majoritairement de trois facteurs principaux : le climat, la quantité d'inoculum présent et la sensibilité de la plante à l'inoculum. Ainsi, la présence de spores de moisissures dans le sol peut favoriser l'apparition de maladies fongiques sur les cultures mais les conditions climatiques doivent être favorables à la dispersion de ces spores et au développement de la moisissure. Les résultats ont démontrés que les facteurs climatiques sont responsables de 48% de la variation dans les concentrations de vomitoxine (Schaafsma *et al*, 2001). Le climat a donc un impact majeur dans le développement de la fusariose. Nous n'avons pas de contrôle sur les différents facteurs entourant les conditions environnementales. Il demeure toutefois essentiel de connaître leur influence pour mieux voir venir les risques d'une éventuelle infection. De plus, il sera alors important d'agir au maximum sur les paramètres que nous pouvons contrôler (pratiques culturales, régie, contrôle de la qualité...).

Location

La présence de mycotoxines est révélatrice d'un facteur climatique, souvent caractéristique d'un pays ou d'une région donnée. Par exemple, les espèces d'*Aspergillus*, qui peuvent engendrer l'aflatoxine, bénéficient de conditions optimales dans les régions tropicales et subtropicales (Charmley et Trenholm, 2000). Dans les climats tempérés comme le Canada, les USA et l'Europe, les espèces *Fusarium* et *Penicillium* produisant les mycotoxines du groupe des tricothécènes (vomitoxine, nivalénol, toxine T-2 et HT-2), la zéaralénone, les fumonisines (surtout FB1) et les ochratoxines (en particulier l'ochratoxine A) sont les plus préoccupantes. Cependant, on doit toujours garder en tête que même si toutes les mycotoxines ne se développent pas sur nos cultures ici, elles représentent tout de même un problème. L'alimentation des porcs est composée de plusieurs ingrédients et le marché de l'alimentation est mondial, ce qui fait que les matières contaminées sont très largement distribuées géographiquement et que le risque de retrouver toutes les espèces de mycotoxines est grand.

Température

Les moisissures sont sensibles au climat et, selon l'espèce, elles peuvent se développer sur une grande échelle de température et d'humidité (Lawlor et Lynch, 2001). Les extrêmes climatiques (températures trop élevées ou trop basses), de même que les fluctuations fréquentes de température sont des sources de stress pour la plante, ce qui augmente la fragilité du plant et favorise la prolifération des moisissures.

Le tableau suivant (Tableau 11) présente les principales mycotoxines et les facteurs climatiques favorisant leur production.

Tableau 11. Mycotoxines et facteurs favorisant leur développement

Moisissures	Mycotoxines	Facteurs favorisants
<i>Fusarium</i>	Fumonisine	Température optimale entre 22°C et 25°C. Conditions climatiques chaudes et sèches Hybrides cultivés hors de leur zone d'adaptation Pré stockage
<i>Aspergillus</i>	Aflatoxine	Température optimale entre 28° C et 33° C. Chaleur humide : - zone tropicale - échauffement en stockage
<i>Aspergillus,</i> <i>Penicillium</i>	Ochratoxine	Température optimale entre 28° C et 33° C (20 °C - 25 °C) Activité de l'eau > 0,83 Humidité en stockage Climats froids et humides
<i>Fusarium</i>	Trichothécènes	Température entre 1°C et 4° C. Activité de l'eau > 0,9 Périodes prolongées de stockage à des températures voisines de 0°C en atmosphère humide. Possibilité de développement en milieu confiné Climats tempérés Pré stockage
<i>Fusarium</i>	Zéaralénone	Climats tempérés Récolte tardive Pré stockage

(Adapté de Hamelin, 2004; Le Bars, 2000)

Humidité

Un taux d'humidité élevé et une humidité relative élevée sont deux facteurs importants dans la germination et le développement des spores de moisissures (Lopez-Garcia *et al*, 1999). Un taux d'humidité (contenu total en eau), plus grand que 150 g/kg dans les céréales (15 %) est habituellement nécessaire pour maintenir la moisissure en vie et ce, malgré de grandes divergences entre les espèces (Jouany, 2007). Comme toutes les céréales contiennent une certaine quantité d'eau, leur taux d'humidité doit être contrôlé. Cependant, l'humidité n'est pas répartie uniformément dans le grain. Un lot de grains contenant une moyenne de 15,5 % d'humidité peut, par exemple, contenir des grains avec 10 % d'humidité et d'autres avec 20 % d'humidité. La teneur en eau des grains de céréales est directement liée à la quantité de moisissures produite et à la durée de conservation des grains. Le maïs, par exemple, peut se conserver relativement bien pendant un an dans une humidité relative de 15% et à une température de 15 °C. Stocké à 30 °C, ce même maïs sera sévèrement détérioré par des moisissures en l'espace de trois mois (FAO, 2001). Un grain avec la teneur en eau plus élevée est donc plus sensible aux moisissures.

Pluviométrie

L'alternance entre les conditions extrêmes comme la sécheresse du sol et les inondations cause un stress et peut aggraver la prolifération de certains *Fusarium* (tel *Fusarium moniliforme* qui produit la fumonisine) (Lopez-Garcia *et al*, 1999). On pense que ce sont surtout les éclaboussures de pluie qui peuvent transporter la moisissure d'un étage foliaire à l'autre, depuis le sol jusqu'aux épis. Durant la floraison, la pluie permet aux spores des moisissures d'entrer en contact avec les extrémités des étamines qui sont sorties des fleurs. Si l'humidité est suffisamment élevée, les spores présentes sur les étamines peuvent germer et la moisissure se développe. Elle colonise d'abord ce tissu puis progresse dans la fleur où le grain est en formation. Par la suite, elle peut se propager aux fleurs et épillets voisins. Les infections qui surviennent pendant cette période causent les dommages les plus sévères tels la stérilité florale, la réduction du nombre et de la grosseur des grains (voir section Stade de croissance).

Insectes et ravageurs

Les dommages causés par les insectes et les ravageurs (rats, souris...) sont aussi un facteur qui prédispose la culture à la contamination par les mycotoxines. Les insectes et ravageurs compromettent la protection extérieure des grains et les tissus des plantes en créant des lésions à l'enveloppe du grain. Ils offrent ainsi une porte d'entrée aux spores des moisissures et leur permet d'avoir accès aux nutriments du grain.

Autre fait, l'activité métabolique des insectes provoque une élévation de la teneur en eau et de la température des céréales infestées durant l'entreposage. Les mites (arthropodes) font aussi office de porteurs de spores fongiques, lesquelles peuvent utiliser leurs matières fécales comme source de nourriture. Les insectes peuvent aussi servir de transport pour les spores contaminées vers d'autres parcelles encore saines. Par conséquent, toute méthode qui réduit les dommages provoqués par les insectes (insecticides, hybrides résistants aux insectes...) réduit aussi les risques de contamination fongique (Santin, 2005).

Facteurs liés aux pratiques culturales

Les pratiques culturales sont la combinaison de plusieurs techniques qui permettent, entre autres, un meilleur rendement et une diminution des organismes nuisibles, comme les moisissures. Parce qu'il peut avoir un impact direct sur le développement des mycotoxines chez les plantes, le suivi agronomique régulier des champs est donc important afin de maintenir les cultures en santé, limiter les sources de stress pour les plantes et cibler les traitements requis. La date de semis et de récolte, les applications de fertilisants, de fongicides, le désherbage, le sarclage sont tous des exemples d'opérations pouvant influencer le développement des moisissures et la production de mycotoxines dans les cultures.

Au Québec, l'assurance récolte prévoit qu'une compensation peut être versée pour les pertes encourues par la fusariose. Cependant, certaines normes de base concernant les pratiques culturales doivent être respectées pour que la récolte soit assurable contre les pertes de revenus causés par la mauvaise qualité des grains, incluant les dommages causés par la fusariose. L'ensemble de ces normes est décrit dans le Guide 2009 des normes reconnues en matière de pratiques culturales (FADQ, 2009), un document publié par la Financière Agricole du Québec. La Financière Agricole du Québec considère que le respect de ces normes est une condition essentielle à la réussite d'une production et permettent aux adhérents à l'assurance récolte de produire des grains de qualité.

Semis

La date de semis est un facteur important, non seulement pour le rendement de la plante mais également pour une meilleure gestion du risque de développement des mycotoxines. Dans le cas du maïs, les semis tardifs augmentent le risque de présence des mycotoxines sur les grains à la récolte. Un document réalisé par la compagnie française Maïsadour présente d'ailleurs les résultats de différents niveaux de mycotoxines dans le maïs selon différentes dates de semis plus ou moins tardives (Maïsadour, 2009).

Dans la mesure du possible, il est avantageux de procéder au semis de façon à éviter les températures élevées et la sécheresse pendant la période de développement et de maturation des semences (FAO, 1997). Les écarts de température et le manque d'hydratation sont des facteurs de stress pour la plante et favorisent l'apparition des moisissures. Le taux de semis est également un facteur à prendre en considération. Il est suggéré d'éviter de semer en rangs trop rapprochés, en respectant l'espacement recommandé pour chaque variété (Agridea, 2008).

Récolte

Il est préférable d'éviter une récolte tardive puisqu'elle entraîne un plus grand risque de développement de la fusariose, en particulier pour le maïs. Dans un projet réalisé au Québec par Sylvie Rioux et Serge Fortin du CEROM, il est conseillé de récolter la céréale dès que celle-ci a atteint le stade de maturité (Rioux et Fortin, 2008). À ce stade, les tissus sont plus vieillissants, les mécanismes de défense sont inactifs et les plants ont moins de résistance aux maladies. Une simple pluie à ce moment pourrait apporter suffisamment d'humidité pour que les *Fusarium* présents dans le grain puissent poursuivre leur développement et leur production de mycotoxines. Il est d'ailleurs recommandé de récolter un peu avant maturité et de sécher les grains à basse température pour abaisser rapidement la teneur en eau. Lorsque les conditions sont très humides, il est recommandé de procéder le plus rapidement possible au séchage afin de prévenir le développement des moisissures post-récolte. L'humidité atmosphérique varie beaucoup entre la rosée du matin et le soleil de l'après-midi, ce qui influence également le contenu en eau des grains. Le temps de récolte dans la journée est donc à prendre à considération (Jouany, 2007).

Dans la même optique que pour le semis, il est avantageux de procéder à la récolte de façon à éviter les températures élevées et la sécheresse pendant la période de développement et de maturation des semences. Des températures trop élevées auront des répercussions néfastes lors de mise en entreposage des grains. Lorsqu'un grain est exposé à de hautes températures au champ, il peut maintenir cette température pendant plusieurs jours, voire semaines, après la récolte et ce, malgré un lieu d'entreposage doté d'équipements de refroidissement.

Réglage de la machinerie

L'équipement servant à la récolte doit être entretenu et ajusté convenablement afin de minimiser les dommages, comme les grains cassés par exemple. Les grains abîmés sont plus susceptibles d'être attaqués par les moisissures et les insectes en plus de détériorer le classement du lot (DeWolf *et al.*, s.d.). En effet, Jones *et al.* (2007) rapportent que le taux de croissance des moisissures est environ cinq fois plus élevé pour les grains brisés que pour ceux intacts.

La hauteur de la coupe de la moissonneuse-batteuse peut être un facteur important de contamination. Lorsqu'on soupçonne l'existence de spores de *Fusarium* dans le sol, une hauteur de coupe adéquate peut prévenir l'infection des grains en santé par contact avec le sol contaminé (Jouany, 2007).

La vitesse du ventilateur de la moissonneuse-batteuse peut également être réglée afin d'optimiser une première étape de nettoyage directement sur le terrain et ainsi réduire les risques de contamination. Les grains endommagés peuvent être éliminés ce qui limite les risques d'une contamination future. Il faudrait toutefois éviter de ventiler au maximum puisque même si cette technique permet d'enlever les grains fusariés qui sont en général plus légers que les autres, elle peut également laisser une source supplémentaire d'inoculum dans le champ.

Travail du sol et rotations des cultures (précédent cultural)

Après la récolte, plusieurs résidus demeurent à la surface du sol. Bien qu'ils limitent l'évaporation, les problèmes d'érosion et de ruissellement, les résidus de culture sont également un milieu idéal pour la survie des spores fongiques représentant ainsi un risque d'infection pour la prochaine récolte (Guerif *et al.*, 2001) Les résidus d'une culture qui auraient été contaminés par les *Fusarium* par exemple peuvent inoculer la culture suivante et la prédisposer à l'infection. Lorsque des résidus contaminés sont laissés en surface, ils risquent également d'être balayés par le vent et de contaminer les cultures avoisinantes. L'enfouissement par le labour peut ainsi contribuer à diminuer la pression d'infection dans une parcelle à cultiver car il permet d'enfouir les résidus de récolte pouvant être infectés et de les soumettre à la dégradation microbienne.

Contrairement au labour, un travail réduit du sol peut causer une certaine augmentation de la prolifération des maladies due aux résidus de cultures laissés en surface. Dans un document publié par Swiss Granum (un regroupement des principales organisations du domaine des céréales, protéagineux et oléagineux en Suisse) stipule qu'un travail minimal du sol, sans enfouissement des pailles, peut augmenter de 5 à 8 fois le risque de contamination par *Fusarium/vomitoxine* (Swiss Granum, 2008). Il est donc essentiel d'alterner judicieusement les techniques de travail superficiel du sol et le labour.

Une rotation adéquate peut aider à la prévention de la contamination par les mycotoxines parce qu'elle permet d'éliminer la persistance des maladies et des moisissures d'une année à l'autre. Connaître le précédent cultural de chaque parcelle devient donc un atout, particulièrement si l'on effectue uniquement un travail réduit (chisel) ou un semis direct dans nos cultures. On privilégiera alors une espèce végétale qui ne sera pas susceptible aux mêmes maladies que la culture de l'année précédente. Une attention particulière devrait être portée lorsque la culture est implantée sur un précédent de maïs, ce dernier produisant une quantité importante de résidus qui favorise la propagation des moisissures. Selon des résultats obtenus, le risque de contamination de la nouvelle culture peut être de 6 à 10 fois plus élevé (Swiss Granum, 2008). Des céréales telles que l'orge, l'avoine et le blé ne devraient jamais être semées dans une parcelle où le précédent cultural était du maïs. D'autres essais rapportent qu'une rotation maïs/soya donne une moins grande prolifération de la fusariose qu'une rotation maïs/maïs (Lopez-Garcia *et al.*, 1999). Une étude menée par AAC à Normandin au Québec (Pageau *et al.*, 2008), a démontrée que le contenu en mycotoxines était significativement plus élevé lorsque le précédent cultural était de l'orge comparativement à des cultures de pois sec, de soya ou de trèfle rouge.

Le précédent cultural n'est cependant pas le seul élément à prendre en compte pour mieux gérer le risque de contamination des grains en mycotoxines. D'autres essais (Teich et Hamilton, 1985) ont aussi démontrés que le niveau de fusariose est réduit dans les cultures plantées sur un retour de maïs lorsque les résidus de culture avaient été enfouis ou encore lorsque les semences avaient été traitées avec un fongicide. À l'opposé, la répétition continue d'une même culture contaminée augmente l'ampleur de la contamination. Pour minimiser ces risques il est recommandé d'effectuer une rotation avec une culture moins susceptible après avoir cultivé du maïs ou des céréales sur une parcelle. S'il est impossible d'effectuer une rotation, les méthodes culturales devraient alors privilégier un labour hâtif, favorisant l'enfouissement des résidus de culture et leur décomposition rapide. Ceci démontre parfaitement qu'individuellement, un facteur n'est pas déterminant du niveau de contamination en mycotoxines mais que c'est bien l'ensemble des facteurs et les interactions qui existent entre eux qui donne l'importance de l'infection.

Fertilisation

Les carences et les excès en matières fertilisantes mènent à une augmentation de la contamination par certaines mycotoxines. Il est d'ailleurs important de veiller à ce que les apports excessifs en azote ne causent pas la verse des céréales, un plant versé étant beaucoup plus sensible à l'infection (Food Standards Agency, 2007). La fertilisation peut aussi affecter la contamination par *Fusarium* en altérant, entre autre, le taux de décomposition des résidus. Les fertilisants agissent sur la décomposition des résidus en modifiant le taux de croissance des plantes et la structure du sol ainsi que son activité microbienne.

Les effets de la source de fertilisation utilisée sur les mycotoxines sont assez contradictoires et doivent encore faire l'objet de recherches avant de pouvoir se prononcer plus clairement sur l'efficacité d'un engrais en particulier. Une étude menée au CEROM (Tremblay et Rioux, 2008) comparant l'influence de deux sources d'azote (urée et nitrate d'ammonium) a conclu qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les deux sources d'azote utilisées pour la fertilisation. Les résultats obtenus étaient contraires à ceux observés dans le sud-ouest de l'Ontario, où l'urée avait permis de réduire le nombre d'épis fusariés (Teich et Hamilton, 1985). En Italie, deux expériences ont été mises en place afin de déterminer les effets de la nature de l'azote (urée et engrais à libération lente) et son taux d'application (0, 100, 200, 300 ou 400 kg ha) sur la sensibilité des hybrides de maïs à la pourriture et la contamination par les mycotoxines dans les conditions naturelles (Blandino et al., 2007). Les résultats ont également démontrés que l'utilisation de l'urée peut réduire la contamination mais pour certaines mycotoxines seulement. En effet, il n'y avait pas de différences significatives entre les deux types d'engrais azotés pour la zéaralénone, la fumonisine B1 et l'ochratoxine A.

Une application équilibrée d'engrais azoté assure généralement une diminution du taux de mycotoxines et est habituellement la meilleure solution pour enrayer la contamination.

Fongicides

L'application de fongicides ne vise pas à enrayer complètement le développement de la maladie mais s'effectue à titre préventif, pour aider à diminuer la croissance de la moisissure et ainsi réduire les risques de contamination du grain par les mycotoxines. Le recours aux fongicides sans mesure complémentaire ne permet pas de résoudre le problème des mycotoxines. Cependant, pour contrôler une attaque de fusariose et prévenir l'accumulation de toxines qui pourraient en résulter dans la récolte, l'utilisation de fongicides (en tant que moyens de sauvetage) peut se justifier.

La culture est plus à risque si les conditions climatiques qui prévalent à des moments critiques favorisent le développement des moisissures sur la plante. L'inscription aux bulletins d'avertissements du Réseau des Avertissements Phytosanitaires-RAP, est un moyen qui favorise une intervention plus rapide des producteurs durant la saison de culture. Les bulletins sont publiés sur le site d'Agri-Réseau et il est possible d'être avisé lorsqu'un bulletin est émis (voir tableau 4).

La sensibilité des plantes aux infections fongiques dépend de leur stade de croissance. La période critique se situerait au moment de l'épiaison et de la floraison. Chez le blé, l'application du fongicide doit être faite avant la mi-floraison. La fenêtre idéale pour l'efficacité de traitement ne dure qu'entre un et deux jours. Par contre pour l'orge, l'application du fongicide doit être faite au moment où les épis sont dégagés, après l'épiaison. Selon les conditions de la région, le début de cette période arrive deux à quatre jours après l'épiaison. Il faut donc commencer à surveiller quotidiennement les champs dès l'épiaison de la céréale. Plus c'est chaud et humide, plus la période entre l'épiaison et le début de la floraison est courte. La floraison commence d'abord au centre de l'épi puis la sortie des étamines se poursuit progressivement aux extrémités de l'épi, vers le bas et le haut. Lorsque toutes les étamines de l'épi sont visibles, le moment où l'application du fongicide assure la meilleure protection est généralement dépassé. Il est alors trop tard pour appliquer le produit puisque l'infection a eu lieu si les conditions étaient favorables. Le CEROM a d'ailleurs publié plusieurs bulletins techniques qui traitent de l'application de fongicides dans la lutte contre la fusariose de l'épi du blé et de l'orge (Dion *et al.*, 2007; Dion *et al.*, 2009).

En ce qui concerne la culture du maïs, l'application de fongicides ne semble pas encore être une pratique reconnue pour aider à prévenir l'apparition des mycotoxines mais des travaux de recherches s'effectuent actuellement sur le terrain.

Drainage

Comme nous n'avons pas le contrôle sur les conditions climatiques, le drainage et/ou l'irrigation des terres contribuent à maintenir les conditions hydriques des sols optimales pour les cultures. Un taux d'humidité élevé est un facteur essentiel dans la germination et le développement des spores de moisissures. Une attention particulière doit donc être posée pour éviter une quantité excessive d'humidité ou, à l'extrême, une situation de sécheresse. La mise en place d'un bon système d'irrigation est un moyen efficace d'assurer une répartition régulière de l'eau, donc chaque plant en reçoit une quantité suffisante.

Contrôle des mauvaises herbes

Les mauvaises herbes peuvent être un milieu de croissance pour les moisissures. On conseille donc de bien réprimer les mauvaises herbes pour éviter qu'elles ne soient une source de contamination de la culture principale.

Agriculture biologique

Comme il est interdit d'employer les fongicides et les insecticides de synthèse, l'agriculture biologique est plus sujette à des problèmes de moisissures. Il y aurait donc un risque plus élevé de prolifération de mycotoxines dans ce type de production. Des résultats ont d'ailleurs démontrés que le taux de mycotoxines était nettement plus élevé que le taux observé dans les échantillons provenant de l'agriculture conventionnelle (Laboratoire Biosol, 2004). Cependant, s'il est vrai que certains fongicides réduisent le nombre de moisissures productrices de mycotoxines, d'autres aspects de l'agriculture conventionnelle (utilisation de trop hauts niveaux d'azote, application de fongicide de routine...) peuvent réduire l'aptitude des plantes à lutter contre ces pathogènes. D'ailleurs, d'après une revue rédigée par Benbrook, (2005), il est mentionné que les cultures biologiques permettraient une diminution de 50% de la fréquence des concentrations toxiques de mycotoxines. Comme on peut le constater, les résultats sont plutôt contradictoires et d'autres recherches devront être menées afin de faire le point sur les niveaux de risques des différents types de production.

Facteurs liés à la manipulation et à l'entreposage des grains et des moulées

Lorsque les grains sont contaminés durant la récolte, l'infection se poursuit durant la manipulation et la période d'entreposage. Peu importe la date de la récolte, il y aurait donc avantage à planifier à l'avance la manipulation du grain récolté lorsqu'on suspecte une contamination par les mycotoxines car la qualité d'un tel grain peut se détériorer rapidement. Le séchage, la ventilation et le refroidissement rapide des céréales contribuent à éviter d'aggraver la situation.

Une mauvaise régie postrécolte est déterminante pour la qualité des grains (Naresh et Aldred, 2007). Les grains fraîchement récoltés respirent et dégagent de la chaleur, ce qui crée une certaine quantité d'humidité. Ce surplus d'humidité accélère le développement des moisissures et le développement de mycotoxines. Cette activité microbienne peut également contribuer à la décoloration des grains, au chauffage, à la perte de matière sèche, la dégradation des lipides, et des protéines, etc., ce qui est susceptible d'en affecter la valeur nutritive.

Dans un silo par exemple, il s'établit une sorte d'écosystème où interagissent, en fonction du microenvironnement présent (température, humidité, oxygène, gaz carbonique), le grain (source nutritive), les microorganismes, insectes, rongeurs et moisissures qui pourraient être présents. Le séchage des grains, les programmes de contrôle des insectes et de la vermine et la manipulation et l'entreposage présentent donc des opportunités intéressantes dans le contrôle du développement des moisissures.

Séchage des grains

Il est important d'agir rapidement, dès la récolte, afin de diminuer les risques de développement des moisissures postrécolte. Le nettoyage et le séchage rapide du grain, à des niveaux d'humidité de moins de 15% (HGCA, 2007) ou idéalement de 13-14% (DeWolf *et al.*, s.d.) à l'intérieur des 48 premières heures suivant sa récolte sont de bonnes pratiques à favoriser.

Ventilation des silos

Les températures chaudes et une humidité ambiante élevée permettent le développement rapide des microorganismes. Lorsque le grain est finalement mis en silo, il est donc important de le ventiler pour permettre à la chaleur et à l'humidité de s'évacuer. Pour cette raison, une ventilation adéquate devrait débuter dès que les grains sont placés dans le silo. Cela permet d'abaisser rapidement la température à l'intérieur du silo, de sécher le grain et assure ainsi une meilleure conservation de la récolte entreposée. Le développement des moisissures est aussi fonction des proportions d'oxygène, d'azote et de dioxyde de carbone présents dans l'atmosphère interstitielle (espace entre les grains). Certaines moisissures se développent malgré des teneurs très faibles en oxygène. L'interaction qui existe entre les différents vecteurs de l'environnement (température, concentration en O₂, concentration en CO₂, contenu en humidité) est déterminante dans l'amplitude du développement de ces champignons (Tuite, 1994 cité par Santin, 2005).

Outre la ventilation qui suit la mise en silo, on trouve dans la littérature des informations sur la ventilation d'automne et la ventilation périodique en cours d'entreposage. Le CEROM a d'ailleurs publié trois bulletins techniques sur la ventilation des silos de grains (Fortin, 2003; Fortin, 2008; Fortin et Quenneville, 2002).

Il est aussi possible de télécharger, à partir de leur site internet (voir tableau 4), le logiciel Vent-Expert, un système expert de calculs pour différents systèmes de ventilation (Fortin, S. et J. Quenneville. 2002). Tous ces documents sont également accessibles sur notre page web.

Nettoyage des silos/camions

Pour l'entreposage des grains, un bon nettoyage des silos est essentiel avant l'arrivée d'une nouvelle récolte afin d'éviter la contamination avec des lots antérieurs infectés. Les conteneurs et véhicules servant au transport des céréales doivent être étanches afin de les protéger contre l'humidité, les insectes ou les rongeurs et la formation éventuelle de moisissures. Un nettoyage avant usage et entre deux usages des conteneurs ou véhicules est même privilégié pour s'assurer du retrait de toutes traces de contaminants possible. Il est important d'éliminer tout le grain pouvant être resté collé au fond.

Les silos de grains doivent être inspectés périodiquement pour s'assurer du maintien des conditions de conservation. De fines particules de poussières peuvent s'accumuler à l'intérieur du silo et nuire à la ventilation. Les particules de poussières peuvent également contenir une certaine quantité de spores de moisissures et contaminer la récolte suivante. Les parois des silos et des camions peuvent être aspirées ou balayées et l'utilisation d'air comprimé ou d'eau sous pression peut être employé pour atteindre les recoins difficilement accessibles.

Pour les trémies et les silos de moulée à la ferme, une bonne gestion de la distribution de l'alimentation est importante afin de s'assurer de fournir un aliment toujours frais. Le nettoyage des trémies et des silos doit aussi être fait de façon régulière. Dans un texte rédigé par Dr C. Veldman (2004), il est d'ailleurs recommandé de nettoyer les silos et les systèmes d'alimentation six fois par année. La nourriture a parfois tendance à adhérer aux parois des trémies et des silos ce qui peut favoriser la prolifération des moisissures. L'emplacement et la conception des silos peuvent parfois être à l'origine de la formation de condensation sur les parois et accélérer la dégradation des aliments entreposés.

À la meunerie comme à la ferme il est essentiel de prévoir la vidange et le nettoyage périodique des silos. Un nettoyage intensif de toutes les installations au moins une fois par année et l'élimination des poussières sont recommandés (Swiss Granum, 2008).

Veldman (2004) suggère que le nettoyage des silos à la ferme s'effectue une fois tous les deux mois (six fois par année).

Conditions d'entreposage

Les mycotoxines sont des molécules très stables et leur niveau ne diminue pas pendant l'entreposage. Par contre, les *Fusarium* qui ont contaminés les grains s'élimineront pendant l'entreposage s'il y a absence d'humidité et si les conditions ne sont pas favorables à leur développement. Un traitement à la chaleur a le même effet, il permet d'éliminer les *Fusarium*, mais pas les mycotoxines déjà présentes (Lauzon et al., 2007).

Des précautions supplémentaires AVANT la mise en silo peuvent également être prises, selon une publication de l'Université d'Ohio (DeWolf et al., s.d) :

- nettoyer l'intérieur et l'extérieur des silos et séchoirs pour s'assurer qu'ils ne contiennent pas de poussières, saletés ou résidus de grains;
- vérifier que le silo est bien étanche et colmater au besoin les endroits par où l'eau pourrait s'infiltrer;
- un anti-moisissure, souvent un produit à base d'acide propionique, peut être appliqué sur le grain lors de la mise en silo pour réduire la croissance des moisissures. Ces produits ne détruisent pas les mycotoxines présentes mais, en limitant la croissance ultérieure des moisissures, ils facilitent la conservation du grain en empêchant une plus grande détérioration.

L'alternance de températures chaudes et froides favorise le déplacement de l'eau et la condensation pendant l'entreposage. Ces conditions sont favorables pour la croissance des moisissures et le développement des mycotoxines (Belleau, 2009). Il est important de réduire la température du grain graduellement pour empêcher la formation de condensation sur les parois du silo et sur le haut du tas de grain. Durant l'entreposage, il peut se créer de la condensation à l'intérieur des silos et des zones humides dans la masse de grain (*hot spot*) et favoriser la croissance des moisissures dans ces zones (Santin, 2005). Ces situations sont observées lorsque le silo est exposé au soleil par exemple. La température augmente alors à l'intérieur du silo et cette chaleur se propage par convection vers les endroits les plus froids de la masse de grain, causant ainsi de la condensation. La figure suivante (figure 1) sur l'aération des grains, publiée par l'OMAFRA, illustre le phénomène (Hilborn, 1987).

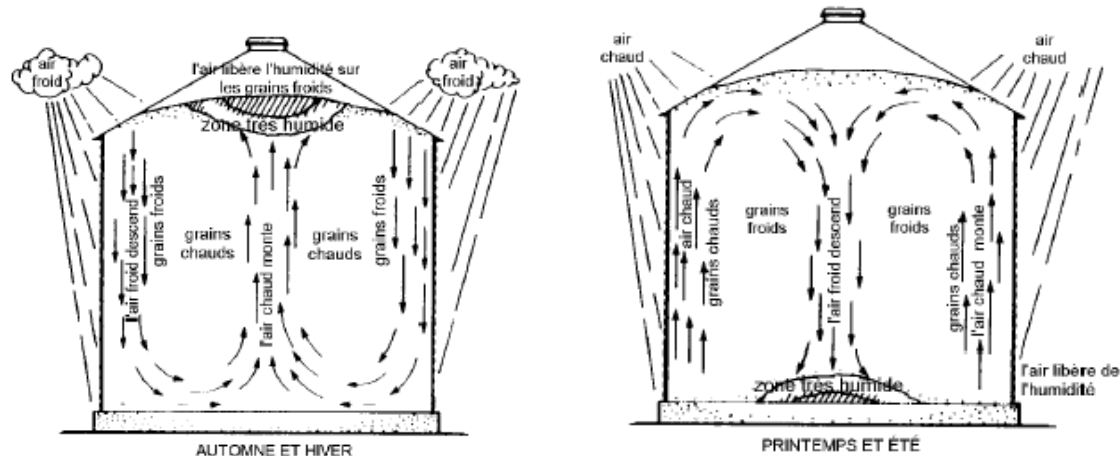


Figure 1. Aération des grains et zones propices à la condensation des silos selon la saison (tirée de Hilborn, 1987)

Ségrégation des lots sains par rapport aux lots contaminés

Compte tenu de la plus grande sensibilité de certains animaux, un bon contrôle de qualité sur les ingrédients et les aliments permettra de détourner les lots de moulées qui contiennent les plus grandes quantités de mycotoxines vers d'autres espèces animales moins sensibles que les porcs. Les fabricants d'aliments peuvent également envisager l'utilisation de lots de grains sains pour fabriquer les aliments pour porcelets et truies en lactation par exemple. Évidemment, cela nécessite l'identification des lots problématiques avant le déchargement du grain et la ségrégation dans un silo particulier.

Facteurs liés à la sensibilité de l'animal

L'animal n'a pas d'influence directe sur le développement des moisissures et la production de mycotoxines. Le porc est une espèce animale particulièrement sensible aux mycotoxines. Lorsque les grains et autres produits qui se retrouvent dans leurs aliments sont contaminés par des mycotoxines, leur santé et/ou leurs performances peuvent être négativement affectés. Par contre, tous les animaux ne sont pas affectés de la même manière par la présence de mycotoxines dans leur alimentation. Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte comme l'espèce, le stade physiologique et l'état de santé. Dans une section précédente, nous avons déjà traité de l'impact des mycotoxines sur le système immunitaire des porcs et de l'influence sur leur santé.

Plusieurs symptômes sont observables chez les porcs lors d'une contamination par les mycotoxines dans l'alimentation. L'observation quotidienne et le suivi d'élevage restent des pratiques de base à privilégier pour minimiser les impacts négatifs des mycotoxines. Il est important de porter une attention particulière, et surtout de façon régulière, à tous les changements de comportements qui surviennent à l'intérieur du troupeau. La compagnie Biomin a d'ailleurs dressé une liste de vérification qui s'adresse aux intervenants en élevage. Cette liste se veut un outil pratique et rapide afin de d'évaluer les signes de la présence d'une contamination par les mycotoxines (Biomin, s.d.).

Espèce

De façon générale, on peut affirmer que toutes les espèces peuvent être affectées par les mycotoxines. Cependant, leur sensibilité varie selon différents facteurs comme le sexe, l'âge, la race, le statut physiologique, l'alimentation, le type de mycotoxines ingérées, le niveau et la durée d'exposition, etc. (Biomin, s.d.). Sur le site de la compagnie Biomin, on peut retrouver des fiches techniques présentant les effets causés par les principales mycotoxines de l'alimentation du bétail. Trois fiches ont été conçues spécifiquement pour la vache, le porc, et le poulet (Biomin, 2008).

Les ruminants sont habituellement plus tolérants aux effets des mycotoxines que les porcs ou les volailles puisque les microorganismes du rumen jouent un rôle important dans la détoxification. Bien que les ruminants soient plus tolérants, le stress lié à la haute productivité des vaches laitières et la croissance rapide des bouvillons ou des agneaux lourds les rendent sensibles à une contamination par les mycotoxines et diminuent le potentiel de détoxification du rumen (Fournier et Lemelin, 2000).

Du côté des porcs, on remarque qu'ils sont plus sensibles que les autres espèces à la vomitoxine. Celle-ci peut causer une légère modification de l'estomac et de la muqueuse de l'intestin grêle. Cette toxine est absorbée et distribuée rapidement et efficacement dans l'organisme mais faiblement métabolisée par le porc, ce qui peut expliquer pourquoi ils sont plus sensibles. La présence de cette toxine dans les aliments peut aussi avoir de nombreux effets négatifs tels qu'une diminution des performances zootechniques et une altération des fonctions du système immunitaire (voir sections sur les seuils de tolérance et sur l'impact des mycotoxines sur le système immunitaire).

Stade physiologique

La sensibilité du porc aux mycotoxines varie selon le stade de production et la présence de facteurs de stress dans le troupeau. Les porcelets, de même que les porcs très âgés sont généralement plus sensibles aux effets d'une contamination par les mycotoxines dans leur alimentation. Leur système immunitaire étant plus faible, ils sont moins aptes à combattre les effets néfastes causés par ces mycotoxines. S'ajoutent également les animaux au stade de reproduction et ce, peu importe l'espèce (Biomin, s.d.). Certains ont même démontré que durant la période d'engraissement, les femelles seraient plus affectées que les castrats (House, s.d.). La quantité de moulée ingérée quotidiennement fait aussi une différence; ainsi les truies en lactation sont plus à risque que les truies gestantes. Bien que les effets puissent varier selon chacune des mycotoxines, on rapporte que, de toutes les espèces domestiques et de tous les stades de maturité, les cochettes prépubères sont les plus sensibles à une intoxication par la zéaralénone, causant des troubles du système reproducteur (Diekman *et al.*, 2006).

Facteurs liés au contrôle de qualité des ingrédients et des moulées

Un des principes de base du contrôle de qualité est qu'on ne peut pas gérer ce qu'on ne mesure pas. L'amélioration génétique des plantes, le suivi agronomique au champ, l'emploi des outils prévisionnels et l'adoption des bonnes pratiques culturales sont toutes des méthodes primordiales pour réduire la production des mycotoxines à la source. Néanmoins, la meilleure façon de dresser un portrait clair de la qualité d'un lot de grain est de prendre des échantillons représentatifs et de les analyser pour vérifier si des mycotoxines sont présentes et en quelle quantité. Ceci représente un avantage pour le producteur céréalier qui veut planifier la vente de son grain ou l'utilisation dans ses propres élevages. L'avantage est aussi important pour l'expert en nutrition animale qui peut mieux gérer l'utilisation des lots de grains en fonction de la sensibilité des animaux à nourrir.

Échantillonnage des grains

La gestion des risques passe inévitablement par la connaissance des dangers, c'est pourquoi il est préférable de connaître à l'avance la qualité des grains afin de mettre en place des stratégies et de diminuer les pertes. Les pertes liées aux mycotoxines touchent directement les éleveurs de porcs mais aussi les producteurs céréaliers qui mettent en marché les lots de grains. Les acheteurs de grains et les fabricants d'aliments assument aussi leur part des coûts (échantillonnage, prix grains à la baisse, coûts opérationnels des traitements, silos supplémentaires, retour de marchandise...).

Les acheteurs importants de grains ont tous mis en place des procédures de contrôle de la qualité des ingrédients qui entrent dans la fabrication des moulées. Ainsi ils prennent systématiquement des échantillons et demandent des analyses de mycotoxines. Cela leur permet de séparer le grain sain du grain contaminé, d'effectuer des mélanges afin de respecter des niveaux maximum de contamination ou de ne pas inclure un grain trop fortement contaminé dans les aliments des animaux plus fragiles comme les porcelets ou les truies en lactation par exemple. Il faut cependant prendre conscience que tout ce processus de contrôle de qualité repose sur deux principes de base : la prise d'un échantillon représentatif et l'emploi d'une méthode d'analyse fiable.

L'échantillonnage peut également s'effectuer au champ, avant de procéder à la récolte. En effet, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (OMAFRA) et l'Université de Guelph ont débuté en 2006 une campagne d'échantillonnage pour détecter les niveaux de vomitoxine des champs de maïs dans les différents comtés de la province et pour faire le lien avec l'observation visuelle des épis affectés par les moisissures dans les champs. Bien que cette information ne remplace pas un programme de contrôle de qualité et d'échantillonnage pour les utilisateurs de grains, il en résulte une meilleure connaissance de la situation dans les différentes régions productrices de grains de la province. Depuis quelques années, au fur et à mesure de l'avancement des récoltes, les résultats de cette campagne sont présentés dans le bulletin CropPest, publié par l'OMAFRA (OMAFRA, 2008).

Échantillon représentatif

Près de 90% des erreurs d'analyses associées au dosage des mycotoxines sont attribuées à la façon dont on prélève l'échantillon. Comme les grains contaminés ne sont pas répartis uniformément dans le lot, un mauvais échantillonnage peut donner une valeur erronée du taux réel de mycotoxines présentes. Plusieurs organismes et fournisseurs ont établi leur propre procédure quant à la méthode à adopter pour prélever un échantillon de façon adéquate. La Commission canadienne des grains (CCG) a élaboré le *Manuel des systèmes d'échantillonnage* qui définit les politiques et les procédures relatives aux échantillonneurs mécaniques utilisés pour prélever des échantillons officiels, y compris les exigences en matière d'approbation, d'installation, de vérification, de contrôle et de sécurité (CCG, 2003).

De son côté, le CRAAQ a également publié un document qui décrit une procédure d'échantillonnage lorsque l'on fait analyser les grains pour en connaître le contenu en vomitoxine (CRAAQ, 2005). Il faut cependant noter que le comité *ad hoc* de méthodologie de la vomitoxine qui a rédigé la procédure, n'existe plus aujourd'hui.

Le Règlement sur la mise en marché des grains (Loi sur la mise en marché des produits agricoles, alimentaires et de la pêche, M-35.1, r.226) prévoit à l'article 56 une procédure d'échantillonnage représentative. La procédure prévoit qu'un échantillon représentatif devrait être composé d'un minimum de cinq sous-échantillons pris à l'aide d'une sonde enfoncée aux quatre coins et au centre du voyage. Lorsqu'il n'est pas possible de procéder de cette manière, un échantillon peut être obtenu en prenant des sous-échantillons tout au long du déchargement du grain. Bien que la réglementation n'oblige pas à évaluer les mycotoxines lors de la vente d'un lot de grain, cette méthode peut servir de guide. La Régie des marchés agricoles et alimentaires du Québec a également rédigé un document concernant le prélèvement d'un échantillon représentatif (RMAAQ, 2009). La RMAAQ décrit l'échantillon représentatif comme étant « la condition fondamentale et l'étape la plus importante lors de la classification de tout lot de grain. Si l'échantillon prélevé n'est pas représentatif du lot en raison de toute anomalie (amas en surface, corps étrangers, etc.) notée sur le changement, le résultat du classement en sera affecté ».

Du côté américain, l'échantillonnage à l'aide d'une sonde est la seule méthode approuvée par le *US Department of Agriculture Grain Inspection Packers & Stockyards Administration* qui recommande un minimum de cinq à dix échantillons pris avec la sonde pour obtenir un échantillon représentatif valable (Ensley, 2009). Dans le silo ou le camion, les grains se séparent selon leur densité ou selon la taille des particules. Les petites particules et les plus denses se retrouvent généralement au centre et c'est donc à cet endroit que le taux de mycotoxines risque d'être le plus élevé. La prise de plusieurs échantillons nous assure d'avoir une valeur assez réelle du niveau de mycotoxines du lot.

La description détaillée de toutes ces méthodes d'échantillonnage s'avérant trop technique pour le présent rapport, nous avons placé les documents en lien sur la page Web « Mycotoxines » du CDPQ. L'emploi d'une technique approuvée d'échantillonnage est sans contredit une bonne pratique à adopter.

Analyse des mycotoxines

La seule façon de justifier la présence de mycotoxines est de procéder à une analyse du lot suspect. Les mycotoxines ne sont pas réparties uniformément dans les grains ni dans les aliments, ce qui peut rendre l'analyse plus difficile. Il existe plusieurs méthodes d'analyses pour les mycotoxines : quantitatives, semi-quantitatives et subjectives. Les méthodes quantitatives sont des méthodes plus formelles qui vont nécessiter une plus longue préparation mais qui vont donner une valeur juste et précise pour la mycotoxine analysée. Les méthodes de chromatographie en phase liquide (HPLC) et en phase gazeuse (TLC) en sont un exemple. Ces méthodes requièrent une longue préparation et un équipement coûteux et ne sont donc pas abordables pour un producteur. Ce sont des méthodes plus précises mais aussi beaucoup plus chères que les méthodes semi-quantitatives.

Les méthodes semi-quantitatives sont rapides, simples et peu coûteuses (*quick tests*). Ces méthodes ont leur intérêt mais ne rendent pas toujours des résultats précis ou répétables. La méthode la plus souvent utilisée est la méthode ELISA. Des trousseaux sont disponibles pour détecter l'aflatoxine, la vomitoxine et la zéaralénone. Ces tests sont relativement simples, peu dispendieux et donnent une indication rapide du niveau de contamination. En revanche, ces tests ne dosent qu'une seule mycotoxine à la fois et ne peuvent donc pas détecter la présence d'une multicontamination. Ils ne peuvent pas également détecter toutes les sortes de mycotoxines possiblement présentes dans l'échantillon ni les formes « masquées ».

Les méthodes subjectives, quant à elles, donnent une indication de la présence ou non de la toxine, sans quantification. Une couleur rose-rouge sur les grains de céréales ou à la pointe des épis est habituellement un signe de contamination par *Fusarium*, donc un risque que des mycotoxines soient présentes. Malheureusement, il arrive que des mycotoxines soient présentes sans que le grain n'en paraisse affecté.

Les trois types d'approches peuvent être utilisés conjointement, en fonction des besoins. Les producteurs céréaliers du Québec qui ont besoin d'une analyse de mycotoxines d'un lot de grain en vue d'une réclamation à l'assurance récolte doivent cependant respecter certains critères pour l'échantillonnage et les méthodes analytiques lorsqu'ils produisent leurs avis de dommages.

Récemment, les chercheurs se sont rendu compte que certains composés dérivés de la vomitoxine (principalement le DON 3-glucoside) et de la zéaralénone (principalement aussi sous forme glycosée) échappent aux méthodes conventionnelles d'analyse (Berthiller *et al.*, 2005 ; Zhou *et al.*, 2007). En effet, dans certaines conditions, la vomitoxine et la zéaralénone peuvent se retrouver sous leur forme « libre » ou sous une forme « conjuguée », le plus souvent avec des sucres (glycosylation), des acides aminés ou sous forme de sulfates (Berthiller *et al.*, 2005). Les méthodes d'analyses conventionnelles ne dosent que les mycotoxines libres donc elles sous-estimeraient la quantité totale de substances toxiques pour les animaux. Certains utilisent le terme mycotoxines « masquées », en faisant référence à ces formes conjuguées qui pourraient parfois s'avérer aussi toxiques pour les animaux que la forme libre des mycotoxines (M. Gareis, cité par Berthiller *et al.*, 2005). Les protocoles d'analyses doivent donc être adaptés pour inclure une étape préalable d'hydrolyse afin d'avoir un portrait plus réel de la toxicité des grains et des aliments (Berthiller *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2005 ; Zhou *et al.*, 2007).

Sur le terrain, les méthodes conventionnelles d'analyse s'effectuent sur une seule mycotoxine à la fois. Cependant, les moisissures de l'espèce *Fusarium* peuvent engendrer plusieurs mycotoxines qui peuvent potentiellement se retrouver présentes en même temps dans un même lot de grain. La détection simultanée, par une seule analyse, des toutes ces mycotoxines pourrait s'avérer avantageuse afin de réduire les temps d'analyse tout en obtenant un meilleur portrait de la présence de composés toxiques pour les animaux. Certains chercheurs ont mis au point de telles méthodes de détection simultanée des principales trichothécènes (nivalénol, vomitoxine, fusarenone X, 3-acetyl-DON, DAS, HT-2, T-2) et de la zéaralénone sur des échantillons de maïs (Berthiller *et al.*, 2005). Plus près de nous, certains chercheurs sont aussi à développer de telles méthodes (Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal, Université McGill, Université de Guelph, AAC-Ottawa).

À cause des problèmes qui peuvent être causés par les mycotoxines dans les élevages, plusieurs fabricants d'aliments ont mis sur pied un programme de contrôle de la qualité pour les ingrédients qui entrent dans la fabrication des moulées. Plusieurs meuneries échantillonnent systématiquement les ingrédients avant le déchargement. Des analyses de mycotoxines sont effectuées périodiquement tout au long de l'année mais plus intensivement après la nouvelle récolte. Comme les conditions climatiques varient d'année en année et d'une région agricole à l'autre, les utilisateurs doivent mettre en place un programme qui mesure en continu les niveaux de mycotoxines. Certains ont des barèmes de qualité (seuils ou limites d'acceptabilité) et refusent des lots de grains qui dépassent ces limites. Certains négocient les prix de vente à la baisse. Néanmoins, ceux qui acceptent des lots contaminés doivent mettre en place des mesures pour gérer ces lots afin de minimiser les impacts négatifs sur les animaux (tamisage, ségrégation, utilisation dans une espèce animale moins sensible, dilution, ajouts d'additifs, etc.). Tout cela engendre des frais supplémentaires, d'où l'intérêt de diminuer la pression de contamination à la source, avant la livraison du grain et son utilisation. Au Québec, la *Régie des marchés agricoles* publie une liste des laboratoires qui sont en mesure d'effectuer des analyses sur les grains (annexe 6).

Décontamination et ajouts d'additifs dans les moulées

Quand on considère les coûts en production porcine, on remarque que l'alimentation représente une part importante des frais de production. En effet, c'est environ 53% des coûts de production qui sont reliés à l'alimentation (Belleau, 2007). Il apparaît donc évident que de rentabiliser l'alimentation, ou tout ce qui s'y rattache, aura un impact important sur la rentabilité globale de l'entreprise. *A priori*, si une contamination de l'aliment est suspectée, la meilleure solution demeure le retrait de la nourriture contaminée. Cependant, le travail et les coûts engendrés sont importants et il est souvent impossible de remplacer complètement la ration. Il apparaît donc important de trouver des alternatives afin de prévenir ou d'enrayer les problèmes de mycotoxines dans l'alimentation des porcs.

Décontamination

Une certaine décontamination des grains est possible par l'emploi de méthodes physiques, thermiques ou chimiques et par l'ajout d'additifs alimentaires qui ont la capacité de lier ou d'inactiver certaines mycotoxines (House, s.d.).

Méthodes physiques :

- Nettoyage des grains (tamisage)
- Ségrégation des lots sains par rapport aux lots contaminés
- Enlèvement de l'enveloppe externe du grain (*dehulling*)

- Abrasion de la couche externe du grain (perlage et mondage)
- Inactivation thermique

Méthodes chimiques :

- Irradiation ou ozonation
- Ammonisation
- Nixtamalization

La vomitoxine est stable à la chaleur, conséquemment, elle n'est pas détruite lors du cubage ou de l'extrusion (House, s.d.). Le *dehulling* permettrait, quant à lui, une réduction de 65 % des niveaux de vomitoxine. L'abrasion subséquente du grain (perlage) pourrait accroître cette réduction jusqu'à fournir un grain ne contenant que 10 % de sa valeur initiale en vomitoxine (House, s.d.).

Plusieurs traitements chimiques ont été proposés pour détoxifier les grains contenant des mycotoxines. L'ammonisation (injection d'ammoniac anhydre dans le grain ou l'aliment) est une méthode efficace de décontamination pour l'aflatoxine mais pas pour la fumonisine. Cependant, l'ammoniac anhydre est un gaz volatil dangereux à transporter, il est toxique et extrêmement corrosif (son utilisation dans le traitement des aliments n'était d'ailleurs pas encore autorisée par la *FDA-Food and Drug Administration* aux États-Unis en 2005 selon Diekman et al., 2006). La méthode ne serait pas économique pour traiter de grandes quantités de grains (Diekman et al., 2006). D'autres composés chimiques comme l'urée ou le peroxyde d'hydrogène et le bicarbonate de soude en complément à un traitement alcalin (nixtamalization) ont été employés avec succès contre l'aflatoxine et la fumonisine dans le traitement du maïs destinés à la fabrication de tortillas (alimentation humaine) (FAO et IAEA, 2001).

Additifs alimentaires (agents liants/détoxifiants)

Comme les mycotoxines ne pourront jamais être éliminées complètement de la totalité de nos cultures, il est impératif de continuer à développer de nouvelles stratégies d'intervention. L'ajout d'agents liants ou d'agents détoxifiants pourrait être une bonne stratégie à envisager, à condition que leur efficacité puisse être scientifiquement démontrée principalement pour les mycotoxines de la famille des trichothécènes qui sont plus problématiques sous nos climats (voir section Mycotoxines et additifs alimentaires). Au Canada, aucun de ces produits n'est actuellement homologué comme un agent anti-mycotoxines. Malgré tout, plusieurs de ces additifs sont tout de même utilisés par les producteurs de porcs pour tenter d'atténuer les effets négatifs des mycotoxines. Cela démontre bien que les producteurs et les fournisseurs sont à la recherche de solutions tangibles pour contrer les effets négatifs des mycotoxines.

De façon complémentaire aux argiles minérales, l'arrivée sur le marché d'additifs à base de composantes de levures, d'extraits de fermentation microbiens ou de composés enzymatiques ouvre également une avenue prometteuse. Ces produits agiraient en modifiant la structure même des mycotoxines, réduisant ainsi leur toxicité. Des résultats d'essais prometteurs sont rapportés dans la littérature concernant l'efficacité de ces produits à atténuer les effets des mycotoxines telles que la zéaralénone, la vomitoxine, la T-2, l'aflatoxine, l'ochratoxine et le DAS chez différentes espèces animales. Les mécanismes d'actions sont cependant encore mal connus et les résultats ne sont pas toujours positifs. Le coût de ces produits étant quand même important, il serait avantageux d'effectuer plus d'essais sur le terrain afin de s'assurer d'un retour sur l'investissement. Étant donné que les mycotoxines ne pourront jamais être éliminées complètement, il est impératif de continuer à développer de nouveaux additifs ou de nouveaux procédés de décontamination.

Modifications nutritionnelles

Les ingrédients entrant dans la composition de la ration des porcs peuvent influencer les effets indésirables des mycotoxines. Certaines modifications nutritionnelles sont alors parfois proposées pour aider les animaux à surmonter les problèmes causés par les mycotoxines. Le foie joue un rôle de détoxification des mycotoxines, entraînant une baisse des réserves de méthionine de l'animal. Si cet acide aminé est limitant dans la ration, des baisses de performances peuvent s'ensuivre (Devegowda et Murthy, 2005). Il est également reconnu que les mycotoxines ont des effets sur le système immunitaire des animaux et sur le système oxydatif des cellules, diminuant ainsi la capacité de résistance au stress des animaux (Surai et Dvorska, 2005). Peu de documentation est encore disponible mais il apparaît qu'une alimentation déficiente en protéines, en sélénium et en certaines vitamines prédispose davantage l'animal aux mycotoxicoses (Osweiler, 2006). Un supplément en méthionine, en sélénium et en vitamines comme la vitamine E, l'acide ascorbique ou les caroténoïdes par exemple, peut donc être bénéfique (Devegowda et Murthy, 2005 ; Surai et Dvorska, 2005; Veldman, 2004). Ces produits sont considérés comme des antioxydants naturels.

Anti-moisissures

L'utilisation d'anti-moisissures est une pratique courante dans l'industrie de l'alimentation. Ils sont efficaces pour prévenir la croissance des moisissures durant l'entreposage mais demeurent toutefois uniquement un moyen de prévention dans le contrôle du développement de ces moisissures et ne sont d'aucune utilité lorsque celles-ci sont déjà présentes (Santin, 2005 ; Osweiler, 2006). Les anti-moisissures peuvent être ajoutés au grain et/ou à la moulée fabriquée. Le dosage dépend de nombreux facteurs. Certaines compagnies comme Cargill ont mis en place des outils pour déterminer les quantités d'anti-moisissures à incorporer aux grains pour mieux les préserver (Cargill, 2006).

Il existe un éventail d'agents anti-moisissures qui sont soit 1) des acides organiques, employés seuls ou en combinaison 2) des sels d'acides organiques ou encore 3) du sulfate de cuivre (Alberta Pork, 2002). Parmi ceux-ci, les acides organiques sont les plus utilisés et les plus efficaces pour contrôler le développement des moisissures (Lawlor et Lynch, 2001; Osweiler, 2006). Ils agissent en modifiant le pH de l'aliment et l'efficacité de ces acides organiques dépend habituellement du contenu en humidité dans le grain. Plus la céréale est humide, plus le besoin en acides organiques sera élevé. L'acide propionique est généralement le plus efficace (Osweiler, 2006). Peu importe le produit utilisé, il doit être réparti de façon uniforme dans le grain ou dans l'aliment.

Certains ingrédients contenus dans la formule alimentaire peuvent affecter les performances des anti-moisissures. Des protéines ou des suppléments minéraux, par exemple, le tourteau de soya, le calcium et la farine de poisson ont tendance à réduire l'efficacité de l'acide propionique (Dixon et Hamilton, 1981). Ces matériaux peuvent neutraliser les acides libres et les convertir à leurs sels correspondants, qui sont moins efficaces comme inhibiteurs. Les lipides tendent à renforcer l'activité des acides organiques, probablement en augmentant leur pénétration dans les particules alimentaires.

Les aliments granulés sont mieux adaptés pour l'utilisation des inhibiteurs de moisissures. La chaleur que subit l'aliment lors de la granulation améliore l'efficacité des acides organiques. En règle générale, plus la température de la granulation est élevée, plus le produit est efficace. Cependant, la granulation rend la nourriture plus facilement digestible par les moisissures. Donc, si le développement de la moisissure se fait sur les granules, il se fera à un rythme plus rapide que sur un aliment non granulé (Alberta pork, 2002).

Partie 2 – Sommaire des constats, recommandations et plan d'action à mettre en place pour diminuer les impacts des mycotoxines chez les porcs

L'information présentée dans la partie 1 nous a permis de faire un diagnostic pour mieux connaître les risques liés aux mycotoxines en production porcine. L'état de la situation nous a également permis de voir l'état des connaissances, les interrogations qui sont toujours présentes et les acteurs impliqués. Avec le comité d'experts ayant collaboré au projet, nous avons identifié certains thèmes sur lesquels plus d'attention devrait être portée. Ces thèmes pourraient conduire à l'élaboration de stratégies pluridisciplinaires pour contrer les effets négatifs des mycotoxines. Dans cette section du rapport, nous avons donc rapporté les principaux constats faits tout au long de l'étude. Ces constats nous ont conduits à élaborer un certain nombre de recommandations. Finalement, un plan d'action est proposé. Ce plan d'action contient les éléments incontournables qui doivent être mis en place ou réalisés à court et à moyen termes pour répondre aux besoins cernés par les différents experts.

Sommaire des constats et recommandations

À la lumière de l'information présentée dans chacune des sections du rapport, nous avons fait un certain nombre de constats qui nous conduisent à présenter des recommandations pour diminuer les impacts des mycotoxines chez les porcs. Nous avons choisi d'organiser la présentation de ces constats et recommandations en fonction d'un ordre logique, en partant de l'amélioration génétique des grains jusqu'à la sécurité alimentaire de la viande.

1- Production et entreposage de grains sains

Constats :

- Les mycotoxines engendrent encore aujourd'hui des pertes économiques importantes tant pour les céréaliculteurs que pour les producteurs de porcs. Par exemple, pour l'année 2006, dans une enquête réalisée en Ontario, les pertes économiques sont chiffrées à plus de 60 M\$ seulement pour l'industrie ontarienne du maïs. Cette valeur ne tient même pas compte des pertes de performances des animaux et de l'augmentation des coûts d'alimentation.
- Les facteurs climatiques ne seraient responsables que de 48 % de la variation observée dans les concentrations des grains en vomitoxine.
- Au total, pour les années 2005 à 2008 inclusivement, l'assurance récolte du Québec aura versé aux producteurs céréaliers plus de 1,3 M\$ en indemnités seulement pour les pertes de revenus associées à la présence de grains toxiques (vomitoxine).
- Il existe une différence entre les cultivars et les hybrides quant à leur sensibilité à la fusariose. Pour les céréales à paille, ce critère est évalué par le CEROM et publié annuellement dans les recommandations du Réseau de Grandes Cultures du Québec. Par contre, pour le maïs, l'évaluation de la sensibilité à la fusariose des hybrides de maïs inscrits au réseau n'est pas faite, donc, aucune recommandation sur les hybrides à privilégier ne peut être formulée pour ce critère.

- De grands progrès ont été faits du côté de l'amélioration génétique de la résistance à la fusariose dans le blé principalement, mais également dans l'orge. Malgré tout, on retrouve encore des mycotoxines dans les lots de céréales mis en marché. Pour le blé, les progrès réalisés devraient permettre de diminuer grandement, dans la prochaine décennie, les dommages causés à cette culture (et conséquemment le contenu en mycotoxines). Les chercheurs impliqués espèrent que le succès obtenu avec l'amélioration du blé pourra permettre d'accentuer les efforts dans l'amélioration de la résistance de l'orge à la fusariose.
- Le niveau de maturité physiologique du grain atteint à la fin de la saison de croissance aurait une influence importante sur le risque d'apparition des mycotoxines. Le choix d'hybrides et de cultivars adaptés à la zone de culture joue donc un rôle dans la prévention des problèmes de mycotoxines.
- Il existe plusieurs modèles prévisionnels du risque d'infection des cultures par la fusariose, en fonction des conditions météorologiques. Ces modèles viennent appuyer les recommandations des phytopathologistes dans la prévention des dommages causés aux récoltes et pour une meilleure planification des interventions au champ. Malheureusement, ces modèles ne fournissent pas d'indication quant à la teneur en mycotoxines, donc, ils ne sont pas utiles aux utilisateurs de grain. En Ontario, le modèle DONcast constitue une exception car il prédit la teneur en vomitoxine, mais pour le blé seulement. Rien de tel n'existe pour le maïs.
- L'observation visuelle d'épis infectés par la fusariose au champ ne signifie pas automatiquement que la récolte sera gravement contaminée par des mycotoxines. Dans un échantillon de grain, l'absence de traces de moisissures visibles sur les grains ne garantit pas que des mycotoxines sont absentes. La seule façon de savoir si des mycotoxines sont présentes est de faire une analyse à partir d'un échantillon représentatif. Par contre, il faut savoir que les mycotoxines ne sont habituellement pas réparties de façon uniforme dans un lot de grains ou un aliment.
- Au Québec, le Réseau d'avertissements phytosanitaires émet des avertissements pour aider les producteurs à mieux planifier les traitements fongicides contre la fusariose dans les céréales à paille. De tels avertissements ne sont pas émis pour le maïs-grain.
- Le recours aux fongicides ne permet pas à lui seul de prévenir l'apparition des mycotoxines dans les grains. Ils représentent un outil complémentaire pour contrôler les attaques de fusariose à des moments précis de la culture.
- Les mycotoxines sont des molécules très stables et leur niveau ne diminue pas durant l'entreposage. Si les conditions sont favorables, leur niveau peut même augmenter.
- Les mycotoxines présentes dans les grains peuvent se retrouver, parfois à des concentrations plus élevées, dans les sous-produits provenant de la transformation de ces grains (drêches, gru, son, gluten par exemple).

Recommandations :

1. Évaluer, dans le cadre du Réseau de Grandes Cultures du Québec, la sensibilité à la fusariose des hybrides de maïs disponibles sur le marché québécois, de façon à fournir des recommandations publiques sur leur sensibilité.
2. Poursuivre le travail de sélection génétique des plantes de façon à appliquer les succès connus dans l'amélioration de la résistance du blé à la fusariose, à d'autres céréales. Accentuer les efforts particulièrement pour l'orge et le triticale.
3. Encourager la collaboration entre les chercheurs et les semenciers de manière à favoriser la mise en marché d'hybrides de maïs à haut rendement mais qui possèdent également une bonne résistance génétique à la fusariose.

4. Poursuivre les travaux de recherche sur l'impact de certaines pratiques culturales (date de récolte, application de fongicides) sur la sensibilité des cultures aux infections par les moisissures et sur le contenu des récoltes en mycotoxines, particulièrement pour la production de maïs-grain.
5. Renforcer, auprès des producteurs et intervenants, la diffusion et l'application des bonnes pratiques culturales en lien avec la réduction des risques de contamination des grains et sous-produits par le mycotoxines.
6. Faire connaître aux producteurs et intervenants du domaine porcin (et des autres productions animales) les impacts négatifs de la fusariose sur les cultures ainsi que les bonnes pratiques et les efforts qui sont déployés pour y faire face.
7. Inclure, dans les priorités de recherche des centres d'expertise, gouvernements ou d'autres organismes privés ou publics impliqués en recherche au Québec et au Canada, la recherche de stratégies pouvant favoriser la production et la mise en marché de grains (et de leurs sous-produits) exempts de mycotoxines et destinés à l'alimentation humaine et/ou animale.
8. Favoriser les collaborations et la diffusion des résultats de recherche entre les équipes de recherche au Québec et dans les autres provinces.

2-Fabrication d'aliments sains pour les porcs

Constats :

- À cause des problèmes que peuvent engendrer les mycotoxines dans les élevages, plusieurs fabricants de moulées ont mis sur pied un programme de contrôle de la qualité pour les ingrédients et les moulées. Ces programmes prévoient des analyses périodiques de mycotoxines tout au long de l'année ou plus intensives lors des récoltes.
- Certains acheteurs de grains ont établi des critères de qualité et peuvent refuser des lots de grains ou en négocier le prix à la baisse, selon le cas. En 2008-2009, l'industrie de l'alimentation animale québécoise devrait utiliser 3 150 000 tonnes de maïs produit au Québec. Historiquement, 50 % de ce volume est acquis par sept acheteurs d'importance et la plupart d'entre eux investissent dans un programme d'échantillonnage et d'analyse afin de déterminer le niveau de mycotoxines. Comme ces investigations se font sur une base individuelle, les coûts sont multipliés et les résultats ne sont pas forcément rendus publics. On ne connaît donc pas officiellement ni collectivement la qualité du maïs québécois, ni celle des autres céréales produites au Québec.
- Pour aider à diminuer les impacts des mycotoxines chez les porcs, certaines publications proposent des modifications de la composition des moulées ou l'ajout d'additifs.
- Au Canada, aucun additif alimentaire n'est officiellement homologué pour contrer les mycotoxines. La plupart des produits disponibles sont approuvés comme agents liants, agents d'écoulement ou produits de fermentation.
- L'efficacité de ces produits n'est pas toujours reconnue pour les mycotoxines de la famille des trichothécènes (vomitoxine, T-2, HT-2, diacétoxyscirpénol, nivalénol) ou pour la zéaralénone qui sont des mycotoxines susceptibles de se retrouver sous nos climats. Certaines études démontrent des effets positifs, et d'autres, non.
- Malgré tout, il semble que certains fabricants d'aliments ou producteurs utilisent ces additifs périodiquement, lorsque le risque de contamination des aliments des porcs par les mycotoxines est plus grand. Aux taux d'incorporation usuels, ces produits représentent un coût variant de 2,50 \$ à 9 \$ par tonne d'aliment complet.

- Les fournisseurs se montrent très préoccupés et motivés à développer des additifs alimentaires qui pourraient s'avérer plus efficaces, mais le processus d'homologation semble long et complexe.
- Il n'y a pas encore de consensus quant à une méthode standardisée pour évaluer l'efficacité des additifs alimentaires. Chaque fournisseur propose sa méthode et il devient compliqué pour les fabricants d'aliments et les producteurs de juger de l'efficacité ou de l'inefficacité d'un additif comparativement à un autre.
- Les méthodes d'analyse *in vitro* des additifs sont les plus simples et les moins coûteuses, mais les résultats ne sont pas nécessairement corrélés aux effets observés chez les animaux.
- Les spécialistes en nutrition animale préfèrent voir des données provenant d'évaluations *in vivo* des additifs, qui sont plus représentatives de l'efficacité réelle attendue des produits sur le terrain. Ils ont noté le besoin que soit réalisé un essai *in vivo* comparant l'efficacité réelle de différents additifs alimentaires disponibles au Québec en utilisant un grain produit au Québec et naturellement contaminé par une grande concentration de mycotoxines (par opposition à un aliment contaminé par une mycotoxine synthétique). Les aliments contaminés naturellement sont plus toxiques que les aliments auxquels on inclut la même concentration de mycotoxines pures.

Recommandations :

9. Afin de diminuer les impacts négatifs des mycotoxines qui pourraient se retrouver dans les aliments des porcs, inclure la recherche de stratégies pouvant favoriser la décontamination des aliments et/ou la mitigation de leurs effets toxiques dans les priorités de recherche des centres d'expertise, des gouvernements ou d'autres organismes privés ou publics impliqués en recherche au Québec et au Canada.
10. Favoriser l'adoption de programmes de contrôle de qualité, de protocoles approuvés d'échantillonnage et d'analyse des mycotoxines dans toutes les organisations qui fabriquent ou transigent des ingrédients, des moulées et suppléments destinés à l'alimentation des porcs.
11. Favoriser les collaborations et la diffusion des résultats de recherche entre les équipes de recherche au Québec et dans les autres provinces.
12. Mettre au point une méthode uniforme et standardisée de l'évaluation de l'efficacité des additifs alimentaires.
13. Produire des données expérimentales *in vivo* sur l'efficacité des additifs alimentaires disponibles commercialement, en utilisant un grain fortement contaminé produit au Québec et qui contiendrait une combinaison de mycotoxines qui sont en mesure de se développer sous notre climat.
14. Renforcer, auprès des producteurs et intervenants, la diffusion et l'application des bonnes pratiques en lien avec la fabrication, la décontamination, l'entreposage des ingrédients et des aliments et qui permettent de diminuer les risques reliés à la présence des mycotoxines.

3-Méthodes d'analyse des mycotoxines

Constats :

- Il existe différentes méthodes d'analyse des mycotoxines : quantitatives, semi-quantitatives et subjectives. La précision, le temps d'analyse et les coûts varient d'une méthode à l'autre. Cependant, les méthodes conventionnelles d'analyse peuvent sous-estimer la concentration de certaines mycotoxines comme la vomitoxine ou la zéaralénone par exemple. Il existe des formes conjuguées de ces mycotoxines qui échappent aux méthodes conventionnelles d'analyse et qui peuvent parfois s'avérer aussi toxiques pour les animaux que les formes libres habituelles (mycotoxines masquées). De nouveaux protocoles d'analyse existent, mais ils ne sont pas encore répandus.
- Les chercheurs travaillent sur de nouvelles méthodes qui permettraient l'analyse simultanée de plusieurs mycotoxines en une seule étape. La mise au point et la diffusion de ces méthodes auraient l'avantage de diminuer le temps et la préparation requis pour effectuer les analyses tout en donnant plus de précision sur la concentration de plusieurs mycotoxines qui ne sont pas analysées de routine.
- Il y a une perte de confiance dans les méthodes d'analyse car les résultats ne corroborent pas toujours les observations faites dans les élevages (pertes de performances, prolapses, etc.)
- Les trousse de détection rapide « quick tests » n'existent que pour un nombre restreint de mycotoxines. Ces trousse sont peu coûteuses mais ne donnent pas un portrait complet de la qualité sanitaire du grain.

Recommandations :

15. Poursuivre les travaux visant à perfectionner et faire connaître les méthodes d'analyse des mycotoxines en incorporant la détection des formes conjuguées qui échappent aux analyses conventionnelles.
16. Poursuivre la mise au point des méthodes d'analyse qui détectent simultanément la présence de plusieurs mycotoxines afin de diminuer les coûts et le temps requis pour les analyses.

4-Impact des mycotoxines sur les porcs

Constats :

- Les porcs sont particulièrement sensibles aux mycotoxines. Elles peuvent affecter les performances zootechniques, les fonctions reproductrices et la santé. Les porcs seraient plus sensibles que les autres espèces.
- Les seuils de tolérance des porcs sont associés à des niveaux de mycotoxines à ne pas dépasser dans les aliments, mais des observations cliniques effectuées dans les élevages témoignent de problèmes même lorsque ces niveaux sont respectés; il est donc possible que les effets toxiques s'observent à des niveaux plus faibles que les seuils recommandés.
- Il est difficile à l'heure actuelle de déterminer avec précision les seuils de tolérance du niveau de mycotoxines dans les aliments destinés aux porcs compte tenu que les aliments sont parfois contaminés par plus d'une mycotoxine à la fois. Les seuils de tolérance recommandés à l'heure actuelle sont principalement basés sur des études portant sur des mycotoxines évaluées individuellement.

- Les mycotoxines peuvent agir en interaction les unes avec les autres et les effets nocifs pour les animaux peuvent être amplifiés lorsqu'elles agissent en synergie. Ainsi, une combinaison de plusieurs mycotoxines, à faible dose, peut avoir des effets beaucoup plus néfastes qu'une seule mycotoxine à forte dose.
- Les mycotoxines peuvent agir à tous les niveaux du système immunitaire et du système antioxydant des porcs. Elles peuvent donc influencer la réponse immunitaire de l'animal et ces changements sont responsables de leur action immunosuppressive.
- La diminution des fonctions immunitaires des porcs par les mycotoxines peut également réduire l'efficacité vaccinale (diminution du nombre d'anticorps) et thérapeutique, rendant les animaux plus susceptibles aux infections comme *E. coli* et SRRP.
- Les effets néfastes des mycotoxines sur la résistance aux maladies et l'affaiblissement du système immunitaire en général sont difficiles à reconnaître. Les signes de maladies sont souvent associés à la présence d'une infection plutôt qu'à la présence de mycotoxines qui prédisposent l'animal à l'infection. Ceci complique la détermination des seuils de tolérance.
- Nous avons une connaissance limitée des mécanismes d'absorption et des interactions des mycotoxines, de leurs formes conjuguées et des additifs alimentaires avec le système digestif des porcs.
- Pour faciliter le diagnostic des mycotoxicoses et permettre une meilleure évaluation des effets des mycotoxines sur les porcs, des méthodes d'analyse à partir d'échantillons de fluides corporels comme le sang ou l'urine sont en développement.

Recommandations :

17. Poursuivre la recherche afin de mettre au point des méthodes de diagnostic permettant la détection des effets des mycotoxines chez les porcs vivants à partir de simples échantillons de sang ou d'urine.
18. Effectuer des recherches sur l'impact de la contamination des aliments des porcs avec des mycotoxines produites par des *Fusarium*, ou d'autres moisissures présentes sous nos conditions climatiques, sur la prédisposition des porcs aux infections par le circovirus, le virus du SRRP et sur l'efficacité des vaccins administrés.
19. Poursuivre les travaux de recherche pour mieux comprendre les interactions entre les mycotoxines, les additifs alimentaires et la barrière intestinale des porcs afin de développer des stratégies effectuées pour diminuer les impacts des mycotoxines.
20. Effectuer des travaux de recherche sur les effets chez les porcs des doses sous-toxiques des mycotoxines, des effets toxiques des formes conjuguées et des interactions qui existent entre les mycotoxines de façon à permettre la révision des seuils de tolérance recommandés, pour les différents stades de croissance (porcelets, porcs et reproducteurs).
21. Faire connaître, aux producteurs et intervenants du domaine végétal ainsi qu'aux personnes impliquées dans la production de semences et dans le commerce des grains et sous-produits, les impacts négatifs des mycotoxines chez les porcs.

5-Sécurité alimentaire

Constats :

- La majorité des mycotoxines qui se retrouvent dans les aliments des humains provient des céréales, légumineuses et autres produits végétaux tandis que la contribution des aliments d'origine animale est considérée comme faible.

- Lorsque les aliments des porcs contiennent de l'ochratoxine A, la viande et certains produits de porc sont susceptibles de se retrouver contaminés par cette mycotoxine. En général, les concentrations d'ochratoxine A chez le porc sont plus élevées dans le sang, les reins et le foie. Ainsi, certaines saucisses de sang ou de foie de porc pourraient avoir des niveaux d'OTA plus élevés que d'autres produits de viande.
- Dans le cas de la vomitoxine, pour une concentration de 3 ppm dans la moulée, il semblerait qu'une courte période de temps après le retour à un aliment sain est généralement suffisante pour réduire la présence de vomitoxine dans la viande à des niveaux non détectables.
- Il est peu probable que les mycotoxines soient complètement éliminées de la chaîne alimentaire. La prévention demeure la meilleure méthode pour contrôler la croissance des moisissures et le développement possible des mycotoxines.
- Les modèles HACCP font partie intégrante des systèmes de gestion de la sécurité des aliments. Pour la gestion des risques liés à la présence des mycotoxines dans les aliments destinés aux humains, la FAO propose des lignes directrices fondées sur l'approche HACCP.
- Certains proposent un système complètement intégré de gestion des risques associés aux mycotoxines qui concerne à la fois l'alimentation animale et humaine.

Recommandation :

22. Favoriser une approche intégrée de gestion des risques liés à la présence des mycotoxines dans les produits de consommation provenant du porc, à partir de la source, ce qui inclut à la fois la production végétale, l'élevage des porcs, le commerce, la manipulation et l'entreposage des ingrédients et aliments ainsi que le secteur de la transformation des grains en sous-produits utilisés pour alimenter les porcs (usines d'éthanol et minoteries par exemple).

6-Équipes de recherche, partage de l'information et des efforts, diffusion de l'information

Constats :

- Une foule de facteurs viennent influencer la présence et l'amplitude des problèmes liés aux mycotoxines : amélioration génétique des plantes, sensibilité des plantes, date de semis, date de floraison ou d'épiaison, présence d'insectes et de rongeurs, présence de mauvaises herbes, fongicides, fertilisation, date de récolte, réglage de la machinerie, grains abîmés, rotations, travail du sol, conditions hydriques, température, humidité, espèce animale, état de santé de l'animal, entreposage et manipulation des grains et des aliments, nettoyage des silos et des trémies, ajouts d'anti-moisissures ou d'additifs alimentaires et modifications nutritionnelles.
- Malgré le fait qu'il soit connu depuis longtemps que les mycotoxines peuvent engendrer des effets néfastes chez les animaux, le secteur de l'alimentation du bétail ainsi que les producteurs céréaliers et porcins ne sont pas encore jusqu'à maintenant très bien outillés pour faire face à des problèmes chroniques ou aigus de contamination aux mycotoxines.
- Beaucoup d'information a été publiée tant du côté de la régie des cultures que du côté des effets des mycotoxines chez les animaux. De nombreux sites Internet sont accessibles et peuvent être consultés. Des bonnes pratiques ont été énoncées et peuvent être mises en place à tous les niveaux.

- Au Canada, les équipes de recherche ou organismes actuellement en place qui s'intéressent à la problématique des mycotoxines sont plus nombreux du côté végétal que du côté animal. Nous en avons recensé 18 dans le domaine végétal et 7 du côté animal.
- Il pourrait être avantageux de connaître à l'avance la qualité des grains à récolter de façon à mieux planifier la mise en marché, constituant ainsi un avantage pécuniaire pour les producteurs d'animaux et de céréales. Pour le maïs-grain, une telle approche a été mise en place en Ontario à la suite à l'épisode de contamination par la vomitoxine de 2006.
- Il y a plusieurs années au Québec, la table filière sur les grains avait déjà préconisé de créer un système d'information sur la qualité des grains. Il devait s'y greffer une forme de partage d'information (*clearing floor*), où les producteurs de grains auraient eu une meilleure idée des contraintes de gestion liées à la qualité par les utilisateurs afin d'établir en bout de ligne une valeur plus juste. Le projet n'a pas eu de suite.
- Pour minimiser les pertes liées à la problématique des mycotoxines, il serait avantageux d'accentuer la sensibilisation de tous les maillons de la chaîne : chercheurs, semenciers, céréaliculteurs, commerçants et centres de grains, fabricants d'aliments et producteurs de porcs. En utilisant une approche de partage des responsabilités, chacun pourra mettre en place des bonnes pratiques au plus grand bénéfice de tout le monde (meilleurs prix, meilleures performances).
- La mise sur pied d'un groupe de travail pluridisciplinaire composé d'experts et de chercheurs en nutrition porcine, d'un vétérinaire et de spécialistes et chercheurs du domaine végétal a permis d'aborder la problématique et de partager les efforts faits sur tous les plans à la fois. Cela a ouvert la porte à de nouvelles collaborations entre ces experts.

Recommandations :

23. Bien que plus d'effectifs et d'équipes de recherche semblent être dirigés actuellement du côté végétal au Québec, il est important de conserver ces acquis et de continuer à travailler à diminuer les problèmes à la source tout en augmentant les efforts de recherche du côté animal.
24. Maintenir en continu un comité pluridisciplinaire d'experts préoccupés par les mycotoxines.
25. Favoriser le partage de l'information sur les impacts négatifs et les coûts engendrés par la présence des mycotoxines ainsi que les efforts entrepris dans les différents domaines. Diffuser les bonnes pratiques qui doivent être mises en place de manière à ce que tous les acteurs soient conscients de leur responsabilité et puissent mettre leurs efforts en commun, au plus grand bénéfice de tous les maillons de la chaîne.
26. Mettre en place un mécanisme de diagnostic de la qualité sanitaire des récoltes, chaque année, impliquant tous les acteurs de la filière des grains et de la fabrication des aliments dans le but d'établir un portrait objectif des grains à chaque récolte. Ce diagnostic pourrait viser les grains produits localement, mais aurait avantage à s'étendre aussi aux grains importés.

Plan d'action à mettre en place

Les mycotoxines représentent une problématique qui ne peut pas être résolue uniquement par l'amélioration génétique des plantes, par le respect de bonnes pratiques de culture, de manipulation, d'entreposage ou d'élevage, ni par l'ajout d'additifs alimentaires dans les moulées des porcs. Une approche intégrée végétale-animale-commerce est nécessaire car les mycotoxines ne pourront jamais être éliminées complètement de la chaîne alimentaire.

Lopez-Garcia *et al.* (1999) ont proposé une telle approche intégrée de gestion des risques et des dangers associés aux mycotoxines dans la chaîne alimentaire. Nous nous sommes inspirés de cette approche pour élaborer un plan d'action pour réduire les impacts négatifs des mycotoxines chez les porcs. Ainsi, les actions prioritaires à mettre en place pour diminuer les impacts négatifs des mycotoxines en production porcine devraient s'articuler autour des grands axes suivants :

- A- Production de grains et de sous-produits sains
- B- Fabrication d'aliments sains pour le bétail
- C- Établissement du niveau de contamination des ingrédients et amélioration des méthodes d'analyse des mycotoxines
- D- Détermination des seuils de tolérance des porcs
- E- Partage de l'information, éducation des producteurs et des intervenants et mise en commun des efforts

À court et à moyen termes, il convient donc de :

1. Renforcer la diffusion et l'application des bonnes pratiques visant la réduction de la contamination en mycotoxines des grains, sous-produits et aliments destinés aux porcs. Tous les acteurs doivent être ciblés : producteurs de céréales, producteurs de porcs, fabricants d'aliments, personnes impliquées dans le commerce, l'entreposage et la manutention des grains, semenciers, conseillers et intervenants du secteur végétal et de la production animale :
 - a. par la mise sur pied d'un comité permanent d'experts de plusieurs disciplines
 - b. par la mise à jour régulière de la page « Mycotoxines » du site Web du CDPQ
 - c. par l'organisation d'une journée d'information sur les mycotoxines destinée à l'ensemble des acteurs
 - d. par la mise en place d'un mécanisme de diagnostic de la qualité sanitaire des récoltes de grains, chaque année, tant pour les grains locaux que pour les grains importés
 - e. par la présentation de conférences dans les journées de producteurs
 - f. par la diffusion des résultats du présent projet
2. Inclure, dans les priorités de recherche des centres d'expertise, de gouvernements ou d'autres organismes privés ou publics impliqués en recherche au Québec et au Canada, la recherche de stratégies pouvant favoriser la production et la mise en marché de grains (et de leurs sous-produits) exempts de mycotoxines et la recherche de stratégies pouvant favoriser la décontamination des aliments et/ou la mitigation de leurs effets toxiques. Il est donc important de sensibiliser toutes les instances qui établissent les priorités de recherche :
 - a. par la présentation des constats et recommandations aux organisations ciblées
 - b. par des représentations auprès des associations de producteurs de porcs et des céréales

- c. par la présentation des constats et recommandations aux tables filières concernées
3. Mettre au point une méthode uniforme et standardisée de l'évaluation de l'efficacité des additifs alimentaires et produire des données expérimentales *in vivo* sur l'efficacité des additifs alimentaires disponibles commercialement, en utilisant un grain fortement contaminé produit au Québec et qui contiendrait une combinaison de mycotoxines qui sont en mesure de se développer sous notre climat :
 - a. par la réalisation d'un projet de recherche visant la détermination d'une méthode standard et uniforme mesurant l'efficacité des additifs alimentaires
 - b. par la mise sur pied et la réalisation d'une étude comparative des additifs, basée sur le protocole standard mis sur pieds
 4. Poursuivre les travaux visant à développer ou préciser les bonnes pratiques en lien avec la production de grains sains :
 - a. par la poursuite des efforts engagés sur l'amélioration génétique de la résistance des céréales et du maïs aux infections par les moisissures
 - b. par la mise sur pied et la réalisation de projets visant la détermination de la sensibilité à la fusariose des hybrides de maïs disponibles commercialement
 - c. par la réalisation de travaux sur l'impact des méthodes culturales sur le contenu en mycotoxines des grains produits au Québec
 5. Effectuer des travaux de recherche sur les effets chez les porcs des doses sous-toxiques des mycotoxines, des effets toxiques des formes conjuguées et des interactions qui existent entre les mycotoxines de façon à permettre la révision des seuils de tolérance recommandés :
 - a. par le développement de nouvelles méthodes de diagnostic des mycotoxicoses chez les porcs vivants, à partir d'échantillons de sang ou d'urine
 - b. par la réalisation d'un projet sur les impacts des mycotoxines présentes au Québec sur la prédisposition des porcs aux infections par le circovirus, le virus du SRRP et sur l'efficacité des vaccins administrés
 - c. par la réalisation de projets visant à mieux comprendre les interactions entre les mycotoxines et la barrière intestinale des porcs

Nous sommes convaincus que ces actions profiteront, non seulement aux producteurs de porcs, mais également aux producteurs de grains et probablement aussi aux producteurs d'autres productions animales également touchés par la problématique des mycotoxines.

Conclusion

Nous l'avons vu et démontré tout au long de ce projet, la question des mycotoxines implique toute la chaîne de production, même avant que les semences soient mises en terre, pour produire les grains qui serviront à nourrir les porcs. L'approche HACCP est souvent proposée lorsqu'on parle de salubrité et de sécurité alimentaire et nous croyons que les actions futures devraient s'inspirer d'une telle approche. La coordination des efforts investis par toute la filière, incluant les producteurs céréaliers, les fabricants d'aliments, les producteurs de porcs et les personnes impliquées dans la production de semences et dans le commerce des grains et des sous-produits céréaliers utilisés en alimentation animale, est absolument nécessaire si un impact majeur est souhaité; aucun maillon n'aura la prétention de parvenir à régler à lui seul la problématique.

Plusieurs des recommandations émises tournent autour de la poursuite et de la mise en commun des efforts ou de la réalisation de nouveaux travaux de recherche. Depuis longtemps, les entreprises impliquées en alimentation animale (fabricants et fournisseurs), les organisations de recherche, les fournisseurs de semences, les centres d'expertise, les organismes gouvernementaux et les associations de producteurs viennent appuyer les efforts par leurs travaux de recherche et de diffusion. Bien que plus d'effectifs et d'équipes de recherche semblent être dirigées actuellement du côté végétal au Québec, il est important de conserver ces acquis et de continuer à travailler à diminuer les problèmes à la source. Il faut aussi renforcer le travail effectué du côté animal car malgré toutes les nouvelles connaissances, la présence de mycotoxines ne peut pas être enrayée totalement et des pertes économiques sont encourues dans les élevages. Les producteurs de grains aussi y perdent au compte et les fabricants d'aliments doivent dépenser des sommes importantes pour gérer la présence des mycotoxines.

Depuis le début de 2009, un conseil de direction formé par le Conseil canadien du porc (CCP) procède à la rédaction d'une proposition nationale pour supporter la création d'une grappe d'expertise agroscientifique en production porcine. Cette grappe obtiendrait son financement par l'intermédiaire d'une nouvelle initiative fédérale de soutien aux grappes scientifiques (*Agri-Science Cluster Initiative*). Par cette grappe, des chercheurs du Québec et du Canada proposeront des projets de recherche en collaboration avec l'industrie, les universités et les institutions gouvernementales. Dans la grappe porcine, huit thèmes de recherche ont été ciblés et les mycotoxines figurent parmi ceux-ci. Les projets proposés devront, dans l'horizon des quatre ans prévus au programme, générer des impacts positifs sur la compétitivité des producteurs de porcs canadiens. À l'heure actuelle, un comité a été formé pour développer les propositions à intégrer à la grappe et deux membres du comité d'experts du présent projet en font partie (Martin Lessard et Marie-Josée Turgeon). Nous avons également été mis au courant d'un projet de grappe d'expertise agroscientifique en production céréalière. Malgré le fait que nous ne connaissions pas les activités qui seront présentées dans cette grappe, il est possible que des actions spécifiquement liées à la lutte aux maladies des végétaux (incluant la fusariose) puissent faire partie des projets présentés par ce groupe.

Un groupe de chercheurs d'AAC, de l'Université Laval et de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal ont préparé un projet de développement d'une méthode d'analyse standardisée pour mesurer l'efficacité des additifs alimentaires employés dans les aliments des porcs. Le projet a été soumis à la grappe d'expertise agro scientifique en production porcine et est en attente de financement.

Deux chercheurs du CEROM ont également soumis un projet afin d'obtenir le financement par l'intermédiaire de la grappe d'expertise agroscientifique en production porcine, pour déterminer les niveaux de mycotoxines (vomitoxine et autres mycotoxines d'importance) dans les échantillons de maïs récoltés dans les parcelles du *Réseau de Grandes Cultures du Québec*. Le projet prévoit aussi la vérification de l'efficacité de traitements fongiques préventifs sur la diminution des contenus en mycotoxines du maïs-grain. La réalisation de ce projet serait une avancée importante permettant de mieux connaître le potentiel des hybrides de maïs disponibles au Québec, tout en démontrant les efforts des compagnies de semences à mettre sur le marché des hybrides performants qui sont aussi dotés d'une bonne tolérance aux maladies fongiques.

Si les initiatives des grappes porcines et céréales sont appuyées, cela pourrait s'avérer positif pour soutenir le travail des chercheurs et relancer l'intérêt autour de la recherche sur les mycotoxines. Par contre, d'autres voies de financement devront également être envisagées pour permettre la mise en place d'actions récurrentes et structurantes et la poursuite des efforts dans la lutte aux mycotoxines au delà de la période des quatre années prévues pour le financement des grappes agroscientifiques. Le thème des mycotoxines doit figurer parmi les priorités de recherche et d'actions des financiers. Beaucoup de travaux sont effectués par les fournisseurs d'additifs alimentaires et par les semenciers. Ces travaux sont importants et nous désirons souligner le dynamisme de ces entreprises. Par contre, la recherche publique doit continuer et même s'accroître, car la question des mycotoxines relève de la salubrité des aliments et touche la santé des animaux autant que celle des humains.

Nous avons aussi souligné l'importance de mieux informer tous les acteurs, incluant les producteurs, des contraintes économiques, des efforts réalisés et des bonnes pratiques à adopter pour diminuer les impacts des mycotoxines. A cet effet, une journée d'information aura lieu le 1^{er} décembre 2009 à Drummondville. Cette journée est organisée par l'AQINAC avec la collaboration du CDPQ, d'experts du CEROM, de vétérinaires et de gens de l'industrie.

La création de la page « Mycotoxines » sur le site Web du CDPQ permet de rassembler des documents techniques sur les bonnes pratiques pour l'ensemble de la chaîne. Nous espérons que les experts des différents domaines qui nous ont fourni ces documents puissent continuer de nous faire connaître leurs publications, afin que la diffusion en soit élargie.

Finalement, quant à la portée du travail effectué dans ce projet et du présent rapport, nous souhaitons qu'il alimente les discussions et facilite les collaborations et la réalisation de projets de recherche au Québec. Tout au long du projet, nous avons été en mesure de constater à quel point le besoin était grand pour les intervenants des différents secteurs de mieux comprendre la problématique, les contraintes et les impacts des mycotoxines dans les autres maillons de la chaîne. Le travail en comité pluridisciplinaire et les nombreux contacts avec les experts des autres domaines auront eu le mérite de faire grandir le réseau de contacts des personnes qui ont participé ou qui ont été consultées et de faire naître des collaborations ce qui s'avère un avantage majeur pour la poursuite des travaux et la mise en commun des efforts. Nos objectifs initiaux sont donc atteints. Il faut maintenant que toutes les actions proposées, de même que les démarches initiées en cours de route se concrétisent. Le CDPQ est heureux d'avoir contribué à ce diagnostic et au transfert des connaissances nécessaires au développement durable des productions québécoises.

Références

- AFSSA. 2006. Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale : rapport synthétique. [En ligne]. <http://www.afssa.fr/Documents/RCCP-Ra-Mycotoxines.pdf>
- AGÉCO. 2005. Plan stratégique 2005-2009 : Table filière porcine du Québec : version finale. Québec 42 p.
- Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). 2009. Directive réglementaire RG-1 Chapitre 7, section 7.1 Mycotoxines dans les aliments du bétail. (anciennement T-3-116). [En ligne] http://www.inspection.gc.ca/francais/animal/feebet/regdir/sect7_1f.shtml
- Agridea. 2008. Céréales - Mycotoxines. [En ligne]. <http://www.agridea-lausanne.ch/files/4.2.53-54.pdf>
- Alberta Pork. 2002. Use of mold inhibitors. [En ligne]. <http://www.albertapork.com/news.aspx?NavigationID=1728>
- Atkins, D. et Norman, F. 1998. Mycotoxins and food safety. Nutrition & Food Science, 4/5 : 260-266.
- Arvalis, Institut du végétal. 2007. Mycotoxines de fusarium : le respect des limites réglementaires devient une nouvelle condition d'accès au marché. Conférence de presse du 25-01-07, Maïs et qualité sanitaire, Paris. [En ligne]. http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/fichier/communiqu/347_DossierPresse.pdf
- Avantaggiato, G., Havenaar, R. et A. Visconti. 2007. Assessment of the multi-mycotoxin-binding efficacy of a carbon/aluminosilicate-based product in an in vitro gastrointestinal model. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(12) : 4810-4819.
- Belleau, L. 2009. Étude sur le coût de production des entreprises porcines de type naisseur-finisserieur en 2007 au Québec. Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (CECPA). Québec, 98 p.
- Benbrook, C.M. [2005]. Breaking The Mold - Impacts Of Organic And Conventional Farming Systems On Mycotoxins In Food And Livestock Feed : an organic center state of science review. [En ligne]. http://www.organic-center.org/reportfiles/Mycotoxin_SSR.pdf
- Berger, F. 2005. Fusariotoxines : hiérarchiser la prise de risque. Porc magazine, novembre(393) : 74-77.
- Berthiller, F., Dall'Asta, C., Schuhmacher, R., Lemmens, M., Adam, G. et R. Krska. 2005. Masked mycotoxins : determination of a deoxynivalenol glucoside in artificially and naturally contaminated wheat by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(9) : 3421-3425.
- Berthiller, F., Schuhmacher, R., Buttinger, G et Krska, R. 2005. Rapid simultaneous determination of major type A- and B-trichothecenes as well as zearalenone in maize by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1062(2) : 209-216.

Binder, E.M. 2007. Managing the risk of mycotoxins in modern feed production. Animal feed science and technology, 133(1-2) : 149-166.

Biomin. S.d. Biomin Research and Development. [En ligne].
[http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/\(ynDK_contentByKey\)/\\$9378E2C54B9FDDECC125723A0032BE0B](http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/(ynDK_contentByKey)/$9378E2C54B9FDDECC125723A0032BE0B)

Biomin. S.d. Effets des mycotoxines. [En ligne].
[http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/\(ynDK_contentByKey\)/\\$BF92C4C842BB6755C1257249003A3176?Open&nav=expand%3AProduits%5CMycotoxines%5CMycotoxicooses%5CTruie%3Bactive%3AProduits%5CMycotoxines%5CMycotoxicooses%5CTruie](http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/(ynDK_contentByKey)/$BF92C4C842BB6755C1257249003A3176?Open&nav=expand%3AProduits%5CMycotoxines%5CMycotoxicooses%5CTruie%3Bactive%3AProduits%5CMycotoxines%5CMycotoxicooses%5CTruie)

Biomin. S.d. Pig : mycotoxins in general. [En ligne].
http://www.mycotoxins.info/myco_info/animpi.html

Biomin. s.d. Outil d'évaluation du risque de mycotoxicose en production porcine. Truies et cochettes.

Biomin. S.d. Que sont les mycotoxines ? [En ligne].
[http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/\(ynDK_contentByKey\)/\\$4E37DCF524CA8CF1C12572480053F3C4?Open&nav=expand%3AProduits%5CMycotoxines%5CFAQs%3Bactive%3AProduits%5CMycotoxines%5CFAQs](http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/(ynDK_contentByKey)/$4E37DCF524CA8CF1C12572480053F3C4?Open&nav=expand%3AProduits%5CMycotoxines%5CFAQs%3Bactive%3AProduits%5CMycotoxines%5CFAQs)

Biomin. 2008. World Nutrition Forum. Autriche. Conférences du 17 au 19 septembre 2008.

Biomin. S.d. Biomin – mycotoxin survey program 2008. Newsletter. Vol. 7, No. 71 édition spéciale.

Blandino, M., Reyneri, A. et F. Vanara. 2007. Influence of nitrogen fertilization on mycotoxin contamination of maize kernels. Crop protection (27) : 222-230.

Bouhet, S. et I. Oswald. 2005. The effects of mycotoxins, fungal food contaminants, on the intestinal epithelial cell-derived innate immune response. Veterinary Immunology and Immunopathology, 108(1/2) : 199-209.

Cargill. 2006. The MycoBMP (Best management practices). [En ligne]
<http://www.cargillpromote.com/Screens/Solutions/GrainFeedPreservation/ServiceTool.aspx>.

Ceballos, L. et G. Kastler. 2007. Les mycotoxines dans l'agriculture. [En ligne].
www.amisdelaterre.org/Les-mycotoxines-dans-l-agriculture.html

Centre du développement du porc du Québec inc. (CDPQ). 2009. Principaux paramètres de base. Mensuel Porc. p. 7

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 2005. Analysez vos grains pour détecter la présence de vomitoxine. [En ligne].
<http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/navigation.aspx?r=analysez%20vos%20grains>

Champeil, A., Dore, T. et J.F. Fourbet. 2004. Fusarium head blight : epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by Fusarium in wheat grains. Plant Science, 166(6) : 1389-1415.

- Charmley, L.L. et H.L. Trenholm. 2000. Fiche technique : les mycotoxines. Agence canadienne d'inspection des aliments. [En ligne].
<http://www.inspection.gc.ca/francais/animal/feebet/pol/mycof.shtml>
- Comeau, A., Langevin, F., et F. Eudes. S.d. Mechanisms of resistance and tolerance to FHB. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Québec. Canada. 17p.
- Comeau, A., Langevin, F. et Y. Dion. 2008. Nouvelles méthodes et nouveaux développements pour l'obtention de cultivars de blé et de céréales. Journée d'information scientifique grandes cultures. CRAAQ. 2 p.
- La Commission canadienne des grains (CCG). 2003. Seuils de tolérances des grades s'appliquant aux grains fusariés et limites recommandées pour le DON. Utilisation de grain fusariés en alimentation animale. Recommandations - Agriculture Manitoba. [En ligne].
<http://grainscanada.gc.ca/guides-guides/don/don-1-fra.htm#c>
- La Commission canadienne des grains (CCG). 2009. Manuel des systèmes d'échantillonnage et du Guide d'approbation. Canada. 1^{er} janvier 2009.
- Devegowda, G. et T.N.K. Murthy. 2005. Mycotoxins : their effects in poultry and some practical solutions . Dans : The Mycotoxin blue book. United Kingdom : Nottingham University Press ; 25-56.
- DeWolf, E., Kuldau, G., Lipps, P., Munkvold, G., Vincelli, P., Woloshuk, C. et D. Mills. S.d. Moldy grains, mycotoxins and feeding problems. The Ohio State University. [En ligne].
<http://www.oardc.ohio-state.edu/ohiofieldcropdisease/Mycotoxins/mycopagepreventative.htm>
- Diaz, D.E. et T.K. Smith. 2005. Mycotoxin sequestering agents : practical tools for the neutralisation of mycotoxins. Dans: The Mycotoxin Blue Book. United Kingdom : Nottingham University Press ; 323-339.
- Diekman, M.A., Coffey, M.T., Purkhiser, E.D., Reeves, D.E. et L.G. Young. 2006. Mycotoxins and Swine Performance. Factsheet : pork information gateway, PIG 07-06-05.
- Dilkin, P., Zorzete, P., Mallmann, C.A., Gomes, J.D.F., Utiyama, C.E., Oetting, L.L. et B. Corrêa. 2003. Toxicological effects of chronic low doses of aflatoxin B1 and fumonisin B1-containing *Fusarium moniliforme* culture material in weaned piglets. Food and Chemical Toxicology, 41(10) : 1345-1353.
- Dion, Y., Lauzon, M et S. Rioux. 2007. Fusariose de l'épi du blé et de l'orge – intervention avec un fongicide. CÉROM, Bulletin technique : phytopathologie / Régie des cultures. No 2.03
- Dion, Y., M. Lauzon et S. Rioux. 2009. Fusariose de l'épi du blé et de l'orge – Les stades d'intervention avec un fongicide. CEROM. Réseau d'avertissements phytosanitaires du Québec, Bulletin d'information no 16, 15 juin 2009
- Dixon, R.C. et P.B. Hamilton. 1981. Effect of feed ingredients on the antifungal activity of propionic acid. Poultry Science, 60 : 2407-2411.
- Doyon, M. 2008. Discussion sur un système de recueil et de diffusion de l'information dans le secteur des cultures commerciales. Québec, Université Laval, 12 p.

- Ensley, S. 2009. Mycotoxin testing can be perplexing. National Hog Farmer, June 8. [En ligne]. <http://nationalhogfarmer.com/health-diseases/0608-mycotoxin-testing-perplexing/>
- Étienne, M. 2007. Effets biologiques et physiologiques d'une mycotoxine, le vomitoxine (DON), chez le porc. Journées de la Recherche Porcine en France, 39 : 407-418.
- Etienne, M. et Y. Wache, 2008. Biological and physiological effects of deoxynivalenol (DON) in the pig. Dans: Mycotoxins in farm animals. Kerala, India, Transworld Research Network ; 113-130.
- FAO. 1997. Code d'usages concernant la réduction de l'aflatoxine B₁ dans les matières premières et les aliments d'appoint destinés au bétail laitier. [En ligne]. <http://www.fao.org/docrep/meeting/005/W5122F/w5122f14.htm>
- FAO et IAEA. 2001. Manual on the application of the HACCP system in mycotoxin prevention and control. Rome. 114 p.
- FAO. 2004. Réglementations relatives aux mycotoxines dans les produits d'alimentation humaine et animale, à l'échelle mondiale en 2003. Étude FAO - Alimentation et nutrition, paper 81. 183 p.
- La Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ). 2008. Offre et demande de l'avoine au Québec. 1^{er} octobre 2008.
- La Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ). 2009. Offre et demande de maïs au Québec. [En ligne]. <http://www.fpccq.qc.ca/Marches/Statistiques.aspx>
- La Financière agricole du Québec (FADQ). 2009. Guide des normes reconnues par la Financière agricole en matière de pratiques culturales. Céréales, Maïs-grain, Oléagineux. [En ligne]. http://www.fadq.qc.ca/fileadmin/cent_docu/publ/ctie_agri/asrec/cmo_2009.pdf
- La Financière agricole du Québec (FADQ). 2009. Indemnités de l'assurance récolte pour 2005-2008. Données extraites le 27 mars 2009.
- La Financière agricole du Québec (FADQ). 2009. Tableau résumé d'information administrative et économique – Programme d'assurance stabilisation productions animales. Mise à jour du 14 avril 2009.
- Food Standards Agency. 2007. Code of good agricultural practice for the reduction of mycotoxins in UK cereals. [En ligne]. <http://www.foodstandards.gov.uk/multimedia/pdfs/mycotoxincop2007.pdf>
- Fortin, S. et J. Quenneville. 2002. Ventilateurs et systèmes de ventilation pour les grains. CEROM. Bulletin technique, No 5.05 : 6 p.
- Fortin, S. et J. Quenneville. 2002. Vent-Expert : Logiciel de calculs des systèmes de ventilation des grains. Logiciel. [En ligne]. http://cerom.qc.ca/3_0/3_7.html
- Fortin, S. 2003. La ventilation : un outil pour la conservation des grains. Notes, No 03.01 : 3 p.
- Fortin, S. 2008. La ventilation d'automne en cinq points. Notes, No 06.06 : 2 p.

- Fournier, A et Lemelin, M. 2000. Du Maïs à surveiller. [En ligne].
<http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/Documents/bov36-2.htm>
- Friend, D., Thompson, B., Trenholm, H., Boermans, H., Hartin, K. et P. Panich. 1992. Toxicity of T-2 toxin and its interaction with deoxynivalenol when fed to young pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 72(3) : 703-711.
- Galvano, F., Ritieni, A., Piva, G. et A. Pietri. 2005. Mycotoxins in the human food chain. Dans: *The Mycotoxin Blue Book*. United Kingdom : Nottingham University Press ; 187-224.
- Grosjean, F., Callu, P., Pinton, P., Skiba, F., Barrier-Guillot, B. et I.P. Oswald. 2003. Quantification des effets de la consommation de déoxynivalénol (DON) par le porcelet sevré. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 35 : 443-450.
- Guerif, J., Richard, G., Dürr, C., Machet, J.M., Recous, S. et J. Roger-Estrade. 2001. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. *Soil & Tillage Research*, 61(1-2) : 13-32.
- Hamelin, É. 2004. Forum Biomin France : les mycotoxines en tête d'affiche. *Porc magazine*, Avril, 37(6) : 78-81.
- Harvey, R.B., Huff, W., Kubena, L.F. et T.D. Phillips. 1989. Evaluation of diets cocontaminated with aflatoxin and ochratoxin fed to growing pigs. *American Journal of Veterinary Research*, 50(8) : 1400-1405.
- Harvey, R.B., Kubena, L.F., Huff, W.E., Corrier, D.E., Rottinghaus, G.E. et T.D. Phillips. 1990. Effects of treatment of growing swine with aflatoxin and T-2 toxin. *American Journal of Veterinary Research*, 51(10) : 1688-93.
- Harvey, R.B., Kubena, L.F., Elissalde, M.H., Corrier, D.E., Huff, W.E., Rottinghaus, G.E. et B.A. Clement. 1991. Cocontamination of swine diets by aflatoxin and diacetoxyscirpenol. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 3(2) : 155-160.
- Harvey, R.B., Kubena, L.F., Elissalde, M.H., Rottinghaus, G.E. et D.E. Corrier. 1994. Administration of ochratoxin A and T-2 toxin to growing swine. *American Journal of Veterinary Research*, 55(12) : 1757-1761.
- Harvey, R.B., Edrington, T.S., Kubena, L.F., Elissalde, M.H. et G.E. Rottinghaus. 1995. Influence of aflatoxin and fumonisin B1-containing culture material on growing barrows. *American Journal of Veterinary Research*, 56(12) : 1668-1672.
- Harvey, R.B., Edrington, T.S., Kubena, L.F., Elissalde, M.H., Casper, H.H., Rottinghaus, G.E. et J.R. Turk. 1996. Effects of dietary fumonisin B1-containing culture material, deoxynivalenol-contaminated wheat, or their combination on growing barrows. *American Journal of Veterinary Research*, 57(12) : 1790-1794.
- Hayard, G., Fillion, R., Richard, Y., Dufour, V., Bachand, C. et comité valideurs (AQINAC). 2006. Estimation de la consommation des principaux grains en production porcine. Direction des études économiques et d'appui aux filières. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 5 p.

- Hilborn, D. 1987. L'aération des grains. Fiche technique. Ministère de l'Agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales (OMAFRA). Ontario. [En ligne].
<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/87-053.htm>
- Home-Grown Cereals Authority (HGCA). 2007. Guidelines to minimise risk of fusarium mycotoxins in cereals. [En ligne].
http://www.hgca.com/document.aspx?fn=load&media_id=3506&publicationId=3848
- House, J. S.d. In search of a magic bullet! Strategies for dealing with fusarium contaminated grains in the swine industry. Department of Animal science. University of Manitoba. 9 p.
- Jones, F.T., Genter, M.B., Hagler, W.M., Hansen, J.A., Mowrey, B.A., Poore, M.H. et L.W. Whitlow. 2007. Understanding and coping with effects of mycotoxins in livestock feed and forage. NCSU. [En ligne].
http://www.ces.ncsu.edu/disaster/drought/Understanding_mycotoxins.pdf
- Jouany, J.P. 2007. Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 137(3/4) : 342-362.
- Laboratoire Biosol. 2004. Les mycotoxines. [En ligne].
http://biosol.esitpa.org/liens/myco_2004/index.htm
- Lauzon, M., Dion, Y. et S. Fortin. 2007. L'utilisation de voies d'accès pour l'application de fongicides. CÉROM, Bulletin technique : phytopathologie / Régie des cultures. No 2.05/3.07.
- Lauzon, M., Dion, Y. et S. Rioux. 2007. Fusariose de l'épi chez le blé et l'orge. CÉROM, Bulletin technique : phytopathologie, No 2.01.
- Lawlor, P. et P. Lynch. 2001. Mycotoxins in pig feeds. 1 : Source of toxins, prevention and management of mycotoxicosis. *Irish Veterinary Journal*, 54(3) : 117-120.
- Le Bars, J. 2000. Gestion des risques mycotoxiques dans l'alimentation animale. Conférence de nutrition de l'Est du Canada, 25 et 26 mai, Montréal : 225-246.
- Ledoux, D.R. et G.E. Rottinghaus. 2007. In vitro and in vivo testing of adsorbents for detoxifying mycotoxins in contaminated feedstuffs. [En ligne].
http://www.engormix.com/in_vitro_and_in_e_articles_700_MYC.htm
- Lemmens, M., Scholz, U., Berthiller, F., Dall'Asta, C., Koutnik, A., Schuhmacher, R., Adam, G., Buerstmayr, H., Mesterházy, A., Krska, R., et P. Ruckebauer. 2005. The ability to detoxify the mycotoxin deoxynivalenol colocalizes with a major quantitative trait locus for fusarium head blight resistance in wheat. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. Volume 18. No. 12 : 1318-1324.
- Liu, Y., F. Walker, B. Hoeglinger et H. Buchenauer. 2005. Solvolysis procedures for the determination of bound residues of the mycotoxin deoxynivalenol in fusarium species infected grain of two winter wheat cultivars preinfected with barley yellow dwarf virus. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53(17) : 6864-6869.
- Lopez-Garcia R., Park, D.L. et T.D. Phillips. 1999. Integrated Mycotoxin Management Systems. Conference on mycotoxins, Tunis, Tunisia, 3-6 march, 15 p.

- Maïsadour semences. 2009. Qualité sanitaire du maïs & Mycotoxines. [En ligne]. <http://www.maisadour-semences.fr/maitriser-les-fusarium-gestion-du-risque-mycotoxines/guide-culture-mais.php?menu=pratique&page=mycotoxines>
- Mesterhazy, A., Buerstmayr, H., Toth, B., Lehoczki-Krsjak, Sz., Szabo-Hevér, A. et M. Lemmens. S.d. An improved strategy for breeding FHB resistant wheat must include Type I resistance. Cereal research non-profit company. Hongrie. Présenté au 5^e Colloque canadien sur la fusariose. Winnipeg, Manitoba, Novembre 2007.
- Ministère de l'agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales (OMAFRA). 2006. Corn ear moulds and mycotoxins. [En ligne]. (<http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/field/news/croppest/2006/21cpo06a1.htm>). mise à jour du 6 novembre 2006.
- Ministère de l'agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales (OMAFRA). 2008. CropPest Ontario [En ligne]. (<http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/field/news/croppest/2008/14cpo08.htm>).
- Ministère de l'agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales (OMAFRA). 2008. Corn ear mould and DON survey results for 2008. [En ligne] (<http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/field/news/croppest/2008/14cpo08a1.htm>).
- Naresh M. et D. Aldred. 2007. Post-harvest control strategies : minimizing mycotoxins in the food chain. International Journal of Food Microbiology, 119(1/2) : 131-139.
- Oswald, I.P. 2006. Facteur alimentaires affectant l'immunité : le cas des mycotoxines. [En ligne]. <http://www.editionsduboisbaudry.fr/docs/pm/complements/2006-06/isabelle.pdf>
- Oswald, I.P. 2007. Effets immunosuppresseurs des mycotoxines chez le porc. Journées de la Recherche Porcine en France, 39 : 419-426.
- Osweller, G.D. 2006. Mycotoxins. Dans: Diseases of swine. Ames, Iowa: Iowa State University Press : 731-742.
- Pageau, D., Lafond, J., Lajeunesse, J. et M.E. Savard. 2008. Impact du précédent cultural et de la fertilisation azotée sur la teneur en déoxynivalénol chez l'orge. Journal of Plant Pathology. (30) : 397-403.
- Pickseed Eastern Canada. 2009. Gestion de la résistance aux insectes. [En ligne]. http://www.pickseed.com/EstCanada/hybridCorn/Insect_Strategies.html
- Pickseed Eastern Canada. 2009. Traitements de semence. [En ligne]. http://www.pickseed.com/EstCanada/hybridCorn/doc/treatment_fr.pdf
- Poilvet, D. 2005. Mycotoxines, des recommandations plutôt que des obligations. Réussir porcs, décembre(122) : 40-41.
- Pollmann, D.S., B.A. Koch, L.M. Seitz, H.E. Mohr et G.A. Kennedy. 1985. Deoxynivalenol-contaminated wheat in swine diets. Journal of Animal Science, 60(1) : 239-247.
- Ratcliff, J. 2002. The role of mycotoxins in food and feed safety. AFMA's symposium on "The role of animal feed in food safety", 7 p.

Régie des marchés agricoles et alimentaires du Québec (RMAAQ). S.d. Demande d'analyse pour des fins autres que le classement. Québec : Formulaire [En ligne].

www.rmaa.qc.ca

Régie des marchés agricoles et alimentaires du Québec (FMAAQ). 2009. Liste des laboratoires d'analyse de grains. [En ligne].

http://www.rmaa.qc.ca/fileadmin/DocuCentre/Documents/SecteurActivite/Grains/Fournisseurs/Liste_lab analyse.pdf

Reid, L. 2003. Mise au point des lignées de maïs résistantes à la fusariose de l'épi. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa.

Réseaux Grandes Cultures du Québec (RGCQ). 2008. Résultats 2008 et recommandations 2009 des RGCQ. 31 p.

Rioux, S., Pouleur, S. et F. Langevin. 2003. Comment réduire les risques de fusariose chez l'orge. Québec : CRAAQ. [En ligne]. <http://pub.craaq.qc.ca/Article.pdf>

Rioux, S., Dion, Y. et M. Lauzon. 2006. Comment réduire l'impact de la fusariose chez le blé. Journées des grandes cultures, Montérégie-Ouest, Saint-Rémi-de-Napierville, 5 décembre, 5 p.

Rioux, S. et S. Fortin. 2008. Influence du mode et du temps de récolte sur le développement de la vomitoxine (DON) chez l'orge. Journée d'information des grandes cultures. CRAAQ. 2008. [En ligne].

http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Collmai08_resumes_conf.pdf

Rioux, S. 2009. Comment prévenir le développement des mycotoxines? [En ligne]. <http://blogdemalika.bloguez.com/blogdemalika/534516/Comment-pr-venir-le-d-veloppement-des-mycotoxines->

Santin, E. 2005. Mould growth and mycotoxin production. Dans: The Mycotoxin Blue Book. United Kingdom : Nottingham University Press : 225-234.

Schaafsma, A.W., Tamburic-Ilinic, L., Miller, J.D. et D.C. Hooker. 2001. Agronomic considerations for reducing deoxynivalenol in wheat grain. Canadian Journal of Plant Pathology, 23 : 279-285.

Schaafsma, A.W. et Limay-Rios, V. 2008. Learning from 2006 to reduce impacts of fusarium epidemics to stakeholders of the corn industry. Ontario. 28th Annual Centralia Swine Research Update. Conférence présentée le 28 janvier 2009.

Surai, P.F. et J.E. Dvorska. 2005. Effects of mycotoxins on antioxidant status and immunity. Dans: The Mycotoxin Blue Book. United Kingdom : Nottingham University Press, p. 93-137.

Surai, P.F. et M. Mezes. 2005. Mycotoxins and immunity : theoretical consideration and practical applications. Praxis Veterinaria, 53(1/2) : 71-88.

Swiss Granum. 2008. Recommandations de la branche pour prévenir les risques de mycotoxines sur les grains de céréales. [En ligne].

http://www.sgpv.ch/fspc/spaw2/uploads/documents/3df3_F_vorbeugung_mykotoxine08.pdf

- Taranu, I., Marin, D., Pascale, F., Habeanu, M., Hebean, V., Bailly, J.D. et I.P. Oswald. 2003. Effet d'une mycotoxine, la Fumonisine B1, sur la réponse immunitaire vaccinale chez le porcelet. Journées de la Recherche Porcine en France, 35 : 451-455 .
- Taylor, D.R. 1999. Mycotoxin binders : what are they and what makes them work? Feedstuffs, January 1841-1845.
- Teich, A.H. et J.R. Hamilton. 1985. Effect of cultural practices, soil phosphorus, potassium, and pH on the incidence of fusarium head blight and deoxynivalenol levels in wheat. Applied and Environmental Microbiology, 49(6) : 1429-1431.
- Tremblay, G. et S. Rioux. 2008. Impact de la source d'azote sur diverses variables agronomiques et sur l'incidence de la fusariose de l'épi sur 10 cultivars de blé de printemps. Notes, (08.04)
- Velman, C. 2004. Mycotoxins – a menace to pig production. Proceedings of the 18th IPVS Congress, Hamburg. Allemagne. Vol. 2.
- Wikipédia. 2009. Moisissure. [En ligne]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/moisissure>
- Whitlow, L.W., et W.M. Hagler. 2001. La contamination des aliments par les mycotoxines : un facteur de stress additionnel pour les bovins laitiers. 25e symposium sur les bovins laitiers : des défis? des solutions!, 17 octobre, Québec : 9-30.
- Wyatt, R.D. 2005. Mycotoxin interactions. The Mycotoxin Blue Book. United Kingdom : Nottingham University Press : 269-278.
- Zhou, B., Li, Y., Gillespie, J., He, G.Q., Horsley, R et P. Schwarz. 2007. Doehlert matrix design for optimization of the determination of bound deoxynivalenol in barley grain with trifluoroacetic acid (TFA). Journal of Agriculture and Food Chemistry, 55(25) : 10141-10149.

Annexe 1 - Liste des ouvrages de référence indexés dans notre base de données (Procite)

- Accensi, F., Pinton, P., Callu, P., Abella-Bourges, N., Guelfi, J., Grosjean, F. et I.P. Oswald. 2006. Ingestion of low doses of deoxynivalenol does not affect hematological, biochemical, or immune responses of piglets. *Journal of Animal Science*, 84(7) : 1935-1942.
- Adams, R.S., Kephart, K.B., Ishler, V.A., Hutchinson, L.J. et G.W. Roth. 1993. Mold and mycotoxin problems in livestock feeding. PennState. College of Agricultural Sciences. [En ligne]. <http://www.das.psu.edu/research-extension/dairy/nutrition/pdf/mold.pdf>
- Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA). 2006. Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale : rapport synthétique. [En ligne]. <http://www.afssa.fr/Documents/RCCP-Ra-Mycotoxines.pdf>
- Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). 2009. Directive réglementaire RG-1 Chapitre 7, section 7.1 Mycotoxines dans les aliments du bétail (anciennement T-3-116). [En ligne] http://www.inspection.gc.ca/francais/anima/feebet/regdir/sect7_1f.shtml
- AGÉCO. 2005. Plan stratégique 2005-2009 : Table filière porcine du Québec : version finale. Québec 42 p.
- Agridea. 2008. Céréales - Mycotoxines. [En ligne]. <http://www.agridea-lausanne.ch/files/4.2.53-54.pdf>
- Alberta Pork. 2002. Use of mold inhibitors. [En ligne]. <http://www.albertapork.com/news.aspx?NavigationID=1728>
- Albu, H. 2002. In vitro testing of adsorbents for detoxifying mycotoxins in contaminated feedstuffs. *Seria Medicina Veterinara*, 58 : 635-639.
- Alexander, N.J. 2008. The TRI101 story : engineering wheat and barley to resist Fusarium head blight. *World Mycotoxin Journal*, 1(1) : 31-37.
- Anonyme. 1998. Les mycotoxines : un risque majeur sous estimé. *Arca Magazine*, septembre : 21-23.
- Anonyme. 2006. Feed strategies against moulds. *Pig International*, March10 :12-13.
- Arvalis, Institut du végétal. 2007. Mycotoxines de fusarium : le respect des limites réglementaires devient une nouvelle condition d'accès au marché. Conférence de presse du 25-01-07 ; Mais et qualité sanitaire. Paris. [En ligne]. http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/fichier/communique/347_DossierPresse.pdf
- Atkins, D. et F. Norman. 1998. Mycotoxins and food safety. *Nutrition & Food Science*, 4/5 : 260-266.
- Avantaggiato, G., Solfrizzo, M. et A. Visconti. 2005. Recent advances on the use of adsorbent materials for detoxification of Fusarium mycotoxins. (Édition spéciale: Agriculturally important toxigenic fungi and mycotoxins.). *Food Additives and Contaminants*, 22(4) : 379-388.

- Avantaggiato, G., Havenaar, R. et A. Visconti. 2007. Assessment of the multi-mycotoxin-binding efficacy of a carbon/aluminosilicate-based product in an in vitro gastrointestinal model. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(12) : 4810-4819.
- Azcona, J.O. et M.J. Schang. 1997. SINTOX : mycotoxin binder. ALINAT. Argentine. 49 p.
- Bai, G. et G. Shaner. 1994. Scab of wheat: prospects for control. *Plant Disease*, 78(8) : 760-766.
- Balazs, E. et J.S. Schepers. 2007. The mycotoxin threat to food safety. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1-2) : 1-2.
- Barrier-Guillot, B. 2006. Au champ et au silo, lutter contre les mycotoxines. *Arvalis Infos*, Septembre : 8-9.
- Battacone, G., Carboni, G., Nicolussi, P., Ligios, C. et G. Pulina. 2007. Use of a glucomannan polymer to reduce the effects of mycotoxin-contaminated diets in finishing pigs. *Italian Journal of Animal Science*, 6(suppl.1): 673-675.
- Beaulieu, A.D., Patience, J.F. et D. Gillis. 2008. Can we feed mycotoxin contaminated feed to pigs? *Centred on Swine*, 14(3) : 3 p.
- Belleau, L. 2009. Étude sur le coût de production des entreprises porcines de type naisseur-finiisseur en 2007 au Québec. Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (CECPA). Québec, 98 p.
- Bello, M. et M. Quéméré. 2004. Mycotoxines en élevage porcin : risques et prévention. *Arca magazine*, Août(19) : 28-32.
- Benbrook, C.M. [2005]. Breaking The Mold - Impacts Of Organic And Conventional Farming Systems On Mycotoxins In Food And Livestock Feed : an organic center state of science review. [En ligne]. http://www.organic-center.org/reportfiles/Mycotoxin_SSR.pdf
- Bennett, J.W. et M. Klich. 2003. Mycotoxins. *Clinical microbiology reviews*, July: 497-516.
- Berger, F. 2005. Fusariotoxines : hiérarchiser la prise de risque. *Porc magazine*, novembre(393) : 74-77.
- Berthier, J. et G. Valla. 2009. Moisissures - mycotoxines et aliments : du risque à la prévention. [En ligne]. <http://handy.univ-lyon1.fr/service/cours/mycot/mycot.html>
- Berthiller, F., Dall'Asta, C., Schuhmacher, R., Lemmens, M., Adam, G. et R. Krska. 2005. Masked mycotoxins: determination of a deoxynivalenol glucoside in artificially and naturally contaminated wheat by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(9) : 3421-3425.
- Berthiller, F., Schuhmacher, R., Buttinger, G et Krska, R. 2005. Rapid simultaneous determination of major type A- and B-trichothecenes as well as zearalenone in maize by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1062(2) : 209-216.

- Bhatnagar, D., Rajasekaran, K., Payne, G.A., Brown, R.L., Yu, J. et T.E. Cleveland. 2008. The "omics" Tools : Genomics, Proteomics, Metabolomics for Solving the Aflatoxin Contamination Problem . World Mycotoxin Journal, 1(1) : 3-12.
- Binder, E.M. 2007. Managing the risk of mycotoxins in modern feed production. Animal feed science and technology, 133(1-2) : 149-166.
- Biomin. S.d. Biomin Research and Development. [En ligne].
[http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/\(ynDK_contentByKey\)/\\$9378E2C54B9FDDECC125723A0032BE0B](http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/(ynDK_contentByKey)/$9378E2C54B9FDDECC125723A0032BE0B)
- Biomin. S.d. Effets des mycotoxines. [En ligne].
[http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/\(ynDK_contentByKey\)/\\$BF92C4C842BB6755C1257249003A3176?Open&nav=expand%3AProduits%5CMycotoxines%5CMycotoxicoses%5CTruie%3Bactive%3AProduits%5CMycotoxines%5CMycotoxicoses%5CTruie](http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/(ynDK_contentByKey)/$BF92C4C842BB6755C1257249003A3176?Open&nav=expand%3AProduits%5CMycotoxines%5CMycotoxicoses%5CTruie%3Bactive%3AProduits%5CMycotoxines%5CMycotoxicoses%5CTruie)
- Biomin. S.d. Pig : mycotoxins in general. [En ligne].
http://www.mycotoxins.info/myco_info/animpi.html
- Biomin. s.d. Outil d'évaluation du risque de mycotoxicose en production porcine. Truies et cochettes.
- Biomin. S.d. Que sont les mycotoxines ? [En ligne].
[http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/\(ynDK_contentByKey\)/\\$4E37DCF524CA8CF1C12572480053F3C4?Open&nav=expand%3AProduits%5CMycotoxines%5CFAQs%3Bactive%3AProduits%5CMycotoxines%5CFAQs](http://www.biomin.net/cms/biomin_fr_fr.nsf/(ynDK_contentByKey)/$4E37DCF524CA8CF1C12572480053F3C4?Open&nav=expand%3AProduits%5CMycotoxines%5CFAQs%3Bactive%3AProduits%5CMycotoxines%5CFAQs)
- Biomin. 2008. World Nutrition Forum. Autriche. Conférences du 17 au 19 septembre 2008.
- Biomin. S.d. Biomin – mycotoxin survey program 2008. Newsletter. Vol. 7, No. 71 Édition spéciale.
- Blandino, M., Reyneri, A. et F. Vanara. 2007. Influence of nitrogen fertilization on mycotoxin contamination of maize kernels. Crop protection (27) : 222-230.
- Boiron, P. S.d. Champignons toxigènes et mycotoxicoses. France : Faculté de pharmacie. [En ligne]. http://ispb.univ-lyon1.fr/mycologie/Site_lab0_myco/Enseignement/Champignons%20toxigenes%20et%20mycotoxicoses%202005-2006.ppt
- Bouhet, S., Hourcade, E., Fikry, A., Martinez, S., Mengheri, E. et I.P. Oswald. 2003. The mycotoxin, fumonisin B1 alters the proliferation and the barrier function of porcine intestinal epithelial cells. Journal of Veterinary Pharmacology & Therapeutics, 26(Supplement 1) : 153-154.
- Bouhet, S., Hourcade, E., Loiseau, N., Fikry, A., Martinez, S., Roselli, M., Galtier, P., Mengheri, E. et I. Oswald. 2004. The mycotoxin fumonisin B1 alters the proliferation and the barrier function of porcine intestinal epithelial cells. Toxicological Sciences, 77(1) : 165-171.
- Bouhet, S. et I.P. Oswald. 2005. The effects of mycotoxins, fungal food contaminants, on the intestinal epithelial cell-derived innate immune response. Veterinary Immunology and Immunopathology, 108(1/2) : 199-209.

- Bouhet, S., Dorze, E., Peres, S., Fairbrother, J. et I. Oswald. 2006. Mycotoxin fumonisin B1 selectively down-regulates the basal IL-8 expression in pig intestine: in vivo and in vitro studies. *Food and Chemical Toxicology*, 44(10) : 1768-1773.
- Bouhet, S. et I. Oswald. 2007. The intestine as a possible target for fumonisin toxicity. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(8) : 925-931.
- Boutrif, E. 2000. Risques liés à la présence de substances indésirables dans l'alimentation animale et les produits animaux. *Gestion de la sécurité des aliments dans les pays en développement. Actes de l'atelier international, Montpellier, France. 5p.*
- Burch, D.G.S. et C. Rowsell. 2001. The role of mycotoxins in pmws-fact of fiction. *The pig journal*, 48 : 121-127.
- Calvar, C. 2007. Gérer le risque de mycotoxines. *Atout porc Bretagne, Édition juillet* : 26-30.
- Carroll, C. S.d. Can feed damage your pigs. [En ligne].
<http://www.teagasc.ie/publications/2002/pig2002/paper02.asp>
- Cargill. 2006. The MycoBMP (Best management practices). [En ligne].
<http://www.cargillpromote.com/Screens/Solutions/GrainFeedPreservation/ServiceTool.aspx>.
- CAST. 2003. Mycotoxicoses of animals. Task Force Report, No. 139 : 60-85.
- CAST. 2003. Risk assessment and regulations for mycotoxins. Task Force Report, No. 139 : 104-128.
- Ceballos, L. et G. Kastler. 2007. Les mycotoxines dans l'agriculture. [En ligne].
www.amisdelaterre.org/Les-mycotoxines-dans-l-agriculture.html
- Centre du développement du porc du Québec inc. (CDPQ). 2009. Principaux paramètres de base. *Men\$uel Porc*. p. 7
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 2005. Analysez vos grains pour détecter la présence de vomitoxine. [En ligne].
<http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/navigation.aspx?r=analysez%20vos%20grains>
- Centre québécois de valorisation des biotechnologies (CQVB). 2009. Bio-veille – Les mycotoxines : contaminants de l'alimentation animale. Québec. 1er février 2009.
- Champeil, A., Dore, T. et J. Fourbet. 2004. Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by Fusarium in wheat grains. *Plant Science*, 166(6) : 1389-1415.
- Charmley, L.L., Trenholm, H.L. et D.B. Prelusky. 1995. Mycotoxins: their origin, impact and importance: insights into common methods of control and elimination. *Biotechnology in the feed industry. Proceedings of Alltech's Eleventh Annual Symposium* : 41-63.
- Charmley, L.L. et H.L. Trenholm. 2000. Fiche technique : les mycotoxines. Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). [En ligne].
<http://www.inspection.gc.ca/francais/animal/feebet/pol/mycof.shtml>

- Chaubert, C. 2005. Mycotoxines : teneurs moins élevées grâce à de faibles précipitations en mai, juin et juillet. Communiqué de presse du 15.12.2005. [En ligne]. http://www.db-alp.admin.ch/fr/aktuell/medien_detail.php?id=155&PHPSESSID=13361b07c8b7aa10ac108a09b58ccca6
- Cheng. Y.H., Weng C.F., Chen, B.J. et M.H. Chang. 2006. Toxicity of different Fusarium mycotoxins on growth performance, immune responses and efficacy of a mycotoxin degrading enzyme in pigs. *Animal Research*, 55(6) : 579-590.
- Chevalier, J. 2009. Des parois de levure pour lutter contre les mycotoxines chez le porc. En direct des labos : la lettre INRA aux entreprises, janvier(26). 2 p.
- Choudhury, M., Sarma, D. et T. Rahman. 1998. Immunosuppressive effect of aflatoxin on pigs against swine fever virus vaccination. *Indian Journal of Comparative Microbiology, Immunology and Infectious Diseases*, 19(2) : 132.
- Chowdhury, S., Smith, T., Boermans, H. et B. Woodward. 2005. Effects of feed-borne Fusarium mycotoxins on hematology and immunology of laying hens. *Poultry Science*, 84(12) : 1841-1850.
- Cinq-Mars, D., Vachon, M. et J. Cameron. S.d. Les mycotoxines chez les ovins...pour y voir un peu plus clair! Québec : MAPAQ//CEPOQ, 22 p.
- Comeau, A., Langevin, F., et F. Eudes. S.d. Mechanisms of resistance and tolerance to FHB. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Québec. Canada. 17p.
- Comeau, A., Langevin, F. et Y. Dion. 2008. Nouvelles méthodes et nouveaux développements pour l'obtention de cultivars de blé et de céréales. Journée d'informations scientifiques grandes cultures. CRAAQ. 2p.
- La Commission canadienne des grains (CCG). 2003. Seuils de tolérances des grades s'appliquant aux grains fusariés et limites recommandées pour le DON. Utilisation de grain fusariés en alimentation animale. Recommandations - Agriculture Manitoba. [En ligne]. <http://grainscanada.gc.ca/guides-guides/don/don-1-fra.htm#c>
- La Commission canadienne des grains (CCG). 2009. Manuel des systèmes d'échantillonnage et du Guide d'approbation. Canada. 1^{er} janvier 2009.
- La Commission des communautés Européennes. 2006. Recommandation de la Commission du 17 août 2006 sur la prévention et la réduction des toxines du Fusarium dans les céréales et produits céréaliers. *Journal officiel de l'Union européenne*, 234 :35-40.
- La Commission des communautés Européennes. 2006. Règlement (CE) no 1126/2007 de la Commission du 28 septembre 2007 modifiant le règlement (CE) no 1881/2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires en ce qui concerne les toxines du Fusarium dans le maïs et les produits à base de maïs. *Journal officiel de l'Union européenne*, 255 : 14-17.
- La Commission des communautés Européennes. 2006. Règlement (CE) no 1881/2006 de la Commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. *Journal officiel de l'Union européenne*, 364 : 5-24.

- La Commission des communautés Européennes. 2006. Règlement (CE) no 401/2006 de la Commission du 23 février 2006 portant fixation des modes de prélèvement d'échantillons et des méthodes d'analyse pour le contrôle officiel des teneurs en mycotoxines des denrées alimentaires. Journal officiel de l'Union européenne, 70 : 12-34.
- Contour, B. 2005. Céréales, oléo-protéagineux : mycotoxines : l'alimentation animale s'oriente vers des recommandations. La Revue de l'alimentation animale, octobre(590) : 44-46.
- Contour, B. 2006. Mycotoxines : des seuils en alimentation animale. La Revue de l'alimentation animale, Octobre (600) : 10.
- Cysewski, S.J. 1978. Effects of aflatoxine on the development of acquired immunity to swine erysipelas. American veterinary medical association, 39 : 445-448.
- Danicke, S. 2002. Prevention and control of mycotoxins in the poultry production chain : a European view. World's Poultry Science Journal, 58(December) : 451-474.
- Danicke, S., Valenta, H. et S. Döll. 2004. On the toxicokinetics and the metabolism of deoxynivalenol (DON) in the pig. Archives of Animal Nutrition, 58(2) : 169-180.
- Danicke, S., Goyarts, T. et H. Valenta. 2007. On the specific and unspecific effects of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent on piglets when fed with uncontaminated or with Fusarium toxins contaminated diets. Archives of Animal Nutrition, 61(4) : 266-275.
- Devegowda, G., Raju, M.V.L.N., Afzali, N. et H.V.L.N. Swamy. 1998. Mycotoxin picture worldwide : novel solutions for their counteraction. Nutritional biotechnology in the feed and food industries : Proceedings of Alltech's 14th Annual Symposium, Passport to the year 2000 : 241-255.
- Devegowda, G. et T.N.K. Murthy. 2005. Mycotoxins: their effects in poultry and some practical solutions . Dans: The Mycotoxin Blue Book. United Kingdom: Nottingham University Press, p. 25-56.
- DeWolf, E., Kuldau, G., Lipps, P., Munkvold, G., Vincelli, P., Woloshuk, C. et D. Mills. S.d. Moldy grains, mycotoxins and feeding problems. The Ohio State University. [En ligne]. <http://www.oardc.ohio-state.edu/ohiofieldcropdisease/Mycotoxins/mycopagepreventative.htm>
- Diaz, D.E. et T.K. Smith. 2005. Mycotoxin sequestering agents : practical tools for the neutralisation of mycotoxins. Dans: The Mycotoxin Blue Book. United Kingdom : Nottingham University Press ; 323-339.
- Diaz-Llano, G. et T. Smith. 2007. Effects of feeding grains naturally contaminated with Fusarium mycotoxins with and without a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent on reproductive performance and serum chemistry of pregnant gilts. Journal of Animal Science, 84(9) : 2361-2366.
- Diaz-Llano, G. et T. Smith. 2007. The effects of feeding grains naturally contaminated with Fusarium mycotoxins with and without a polymeric glucomannan adsorbent on lactation, serum chemistry, and reproductive performance after weaning of first-parity lactating sows. Journal of Animal Science, 85(6) : 1412-1423.

- Diekman, M.A., Coffey, M.T., Purkhiser, E.D., Reeves, D.E. et L.G. Young. 2006. Mycotoxins and Swine Performance. Factsheet : pork information gateway, PIG 07-06-05.
- Dilkin, P., Zorzete, P., Mallmann, C.A., Gomes, J.D.F., Utiyama, C.E., Oetting, L.L. et B. Corrêa. 2003. Toxicological effects of chronic low doses of aflatoxin B1 and fumonisin B1-containing *Fusarium moniliforme* culture material in weaned piglets. *Food and Chemical Toxicology*, 41(10) : 1345-1353.
- Dion, Y., Lauzon, M et S. Rioux. 2007. Fusariose de l'épi du blé et de l'orge – intervention avec un fongicide. CÉROM, Bulletin technique : phytopathologie / Régie des cultures. No 2.03
- Dion, Y., M. Lauzon et S. Rioux. 2009. Fusariose de l'épi du blé et de l'orge – Les stades d'intervention avec un fongicide. CEROM. Réseau d'avertissements phytosanitaires du Québec, Bulletin d'information no 16, 15 juin 2009
- Dixon, R.C. et P.B. Hamilton. 1981. Effect of feed ingredients on the antifungal activity of propionic acid. *Poultry Science*, 60 : 2407-2411.
- Doll, S., Danicke, S., Valenta, H. et G. Flachowsky. 2004. In vitro studies on the evaluation of mycotoxin detoxifying agents for their efficacy on deoxynivalenol and zearalenone. *Archives of Animal Nutrition*, 58(4): 311-324.
- Doll, S. et Danicke, S. 2004. In vivo detoxification of fusarium toxins. *Archives of animal nutrition*. 58(6): 419-441
- Doyon, M. 2008. Discussion sur un système de recueil et de diffusion de l'information dans le secteur des cultures commerciales. Québec: Université Laval, 12 p.
- Dupchak, K. 2006. Feeding fusarium-contaminated grain to livestock. [En ligne]. <http://www.gov.mb.ca/agriculture/livestock/nutrition/bza00s01.html>
- Éditeur officiel du Québec. 2009. Règlement sur la mise en marché des grains. Québec : Publications du Québec, c. M-35.1m r, 226
- EduTransfer Design Associates Inc. et Haywire Creative. 2008. Un capteur optique trie le grain infecté par le fusarium. FarmCentre. [En ligne]. <http://www.farmcentre.com/Francais/Features/ScienceInnovation/Article.aspx?id=eb3dad78-4f55-4367-98fb-03350663255c>
- Ensley, S. 2009. Mycotoxin testing can be perplexing. *National Hog Farmer*, June 8. [En ligne]. <http://nationalhogfarmer.com/health-diseases/0608-mycotoxin-testing-perplexing/>
- Étienne, M., Oswald, I.P., Bony, S., Lallès, J.P., Pinton, P. Trépier, B. et M. Lessard. 2006. Effets de la contamination par le déoxynivalénol (DON) de l'aliment des truies reproductrices. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 38 : 233-240.
- Étienne, M. 2007. Effets biologiques et physiologiques d'une mycotoxine, le vomitoxine (DON), chez le porc. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 39 : 407-418.
- Etienne, M. et Y. Wache, 2008. Biological and physiological effects of deoxynivalenol (DON) in the pig. Dans: *Mycotoxins in farm animals*. Kerala, India, Transworld Research Network, p. 113-130.

- European Commission. 1999. Opinion of the Scientific Committee on Food on Fumonisin toxins Part 1: Deoxynivalenol (DON). Bruxelles-Belgique : European Commission. [En ligne]. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out44_en.pdf
- European Commission. 2000. Opinion of the Scientific Committee on Food on Fumonisin toxins Part 2¹: Zearalenone (ZEA). Bruxelles-Belgique : European Commission. [En ligne]. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out65_en.pdf
- European Commission. 2000. Opinion of the Scientific Committee on Food on Fumonisin toxins Part 3¹: Fumonisin B₁ (FB₁). Bruxelles-Belgique : European Commission [En ligne]. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out73_en.pdf
- European Commission. 2000. Opinion of the Scientific Committee on Food on Fumonisin toxins Part 4: Nivalenol. Bruxelles-Belgique : European Commission. [En ligne]. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out74_en.pdf
- European Commission. 2001. Opinion of the Scientific Committee on Food on Fumonisin toxins Part 5: T-2 Toxin and HT-2 Toxin. Bruxelles-Belgique : European Commission. [En ligne]. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out88_en.pdf
- European Commission. 2002. Opinion of the Scientific Committee on Food on Fumonisin toxins Part 6: Group evaluation of T-2 toxin, HT-2 toxin, nivalenol and deoxynivalenol. Bruxelles-Belgique : European Commission. [En ligne]. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out123_en.pdf
- European Commission. 2003. Updated opinion of the Scientific Committee on Food on Fumonisin B1, B2 and B3. Bruxelles-Belgique : European Commission [En ligne]. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out185_en.pdf
- E.Y. 2002. Itinéraire cultural blé : ce qui favorise les mycotoxines. Magazine Cultivar, paru le 25 octobre 2002. 539 : 52.
- FAO. 1997. Code d'usages concernant la réduction de l'aflatoxine B₁ dans les matières premières et les aliments d'appoint destinés au bétail laitier. [En ligne]. <http://www.fao.org/docrep/meeting/005/W5122F/w5122f14.htm>
- FAO. 1999. Potentiel hazards associated with feed (FAO Food and nutrition paper - 69). [En ligne]. <http://www.fao.org/docrep/w8901e/w8901e05.htm>
- FAO et IAEA. 2001. Manual on the application of the HACCP system in mycotoxin prevention and control. Rome: 114 p.
- FAO et OMS. 2002. Approches intégrées de la gestion de la sécurité sanitaire des aliments tout au long de la chaîne alimentaire. Forum mondial FAO/OMS des responsables de la Sécurité Sanitaire des Aliments. Maroc, janvier 2002.
- FAO et OMS. 2003. Code of practice for the prevention and reduction of mycotoxin contamination in cereals, including annexes on ochratoxin A, zearalenone, fumonisins and tricothecenes. Codex Alimentarius. [En ligne]. www.codexalimentarius.net/download/standards/406/CXC_051e.pdf

- FAO. 2004. Réglementations relatives aux mycotoxines dans les produits d'alimentation humaine et animale, à l'échelle mondiale en 2003. Étude FAO : Alimentation et nutrition, 81 : 183 p.
- Fernando, V.B., Neide. L.S., Juliana. A.C., Aline. V., Carlos. A.M. et R.C.Z. Janice. 2008. Analysis of the effect of fumonisin B1 in porcine circovirus type 2 (PCV2) replication and induction of apoptosis in vitro. 20th edition of the International Pig Veterinary Society Congress : OR.09.02.
- La Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ). 2008. Offre et demande de l'avoine au Québec. 1^{er} octobre 2008.
- La Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ). 2009. Offre et demande de maïs au Québec. [En ligne]. <http://www.fpccq.qc.ca/Marches/Statistiques.aspx>
- La Financière agricole du Québec (FADQ). 2009. Indemnités de l'assurance récolte pour 2005-2008. Données extraites le 27 mars 2009.
- La Financière agricole du Québec (FADQ). 2009. Tableau résumé d'information administrative et économique – Programme d'assurance stabilisation productions animales. Mise à jour du 14 avril 2009.
- La Financière agricole du Québec (FADQ). 2009. Guide des normes reconnues par la Financière agricole en matière de pratiques culturales. Céréales, Maïs-grain, Oléagineux. [En ligne]. http://www.fadq.qc.ca/fileadmin/cent_docu/publ/clie_agri/asrec/cmo_2009.pdf
- Food Standards Agency. 2007. Code of good agricultural practice for the reduction of mycotoxins in UK cereals. [En ligne]. <http://www.foodstandards.gov.uk/multimedia/pdfs/mycotoxincop2007.pdf>
- Food Standards Agency. 2007. The UK code of good agricultural practice to reduce fusarium mycotoxins in cereals. [En ligne]. <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/fusariumcop.pdf>
- Fortin, S. et J. Quenneville. 2002. Ventilateurs et systèmes de ventilation pour les grains. CEROM. Bulletin technique, No 5.05 : 6 p.
- Fortin, S. et J. Quenneville. 2002. Vent-Expert : Logiciel de calculs des systèmes de ventilation des grains. Logiciel. [En ligne]. http://cerom.qc.ca/3_0/3_7.html
- Fortin, S. 2003. La ventilation : un outil pour la conservation des grains. Notes, No 03.01 : 3 p.
- Fortin, S. 2008. La ventilation d'automne en cinq points. Notes, No 06.06 : 2 p.
- Foster, B.C., Trenholm, H.L., Friend, D.W., Thompson, B.K. and K.E. Hartin. 1986. Evaluation of different sources of deoxynivalenol (vomitoxin) fed to swine. Canadian journal of animal science, 66 : 1149-1154.
- Fournier, A. et Lemelin, M. 2000. Du Maïs à surveiller. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/Documents/bov36-2.htm>

- Fournout, S., Fairbrother, J.M., Verneuil, S., Le Bars, P., Laffitte, J., Le Bars, J., et I.P. Oswald. 2000. Effets d'une intoxication orale par la fumonisine B1 sur la production intestinale de cytokines inflammatoires et la sensibilité des porcelets à l'infection colibacillaire. Journées de la Recherche Porcine en France, 32 : 33-37.
- Friend, D., Thompson, B., Trenholm, H., Boermans, H., Hartin, K. et P. Panich. 1992. Toxicity of T-2 toxin and its interaction with deoxynivalenol when fed to young pigs. Canadian Journal of Animal Science, 72(3) : 703-711.
- Galvano, F., Piva, A., Ritieni, A. et G. Galvano. 2001. Dietary strategies to counteract the effects of mycotoxins: a review. Journal of Food Protection, 64(1) : 120-131.
- Galvano, F., Ritieni, A., Piva, G., et A. Pietri. 2005. Mycotoxins in the human food chain. Dans: The Mycotoxin blue book. United Kingdom: Nottingham University Press, 187-224.
- Galtier, P., Oswald, I., Guerre, P., Morgavi, D., Boudra, H et J.-P. Jouany. 2008. Le risque mycotoxique : danger et impact sanitaire en productions animales. INRA Productions Animales, 21(1) : 107-116.
- Gilbert, J. et A. Tekauz. 2000. Review : Recent developments in research on fusarium head blight of wheat in Canada. The Canadian Journal of Plant Pathology, (22) : 1-8.
- Gimeno, A. 2008. The fumonisins and their deleterious effects in swine production. [En ligne]. http://www.engormix.com/e_articles_view.asp?art=1046&AREA=POR-165
- Golob, P. 2007. On-Farm mycotoxin control in food and feed grain. Dans: Good practices for animal feed and livestock. 27 p.
- Gouze, M.E. et I.P. Oswald. 2001. Effect of fumonisin B1, a mycotoxin present in maize, on porcine lymphocytes. Journées de la Recherche Porcine en France, 33 : 277-281.
- Goyarts, T., S. Danicke, U. Tiemann et H.J. Rothkotter. 2006. Effect of the Fusarium toxin deoxynivalenol (DON) on IgA, IgM and IgG concentrations and proliferation of porcine blood lymphocytes. Toxicology In Vitro, 20(6) : 858-67.
- Grant, P.G. et Phillips, T.D. 1998. Isothermal Adsorption of Aflatoxin B1 on HSCAS Clay. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 46(2) : 599-605.
- Groupe de Travail TRCVP pour la Science et l'Innovation. 2007. Table ronde sur la Chaîne de valeur du Porc : Stratégie de Science et d'Innovation. Rapport du groupe de travail, 46 p.
- Grosjean, F., Callu, P., Pinton, P., Skiba, F., Barrier-Guillot, B. et I. Oswald. 2003. Quantification des effets de la consommation de déoxynivalénol (DON) par le porcelet sevré. Journées de la Recherche Porcine en France, 35 : 443-450.
- Guerif, J., Richard, G., Dürr, C., Machet, J.M., Recous, S. et J. Roger-Estrade. 2001. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. Soil & Tillage Research, 61(1-2) : 13-32.
- Guillou, D., Quéméré, M. et E. Landeau. 2007. Influence de la contamination de l'aliment en mycotoxines (DON, ZEA) sur le comportement alimentaire du porc en croissance et finition. Journées de la Recherche Porcine en France, 39 : 143-148.

- Gutzwiller, A., Czeglédi, L. et P. Stoll. 2005. Efficacité d'adsorbants contre les mycotoxines de *Fusarium* chez le porc. *Revue Suisse Agriculture*, 37(3) : 121-124.
- Gutzwiller, A. et J.L. Gafner. 2007. *Fusarium* contaminated bedding straw and pig fertility. 29th Myxotoxin-Workshop, P-68, p. 124.
- Gutzwiller, A. et J.L. Gafner. 2008. Paille contaminée par des mycotoxines et fertilité de la truie. *Revue suisse d'Agriculture*, 40(3) : 139-142.
- Halloy, D.J., Bouhet, S., Oswald, I.P., Goret-Nicaise, M., Kobisch, M., Mainil, J. et P.G. Gustin. 2004. Pathophysiological changes occurring during *Escherichia coli* endotoxin and *Pasteurella multocida* challenge in piglets: relationship with cough and temperature and predictive value for intensity of lesions. *Veterinary Research*, 35(3) : 309-324.
- Halloy, D., Gustin, P., Bouhet, S. et I. Oswald. 2005. Oral exposure to culture material extract containing fumonisins predisposes swine to the development of pneumonitis caused by *Pasteurella multocida*. *Toxicology*, 213(1/2) : 34-44.
- Hamelin, É. 2004. Forum Biomin France : les mycotoxines en tête d'affiche. *Porc magazine*, Avril(376) : 78-81.
- Hany, E. 2004. Le risque mycotoxine se précise. *La Revue de l'alimentation animale*, avril(575) : 36-38.
- Harvey, R.B., Huff, W., Kubena, L.F. et T.D. Phillips. 1989. Evaluation of diets cocontaminated with aflatoxin and ochratoxin fed to growing pigs. *American Journal of Veterinary Research*, 50(8) : 1400-1405.
- Harvey, R.B., Kubena, L.F., Huff, W.E., Corrier, D.E., Rottinghaus, G.E. et T.D. Phillips. 1990. Effects of treatment of growing swine with aflatoxin and T-2 toxin. *American Journal of Veterinary Research*, 51(10) : 1688-93.
- Harvey, R.B., Kubena, L.F., Elissalde, M.H., Corrier, D.E., Huff, W.E., Rottinghaus, G.E. et B.A. Clement. 1991. Cocontamination of swine diets by aflatoxin and diacetoxyscirpenol. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 3(2) : 155-60.
- Harvey, R.B., Kubena, L.F., Elissalde, M.H., Rottinghaus, G.E. et D.E. Corrier. 1994. Administration of ochratoxin A and T-2 toxin to growing swine. *American Journal of Veterinary Research*, 55(12) : 1757-1761.
- Harvey, R.B., Edrington, T.S., Kubena, L.F., Elissalde, M.H. et G.E. Rottinghaus. 1995. Influence of aflatoxin and fumonisin B1-containing culture material on growing barrows. *American Journal of Veterinary Research*, 56(12) : 1668-72.
- Harvey, R.B., Edrington, T.S., Kubena, L.F., Elissalde, M.H., Casper, H.H., Rottinghaus, G.E. et J.R. Turk. 1996. Effects of dietary fumonisin B1-containing culture material, deoxynivalenol-contaminated wheat, or their combination on growing barrows. *American Journal of Veterinary Research*, 57(12) : 1790-4.

- Hayard, G., Fillion, R., Richard, Y., Dufour, V., Bachand, C. et comité valideurs (AQINAC). 2006. Estimation de la consommation des principaux grains en production porcine. Direction des études économiques et d'appui aux filières. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 5p.
- Hilborn, D. 1987. L'aération des grains. Fiche technique. Ministère de l'Agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales (OMAFRA). Ontario. [En ligne].
<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/87-053.htm>
- Home-Grown Cereals Authority (HGCA). 2007. Guidelines to minimise risk of fusarium mycotoxins in cereals. Summer. [En ligne].
http://www.hgca.com/document.aspx?fn=load&media_id=3506&publicationId=3848
- House, J. s.d. In search of a magic bullet! Strategies for dealing with fusarium contaminated grains in the swine industry. Department of Animal science. University of Manitoba. 9 p.
- Huff, W.E., Kubena, L.F., Harvey, R.B. et J.A. Doerr. 1988. Mycotoxin interactions in poultry and swine. Journal of Animal Science, 66(9) : 2351-2355.
- Huwig, A., Freimund, S., Kappeli, O. et H. Dutler. 2001. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. Toxicology Letters, 122(2) : 179-188.
- JEFO Nutrition. S.d. Aluminosilicate de calcium et sodium hydraté - HSCAS : Adsorbant de mycotoxines.
- JEFO Nutrition. S.d. Prémélange M - Premix M. How to evaluate the risk for animals according to the toxin and its concentration.
- Jemmali, M. 1989. Safety evaluation of mycotoxin-decontaminated feedstuffs. Mycotoxins and phycotoxins '88. Amsterdam, the Netherlands : Elsevier Science Publishers : 233-241.
- Joens, L.A., Pier, A.C. et R.C. Cutlip. 1981. Effects of aflatoxin consumption on the clinical course of swine dysentery. American Journal of Veterinary Research, 42(7) : 1170-1172.
- Jones, F.T., Genter, M.B., Hagler, W.M., Hansen, J.A., Mowrey, B.A., Poore, M.H. et L.W. Whitlow. 2007. Understanding and coping with effects of mycotoxins in livestock feed and forage. NCSU. [En ligne].
http://www.ces.ncsu.edu/disaster/drought/Understanding_mycotoxins.pdf
- Jouany, J. 2007. Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. Animal Feed Science and Technology, 137(3/4) : 342-362.
- Kawamoto, Y., Bandoh, S., Higashihara, K., Miyagawa, H. et T. Goto. 2008. Development and single laboratory validation of a method for patulin determination in fruits juices. World Mycotoxin Journal, 1(1) : 59-65.
- Laboratoire Biosol. 2004. Les mycotoxines. [En ligne].
http://biosol.esitpa.org/liens/myco_2004/index.htm
- Lauzon, M., Dion, Y. et S. Fortin. 2007. L'utilisation de voies d'accès pour l'application de fongicides. CÉROM, Bulletin technique : phytopathologie / Régie des cultures. No 2.05/3.07.

- Lauzon, M., Dion, Y. et S. Rioux. 2007. Fusariose de l'épi chez le blé et l'orge. CÉROM, Bulletin technique : phytopathologie, No 2.01.
- Lawlor, P. et P Lynch. 2001. Mycotoxins in pig feeds. 1: Source of toxins, prevention and management of mycotoxicosis. Irish Veterinary Journal, 54(3) : 117-120.
- Lawlor, P. et P Lynch. 2001. Mycotoxins in pig feeds. 2: clinical aspects. Irish Veterinary Journal, 54(4) : 172-176.
- Le Bars, J. 2000. Gestion des risques mycotoxiques dans l'alimentation animale. Conférence de nutrition de l'Est du Canada, 25 et 26 mai, Montréal : 225-246.
- Ledoux, D.R. et G.E. Rottinghaus. 2007. In vitro and in vivo testing of adsorbents for detoxifying mycotoxins in contaminated feedstuffs. [En ligne].
http://www.engormix.com/in_vitro_and_in_e_articles_700_MYC.htm
- Lemmens, M., Scholz, U., Berthiller, F., Dall'Asta, C., Koutnik, A., Schuhmacher, R., Adam, G., Buerstmayr, H., Mesterházy, A., Krska, R., et P. Ruckebauer. 2005. The ability to detoxify the mycotoxin deoxynivalenol colocalizes with a major quantitative trait locus for fusarium head blight resistance in wheat. Molecular Plant-Microbe Interactions. Volume 18. No. 12 : 1318-1324.
- Lessard, M., Lallès, J.-P., Boudry, G., Sève, B., et I. Oswald. 2005. Influence of the mycotoxin fumonisin B1 on intestinal physiology and immune function in piglets / Acute and chronic exposure to low doses of fumonisin B₁ impact intestinal absorptive and secretory physiology in young pigs. Journal of Animal Science, 83(suppl.1) : 6.
- Lillehoj, E.B., et A. Ciegler. 1975. Mycotoxin synergism. Microbiology : 344-358.
- Liu, B.H., Yu, F.Y., Chan M.H., Yang Y.L. 2002. The effects of mycotoxins, fumonisin B1 and aflatoxin B1, on primary swine alveolar macrophages. Toxicology and Applied Pharmacology, 180(3): 197-204.
- Liu, Y., F. Walker, B. Hoeglinger et H. Buchenauer. 2005. Solvolysis procedures for the determination of bound residues of the mycotoxin deoxynivalenol in fusarium species infected grain of two winter wheat cultivars preinfected with barley yellow dwarf virus. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 53(17) : 6864-6869.
- Lopez-Garcia R., Park, D.L. et T.D. Phillips. 1999. Integrated Mycotoxin Management Systems. Conference on mycotoxins, Tunis, Tunisia, 3-6 march, 15 p.
- Maïsadour semences. 2009. Qualité sanitaire du maïs & Mycotoxines. [En ligne].
<http://www.maisadour-semences.fr/maitriser-les-fusarium-gestion-du-risque-mycotoxines/guide-culture-mais.php?menu=pratique&page=mycotoxines>
- Marin, D. E., Taranu, I., Bunaciu, R. P., Pascale, F., Tudor, D. S., Avram, N., Sarca, M., Cureu, I., Criste, R. D., Suta, V. et I. P. Oswald. 2002. Changes in performance, blood parameters, humoral and cellular immune response in weanling piglets exposed to low doses of aflatoxin. Journal of animal science, 80(5) : 1250-1257.

- Meissonnier, G.M., Oswald, I.P. et P. Galtier. 2005. Aflatoxicoses chez le porc - Étude bibliographique de données cliniques et expérimentales. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 156(12) : 591-605.
- Mellor, S. 2003. Biotransformation in mycotoxin control. *Feed tech*, 7(5) : 26-27.
- Mesterhazy, A., Buerstmayr, H., Toth, B., Lehoczki-Krsjak, Sz., Szabo-Hevér, A. et M. Lemmens. S.d. An improved strategy for breeding FHB resistant wheat must include Type I resistance. Cereal research non-profit company. Hongrie. Présenté au 5^e Colloque canadien sur la fusariose. Winnipeg, Manitoba, Novembre 2007
- Miller, D.M, Stuart, B.P., Crowell, W.A., Cole, J.R., Goven, A.J. et J. Brown. 1978. Aflatoxicosis in swine : its effect on immunity and relationship to salmonellosis. *American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, 21st Annual Proceedings* : 135-146.
- Ministère de l'agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales (OMAFRA). 2006. Corn ear moulds and mycotoxins. [En ligne].
(<http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/field/news/croppest/2006/21cpo06a1.htm>). mise à jour du 6 novembre 2006.
- Ministère de l'agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales (OMAFRA). 2008. CropPest Ontario [En ligne]
(<http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/field/news/croppest/2008/14cpo08.htm>).
- Ministère de l'agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales (OMAFRA). 2008. Corn ear mould and DON survey results for 2008. [En ligne]
(<http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/field/news/croppest/2008/14cpo08a1.htm>).
- Moore, D., Hofstetter, U., Nitsch, S., Schatzmayr, G., Schatzmayr, D., Loibner, A., Binder, E. et M. Mezes. 2005. Combined strategies to deactivate mycotoxins in swine feed. Manipulating pig production X , Proceedings of the Tenth Biennial Conference of the Australasian Pig Science Association (APSA), Christchurch, New Zealand, 27th to 30th November.
- Morantes, G. et G. Rottinghaus. 2007. Mycotoxins : what you don't prevent, you can still manage. www.wattpoultry.com/ViewWebinar.aspx?id=10498.
- Naresh M. et D. Aldred. 2007. Post-harvest control strategies: minimizing mycotoxins in the food chain. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1/2) : 131-139.
- Nutek. s.d. Zeotek organoaluminosilicate. Mycotoxins adsorbent, SAGARPA Reg. No. Q-7356-004, 90 p.
- Oswald, I.P., Fournout, S., Laffitte, J., Odin, M. et J.M. Fairbrother. 2000. Dietary fumonisin B1 exposure increases pig susceptibility to opportunistic E. coli infection and decreases local inflammatory cytokine production. Abstracts of the General Meeting of the American Society for Microbiology, D-135 : 256-257.
- Oswald, I.P. 2003. Immunotoxicity of mycotoxins in pigs. *Feed Info*.
- Oswald, I., Bouhet, S., Marin, D., Pinton, P. et I. Taranu. 2003. Mycotoxin effects on the pig immune system. *Nutritional biotechnology in the feed and food industries, Proceedings of Alltech's 19th Annual Symposium* : 213-221.

- Oswald, I., Desautels, C., Laffitte, J., Fournout, S., Peres, S., Odin, M., Bars, P.I., Bars, J.I. et J. Fairbrother. 2003. Mycotoxin fumonisin B1 increases intestinal colonization by pathogenic *Escherichia coli* in pigs. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(10) : 5870-5874.
- Oswald, I., Marin, D., Bouhet, S., Pinton, P., Taranu, I. et F. Accensi. 2005. Immunotoxicological risk of mycotoxins for domestic animals. *Food Additives and Contaminants*, 22(4) : 354-360.
- Oswald, I.P. 2006. Facteur alimentaires affectant l'immunité : le cas des mycotoxines. [En ligne]. <http://www.editionsduboisbaudry.fr/docs/pm/complements/2006-06/isabelle.pdf>
- Oswald, I. 2007. Effets de contaminants alimentaires, les mycotoxines, sur la réponse immunitaire du porc et sa sensibilité aux infections. 1er symposium du centre de recherche en infectiologie porcine, 28 et 29 mai 2007, Saint-Hyacinthe : 29
- Oswald, I.P. 2007. Effets immunosuppresseurs des mycotoxines chez le porc. Journées de la Recherche Porcine en France, 39 : 419-426.
- Oswald, I. 2009. Des parois de levure pour lutter contre les mycotoxines chez le porc. Institut Nationale de Recherche en Agroenvironnement (INRA). (26) 3 p.
- Osweller, G.D. 2006. Mycotoxins. Dans: *Diseases of swine*. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 731-742.
- Pageau, D., Lafond, J., Lajeunesse, J. et M.E. Savard. 2008. Impact du précédent cultural et de la fertilisation azotée sur la teneur en déoxynivalénol chez l'orge. *Journal of Plant Pathology*. (30) : 397-403.
- Pelletier, L. 2009. Santé Canada. Qualité de la viande – Salubrité des aliments. Courriel transmis à Marie-Pierre Fortier, CPDQ.
- Pickseed Eastern Canada. 2009. Gestion de la résistance aux insectes. [En ligne]. http://www.pickseed.com/EstCanada/hybridCorn/Insect_Strategies.html
- Pickseed Eastern Canada. 2009. Traitements de semence. [En ligne]. http://www.pickseed.com/EstCanada/hybridCorn/doc/treatment_fr.pdf
- Pier, A., Richard, J. et J.R. Thurston. 1979. Effects of mycotoxins on immunity and resistance of animals. *Toxicon*, 17(142) : 691-699.
- Pier, A.C., Richard, J.L. et S.J. Cysewski. 1980. Implications of mycotoxins in animal disease. *Journal of the american veterinary medical association*, 176 : 719-724.
- Pinton, P., Royer, E., Accensi, F., Marin, D., Guelfi, J.F., Bourguès-Abella, N., Granier, R., Grosjean, F. et I.P. Oswald. 2004. Effets zootechniques et immunitaires de la consommation d'aliment naturellement contaminé par du déoxynivalénol (DON) chez le porc en phase de croissance ou de finition. Journées de la Recherche Porcine en France, 36 : 301-308.
- Pinton, P., Accensi, F., Beauchamp, E., Cossalter, A.M., Callu, P., Grosjean, F. et I.P. Oswald. 2006. Effets de la consommation d'aliment naturellement contaminé par du déoxynivalénol (DON) sur la réponse vaccinale du porc. 38èmes Journées de la Recherche Porcine en France, 38 : 399-406.

- Piva, A., Casadei, G., Pagliuca, G., Cabassi, E., Galvano, F., Solfrizzo, M., Riley R.T. et D.E. Diaz. 2005. Activated carbon does not prevent the toxicity of culture material containing fumonisin B1 when fed to weanling piglets. *Journal of Animal Science*, 83(8) : 1939-1947.
- Poilvet, D. 2005. Mycotoxines, des recommandations plutôt que des obligations. *Réussir porcs*, décembre(122) : 40-41.
- Pollmann, D.S., B.A. Koch, L.M. Seitz, H.E. Mohr et G.A. Kennedy. 1985. Deoxynivalenol-contaminated wheat in swine diets. *Journal of Animal Science*, 60(1) : 239-247.
- Prelusky, D.B., Gerdes, R.G., Underhill, K.L., Rotter, B.A., Jui P.Y., et H.L. Trenholm. 1994. Effects of low-level dietary deoxynivalenol on haematological and clinical parameters of the pig. *Natural Toxins*, 2(3) : 97-104.
- Québec : Table filière, 68 p.
- Quillien, J-F. 2002. Les mycotoxines. INRA, France
- Ramos, A.J., Hernandez, E., Pla-Delfina, J.M. et M. Merino. 1996. Intestinal absorption of zearalenone and in vitro study of non-nutritive sorbent materials. *International Journal of Pharmaceutics*, 128 : 129-137.
- Ramos, A., Fink-Gremmels, J. et E. Hernandez. 1996. Prevention of toxic effects of mycotoxins by means of nonnutritive adsorbent compounds. *Journal of Food Protection*, 59(6) : 631-641.
- Ratcliff, J. 2002. The role of mycotoxins in food and feed safety. AFMA's symposium on "The role of animal feed in food safety", 16 August, 7 p.
- Reboux, G. 2006. Mycotoxines : effets sur la santé et interactions avec d'autres composants organiques. *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*, 46 : 208-212.
- Régie des marchés agricoles et alimentaires du Québec (RMAAQ). S.d. Demande d'analyse pour des fins autres que le classement. Québec : Formulaire [En ligne].
www.rmaa.qc.ca
- Régie des marchés agricoles et alimentaires du Québec (RMAAQ). 2009. Prélèvement d'un échantillon représentatif. Québec. [En ligne]
http://www.rmaa.qc.ca/fileadmin/DocuCentre/Documents/SecteurActivite/Grains/Classement/Prelev_ech_representatifs.pdf
- Reid, L. 2003. Mise au point des lignées de maïs résistantes à la fusariose de l'épi. *Agriculture et Agroalimentaire Canada*. Ottawa.
- Réseaux Grandes Cultures du Québec (RGCQ). 2008. Résultats 2008 et recommandations 2009 des RGCQ. 31p.
- Rioux, S., Pouleur, S. et F. Langevin. 2003. Comment réduire les risques de fusariose chez l'orge. Québec : CRAAQ. [En ligne]. <http://pub.craaq.qc.ca/Article.pdf>

- Rioux, S., Dion, Y. et M. Lauzon. 2006. Comment réduire l'impact de la fusariose chez le blé. Journées des Grandes Cultures, Montérégie-Ouest, Saint-Rémi-de-Napierville, 5 décembre, 5 p.
- Rioux, S. et S. Fortin. 2008. Influence du mode et du temps de récolte sur le développement de la vomitoxine (DON) chez l'orge. Journée d'information des grandes cultures. CRAAQ. 2008. [En ligne].
http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Collmai08_resumes_conf.pdf
- Rioux, S. 2009. Comment prévenir le développement des mycotoxines? [En ligne].
<http://blogdemalika.bloguez.com/blogdemalika/534516/Comment-pr-venir-le-d-veloppement-des-mycotoxines->
- Roch, G. 1998. Récoltes, moisissures...et toxines . Porc Québec, Octobre : 21-24.
- Rodriguez-Nava, V., Menard, A., Laurent, F. et P. Boiron. S.d. Travaux pratiques de mycologie. Présentation power-point. [En ligne]. http://ispb.univ-lyon1.fr/mycologie/Site_lab0_myco/Enseignement/2/TP%20Micro%20V%20courte.ppt
- Royer, E. et F. Grosjean. 2004. Les faibles doses d'une mycotoxine (DON) du blé sans effet notable chez le porc. Techni Porc, 27(5) : 11-15.
- Santé Canada. 2007. Aliments et nutrition : Normes canadiennes «limites maximales» concernant divers contaminants chimiques dans les aliments. [En ligne]. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/contaminants-guidelines-directives-fra.php>
- Santé Canada. 2008. Aliments et nutrition : évaluation des risques pour la santé liés aux aliments. [En ligne]. http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/food_risk-risq_alim-fra.php
- Santé Canada. 2009. Aliments et nutrition : toxines naturelles. [En ligne]. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/toxin-natur/index-fra.php>
- Santé Canada. 2009. Document d'information sur les seuils maximaux (normes) proposés par Santé Canada au chapitre de la présence de la mycotoxine ochratoxine A dans les aliments. [En ligne]. http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/alt_formats/hpfb-dgpsa/pdf/consultation/myco_consult_ochra-fra.pdf
- Santin, E. 2005. Mould growth and mycotoxin production. Université fédérale du Panama. Brésil. Bluebook, Chapitre 9 : 225-234
- Schaafsma, A.W., Tamburic-Ilinic, L., Miller, J.D. et D.C. Hooker. 2001. Agronomic considerations for reducing deoxynivalenol in wheat grain. Canadian Journal of Plant Pathology, 23 : 279-285
- Schaafsma, A.W. et Limay-Rios, V. 2008. Learning from 2006 to reduce impacts of fusarium epidemics to stakeholders of the corn industry. Ontario. 28th Annual Centralia Swine Research Update. Conférence du 28 janvier 2009.
- Schatzmayr, D. 2004. Combined strategies for mycotoxin control. Feed mix, 12(3) : 10-13.

- Schatzmayr, D., Nitsch, S., Binder, E., Taubel, M., Loibner, A. et G. Schatzmayr. 2004. Detoxification of mycotoxins. Proceedings of the 18th IPVS Congress, vol. 2 : 748.
- Schatzmayr, G. 2004. Key mycotoxins - their effects and control. International Pig Topics, 19(4) : 11-; 13; 15.
- Schell, T.C., Lindemann, M.D., Kornegay E.T. et D.J. Blodgett. 1993. Effects of feeding aflatoxin-contaminated diets with and without clay to weanling and growing pigs Journal of Animal Science, 71(5) : 1209-1218.
- Schell, T.C., Lindemann, M.D., Kornegay E.T, Blodgett D.J. et J.A. Doerr. 1993. Effectiveness of different types of clay for reducing the detrimental effects of aflatoxin-contaminated diets on performance and serum profiles of weanling pigs. Journal of Animal Science, 71 : 1226-1231.
- Schneider, D. 1999-2001. Mycofix[®] Plus - Reproductive performance of sows in the presence of fusariotoxins. [En ligne]. http://www.mycofix.info/mycofix3/mycofix_sows_DON_trial.htm
- Shull, L.R. et P.R. Cheeke. 1983. Effects of synthetic and natural toxicants on livestock. Journal of Animal Science, 57(Suppl 2) : 330-54.
- Schwarzer, K. 2002. Reducing zearalenone impact on semen quality. Pig Progress, 18(5) : 34-35.
- Smith, T., McMillan, E. et J. Castillo. 1997. Effect of feeding blends of Fusarium mycotoxin-contaminated grains containing deoxynivalenol and fusaric acid on growth and feed consumption of immature swine. Journal of Animal Science, 75(8) : 2184-2191.
- Smith, T.K. et I.R. Seddon. 1998. Synergism demonstrated between Fusarium mycotoxins. Feedstuffs, June 22 : 12; 14-17.
- Smith, T.K. et I.R. Seddon. 1998. Toxicological synergism between fusarium mycotoxins in feeds. Nutritional biotechnology in the feed and food industries: Proceedings of Alltech's 23rd Annual Symposium, Passport to the year 2000 : 257-269.
- Smith, T.K., Swamy, H.V.L.N., Raymond, S.L. et M. Zaytoun. 2002. Detrimental effects of mycotoxins on production and fertility of livestock. 23rd Western Nutrition conference : 47-54.
- Smith, T.K. 2004. Current concepts in mycotoxicosis. Feed mix, 12(3) : 16-20.
- Smith, T.K., Diaz, G., et H.V.L.N. Swamy. 2005. Current concepts in mycotoxicoses in swine . The Mycotoxin blue book. United Kingdom: Nottingham University Press : 235-248.
- Smith, T. et G. Diaz-Llano. 2007. Effects of feed-borne Fusarium mycotoxins on metabolism and reproduction in gestating and lactating sows: response to MycosorbReg. Nutritional biotechnology in the feed and food industries: Proceedings of Alltech's 23rd Annual Symposium, The new energy crisis: food, feed or fuel? : 109-114.
- Stoev, S.D. 2000. Susceptibility to secondary bacterial infections in growing pigs as an early response in ochratoxicosis. Experimental and toxicologic pathology, 52 : 287-296.

- Straw, B. E., D'Allaire, S., Mengeling, W. L., et Taylor, D. J. 2006. Diseases of swine. Ames, Iowa U.S.A: Iowa State University Press, 731-742
- Surai, P. et M. Mezes. 2005. Mycotoxins and immunity: theoretical consideration and practical applications. Praxis Veterinaria, 53(1/2) : 71-88.
- Surai, P.F. et J.E. Dvorska. 2005. Effects of mycotoxins on antioxidant status and immunity. Dans: The Mycotoxin blue book. United Kingdom: Nottingham University Press, p. 93-137.
- Swamy, H.V.L.N, Smith, T., MacDonald, E., Boermans, H. et E. Squires. 2002. Effects of feeding a blend of grains naturally contaminated with Fusarium mycotoxins on swine performance, brain regional neurochemistry, and serum chemistry and the efficacy of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent. Journal of Animal Science, 80(12) : 3257-3267.
- Swamy, H.V.L.N, Smith, T., MacDonald, E., Karrow, N., Woodward, B. et H. Boermans. 2003. Effects of feeding a blend of grains naturally contaminated with Fusarium mycotoxins on growth and immunological measurements of starter pigs, and the efficacy of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent. Journal of Animal Science, 81(11) : 2792-2803.
- Swamy, H.V.L.N, Smith, T. et E. MacDonald. 2004. Effects of feeding blends of grains naturally contaminated with Fusarium mycotoxins on brain regional neurochemistry of starter pigs and broiler chickens. Journal of Animal Science, 82(7) : 2131-2139.
- Swiss Granum. 2008. Recommandations de la branche pour prévenir les risques de mycotoxines sur les grains de céréales. [En ligne].
http://www.sgpv.ch/fspc/spaw2/uploads/documents/3df3_F_vorbeugung_mykotoxine08.pdf
- Table filière porcine du Québec. 2006. Priorités de recherche et développement de la Table filière porcine québécoise : Document synthèse de la réflexion entreprise.
- Takayama, H., Shimada, N., Mikami, O. et H. Murata. 2005. Suppressive effect of deoxynivalenol, a Fusarium mycotoxin, on bovine and porcine neutrophil chemiluminescence : an in vitro study. Journal of Veterinary Medical Science, 67(5) : 531-533.
- Tanguy, M., Burel, C., Pinton, P., Guerre, P., Grosjean, F., Queguiner, M., Cariolet, R., Tardieu, D., Rault, J.C., Oswald, I.P. et P. Fravallo. 2006. Effets des fumonisines sur la santé du porc : sensibilité aux salmonelles et statut immunitaire. Journées de la Recherche Porcine en France, 38 : 233-240 .
- Tapia, M.O. et A.A. Seawright. 1985. Experimental combined aflatoxin B1 and ochratoxin A intoxication in pigs. Australian Veterinary Journal, 62(2) : 33-37.
- Taranu, I., Marin, D., Pascale, F., Habeanu, M., Hebean, V., Bailly, J.D. et I. Oswald. 2003. Effet d'une mycotoxine, la Fumonisine B1, sur la réponse immunitaire vaccinale chez le porcelet. Journées de la Recherche Porcine en France, 35 : 451-455 .
- Taranu, I., Marin, D.E., Bouhet, S., Pascale, F., Bailly, J.D. et I.P. Oswald. 2006. In vivo and in vitro effects of fumonisin B-1 on cytokine production: implication for the immune response to vaccination. Mycotoxins and Phycotoxins : 157-167.

- Taylor, D.R. 1999. Mycotoxin binders: what are they and what makes them work? Feedstuffs, January 1841-1845.
- Teich, A.H. Hamilton, J.R. 1985. Effect of cultural practices, soil phosphorus, potassium, and pH on the incidence of fusarium head blight and deoxynivalenol levels in wheat. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 49, no 6: 1429-1431
- Tekauz, A., McCallum, B. et J. Gilbert. 2000. Review : Fusarium head blight of barley in western Canada. The Canadian Journal of Plant Pathology, 22(1): 9-16.
- Tremblay, G. et Rioux, S. 2008. Impact de la source d'azote sur diverses variables agronomiques et sur l'incidence de la fusariose de l'épi sur 10 cultivars de blé de printemps. Notes, (08.04). 5p.
- Uhlig, S., Ivanova, L., Bernhoft, A. et G.S. Eriksen. 2008. 2-amino-14, 16-dimethyloctadecan-3-ol: in vitro bioactivity and bio-production by the fungus Fusarium avenaceum. World Mycotoxin Journal, 1(1) : 49-58.
- USA, National Research Council. 1978. Interactions of mycotoxins in animal production. Proceedings of a symposium, 13 juillet, Michigan State University.
- USDA. S.d.. Testing trucklots of barley and wheat for deoxynivalenol (DON). [En ligne]. <http://archive.gipsa.usda.gov/programsfgis/inspwgh/don.pdf>
- USDA. 2006. Grain fungal diseases & mycotoxin reference. [En ligne]. <http://archive.gipsa.usda.gov/pubs/mycobook.pdf>
- Van Der Fels-Klerx, H.J., Kandhai, M.C. et C.J.H. Booij. 2008. A conceptual model for identification of emerging risks, applied to mycotoxins in wheat-based supply chains. World Mycotoxin Journal , 1(1) : 13-22.
- Veldman, C. 2004. Mycotoxins - a menace to pig production. Proceedings of the 18th IPVS Congress : 855.
- Velman, C. 2004. Mycotoxins – a menace to pig production. Proceedings of the 18th IPVS Congress, Hamburg. Allemagne. Vol. 2.
- Waalwijk, C., Koch, S.H., Ncube, E., Allwood, J., Flett, B., de Vries, I. et G.H.J. Kema. 2008. Quantitative detection of Fusarium spp. and its correlation with fumonisin content in maize from South African subsistence farmers. World Mycotoxin Journal , 1(1) : 39-47.
- Waldroup, P.W. 1997. Managing molds and mycotoxins in poultry feeds. ASA Technical Bulletin, P033 : 17 p.
- Whitlow, L.W., et W.M. Hagler. 2001. La contamination des aliments par les mycotoxines : un facteur de stress additionnel pour les bovins laitiers. 25e symposium sur les bovins laitiers : des défis? des solutions!, 17 octobre, Québec : 9-30.
- Wikipédia. 2009. Moisissure. [En ligne]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/moisissure>
- Willkens, G.I. 1986. Mycotoxin residues in animal tissues. Proceedings of the VI International Conference on the Mycoses. Agway Technical Center, Ithaca, NY 14850, USA.

- Wyatt, R.D. 2005. Mycotoxin interactions. The Mycotoxin blue book. United Kingdom: Nottingham University Press : 269-278.
- Xu, X., Nicholson, P., Thomsett, M., Simpson, D., Cooke, B., Doohan, F., Brennan, J., Monaghan, S., Moretti, A., Mule, G., Hornok, L., Beki, E., Tatnell, J., Ritieni, A. et S. Edwards. 2008. Relationship between the fungal complex causing Fusarium head blight of wheat and environmental conditions. *Phytopathology*, 98(1) : 69-78.
- Yiannikouris, A. et J.P. Jouany. 2002. Mycotoxins in feeds and their fate in animals: a review. *Animal. Research*, 5 : 181-189.
- Yiannikouris, A. et J.P. Jouany. 2002. Les mycotoxines dans les aliments des ruminants, leur devenir et leurs effets chez l'animal. *INRA Productions Animales*, 15(1) : 3-16.
- Zeijdner, E., Avantaggiato, G., Sidler, S., Escribano, F., Visconti, A. et R. Havenaar. 2003. The use of a dynamic in vitro model of the gastrointestinal tract (TIM) in studying mycotoxin adsorbents. Meeting the mycotoxin menace: Proceedings of the 2nd World Mycotoxin 17-18 February, Nordwijk, the Netherlands : 281-293.
- Zhou, B., Li, Y., Gillespie, J., He, G.Q., Horsley, R et P. Schwarz. 2007. Doehlert matrix design for optimization of the determination of bound deoxynivalenol in barley grain with trifluoroacetic acid (TFA). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55(25) : 10141-10149.
- Zomborszky, M.K., Vetési, F., Repa, I., Horn, P. et F. Kovács. 1997. Investigation into the Effects of toxins produced by *Fusarium moniliforme* on pigs. I. Definition of tolerance limit values in weaned piglets. Preliminary communication. [En ligne]. www.univet.hu/mal/1997e.htm.

Annexe 2 - Synthèse de la littérature consultée sur les interactions entre les mycotoxines chez les porcs.

Tel que mentionné précédemment, la difficulté d'évaluer les effets néfastes des mycotoxines est entre autre causé par la possibilité d'une interaction entre des mycotoxines lors de la fabrication d'une moulée. Comme les animaux sont généralement nourris d'un mélange d'aliments et que les moisissures peuvent produire une gamme de mycotoxines, de nombreuses interactions entre les toxines sont possibles (Whitlow et Hagler, 2001). De plus, les aliments pour animaux sont souvent fabriqués à partir d'ingrédients provenant de diverses régions géographiques. Un ingrédient récolté localement peut être contaminé avec une mycotoxine tandis qu'un autre ingrédient, provenant d'une autre région, peut être détérioré par une autre mycotoxine totalement différente. Lorsque les deux ingrédients sont employés ensemble dans la fabrication d'un aliment, il y a interaction entre les mycotoxines. Dans cette optique, l'augmentation des échanges avec les marchés internationaux peut contribuer au problème en augmentant les chances que les aliments fournis aux animaux contiennent des ingrédients provenant de différentes régions géographiques.

Le porc peut répondre différemment lorsqu'il est exposé à plus d'une mycotoxine en même temps. La réponse peut être soit additive (même réponse que la somme des effets de chacune des mycotoxines prises individuellement), antagoniste (moins grande que la réponse prévue par chacune des mycotoxines prises individuellement) ou synergique (plus grande que la somme des réponses attendues par chaque mycotoxine) (Wyatt, 2005). Une prise de conscience de la part des producteurs est essentielle en regard de la co-contamination des céréales par les mycotoxines et des réponses qu'elles pourraient occasionner chez les animaux qui consomment ces aliments contaminés. Cette prise de conscience inclut une compréhension de la diversité des mycotoxines produites par une seule moisissure, une augmentation des connaissances en regard de la coproduction de mycotoxines par les moisissures, des analyses de routine pour déceler les contaminations de mycotoxines dans l'alimentation et la mise en valeur des tests d'analyse de la contamination des aliments par les mycotoxines, spécialement les tests de criblage qui détectent la présence de multiple mycotoxines ou de groupes de toxines.

Principaux effets de combinaisons de mycotoxines rapportées dans la littérature

Combinaisons de mycotoxines		Auteurs
Aflatoxine B1 Fumonisine B1	<ul style="list-style-type: none"> • Une dose de 0,05 mg/kg d'aflatoxine B1 est insuffisante pour créer une aflatoxicose. De plus, prise individuellement, cette dose n'affecte pas la prise alimentaire ni le gain de poids • On note une différence significative dans la prise alimentaire avec une réponse synergique entre les deux mycotoxines chez les porcelets recevant 30 mg/kg de FB1 et 0,05 mg/kg d'aflatoxine B1. • Cette étude a permis de conclure que la concentration d'aflatoxine maximale recommandée (Ministère Brésilien) est de 0,05 mg/kg, qui ne représente aucun effet néfaste pour l'animal. Toutefois, lorsque cette concentration est associée avec 30 mg/kg de FB1, un effet synergique entre les deux mycotoxines est observé. 	Dilkin, <i>et al.</i> , 2003

<p>Aflatoxine B1 Fumonisine B1</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La prise alimentaire diminue avec la consommation de d'aflatoxine B1 ou de fumonisine B1, qu'elles se retrouvent seule ou en association. • Le poids et le gain de poids diminue significativement chez les porcelets recevant une alimentation contaminée par une combinaison de 25 mg/kg aflatoxine B1 et 100 mg/kg de fumonisine B1 comparativement aux porcelets recevant une alimentation contaminée par l'aflatoxine seulement. On note donc un effet synergique entre les deux mycotoxines lorsque les deux sont combinées. 	<p>Harvey <i>et al.</i>, 1995</p>
<p>Fumonisine B1 Vomitoxine (Déoxynivalénol)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La fumonisine B1 ou la vomitoxine prise individuellement n'affecte pas le gain de poids. Cependant, chez les porcelets recevant une ration contenant de la fumonisine B1 et de la vomitoxine ensemble, on note une perte du poids corporel et une diminution du gain de poids. • Les porcelets contaminés par la fumonisine B1 ou par la vomitoxine uniquement apparaissent cliniquement normaux. Les porcelets recevant la ration contaminée par les deux mycotoxines sont sensiblement plus petits, passent moins de temps à la mangeoire et ont un poil généralement plus dur. • Une contamination par 50 mg/kg de fumonisine B1 peut provoquer des maladies rénales et hépatiques en plus de diminuer la fonction immunitaire des porcelets. • Une contamination par 4,0 mg/kg de vomitoxine ne cause généralement aucun effet indésirable. • La combinaison de 50 mg/kg de fumonisine B1 et 4,0 mg/kg de vomitoxine conduit à une réponse plus toxique que lors de l'intoxication par une seule mycotoxine à la fois. Pour certains paramètres la réponse semble donc additive tandis que pour d'autres, la réponse est plutôt synergique. 	<p>Harvey <i>et al.</i>, 1996</p>
<p>Aflatoxine Ochratoxine</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La contamination par 2,0 mg/kg d'aflatoxine cause une diminution du gain de poids mais une contamination par ochratoxine seulement n'affecte pas le gain de poids. On note une réponse additive lors de l'association de l'aflatoxine et de l'ochratoxine dans l'alimentation. • La contamination par l'ochratoxine ou l'aflatoxine, seule ou en combinaison, affecte les valeurs hématologiques et biochimiques, le poids des organes et les performances cliniques des porcelets. • Les valeurs de certaines mesures sont affectées davantage lors de la combinaison des deux toxines. • Valeurs hématologiques variables mais plus sensibles avec les effets combinés des deux toxines. 	<p>Harvey <i>et al.</i>, 1989</p>

<p>Ochratoxine Toxine T2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La consommation d'ochratoxine ou de toxine T2, seule ou en combinaison, diminue la prise alimentaire, la masse corporelle et le gain de poids des animaux. • On note une réponse additive lors de la combinaison des deux mycotoxines, le gain de poids étant moins élevé. • Une contamination par la toxine T2 ou l'ochratoxine, seule ou en combinaison, affecte les valeurs biochimiques, hématologiques, immunologiques et le poids des organes. • Avec une contamination par l'ochratoxine, on mentionne également une diminution du taux de cholestérol, une diminution du phosphore inorganique et des valeurs en ALP, une augmentation de la créatine et une élévation de la concentration en protéines totales • La contamination par la toxine T2 uniquement amène, entre autre, une diminution de l'activité d'ALP, de la concentration en hémoglobine et du nombre d'hématocrites. • Lors de l'association de la toxine T2 et de l'ochratoxine, on remarque une diminution du taux de cholestérol, du taux de GGT et des valeurs d'ALP. On note également une augmentation de la valeur en créatinine • Des changements dans les valeurs des activités de l'ALP, du cholestérol et de la concentration en créatinine induite par l'ochratoxine et les changements de valeurs des activités de l'ALP induite par la toxine T-2 semblent être des effets de chacune des toxines prise de façon individuelle. La combinaison des deux n'amène pas un effet additif ou synergique. Aussi, chacune des toxines prise individuellement n'affecte pas l'activité du GGT mais la combinaison des deux diminue celle-ci de façon apparemment synergique. • La plupart des altérations hématologiques sont attribuables à l'ochratoxine plutôt qu'à la toxine T-2 et la combinaison des deux reflète l'influence de l'ochratoxine principalement. • La toxine T-2 n'altère pas la fonction immunitaire mais affecte le nombre de lymphocytes et diminue le nombre de cellules médiatrices ; la combinaison de la toxine T-2 avec l'ochratoxine diminue l'activité des macrophages de façon plus importante que chacune des toxines prises individuellement. 	<p>Harvey <i>et al.</i>, 1994</p>
<p>Aflatoxine Toxine T2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La consommation d'aflatoxine ou de toxine T-2, seule ou en combinaison, amène une perte de poids corporel et diminution du gain de poids. • La contamination par l'aflatoxine seule diminue le 	<p>Harvey <i>et al.</i>, 1990</p>

	<p>gain de poids de façon plus importante qu'une contamination par la toxine T-2 seulement.</p> <ul style="list-style-type: none"> • On remarque une réponse antagoniste lors de l'association des deux mycotoxines. En effet, la combinaison de l'aflatoxine et de la toxine T-2 amène une diminution du gain de poids plus importante que la diminution engendrée par chacune des toxines prises individuellement. • Des changements cliniques sont observés chez tous les animaux contaminés par les mycotoxines, qu'elles soient prises seules ou en association. 	
<p>Toxine T2 Vomitoxine (Déoxynivalénol)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Un gain de poids et une prise alimentaire moins élevés sont observés lors d'une contamination par la vomitoxine uniquement. • La toxine T2 ne semble pas avoir d'effets sur les organes principaux, ni sur les paramètres hématologiques et biochimiques. Les effets observés semblent davantage causés par la vomitoxine et à son interaction avec la toxine T2 plutôt qu'à la toxine T2 elle-même. 	<p>Friend et al., 1992</p>

Annexe 3 - BioVeille, Février 2009. Les mycotoxines : contaminants de l'alimentation animale

Vous pouvez obtenir la publication Bio-Veille – Les mycotoxines : contaminants de l'alimentation animale à l'adresse Internet ci-dessous, moyennant des frais de 40 \$ pour les non-membres et de 24 \$, pour les membres :

<http://www.cqyb.qc.ca/fra/publications-veille-strategique/publications-reseau-bio-innovation.asp>

**Annexe 4 - CDPQ 2009, Les mycotoxines et le système immunitaire.
Présentation power point**

(voir le document suivant)




**Les mycotoxines
et le
système immunitaire porcin**



Objectifs de présentation

- Le projet mycotoxines au CDPQ
- Aspect mycotoxines et système immunitaire:
Quels sont les interactions ?
- Connaître la situation sur le terrain
- Cibler les besoins
- Élaborer des recommandations pour des
travaux futurs




Le projet mycotoxines au CDPQ

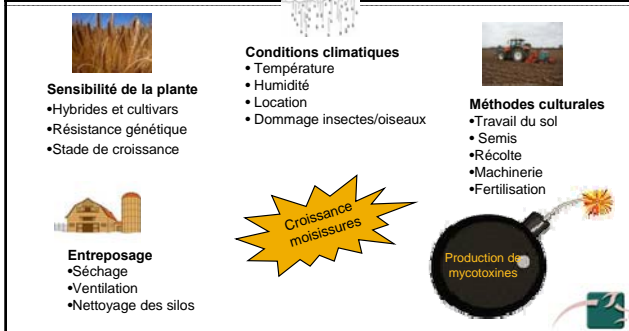
Développer, pour l'industrie, un programme et des outils pour connaître les risques liés aux mycotoxines et les moyens pour les gérer le plus efficacement possible

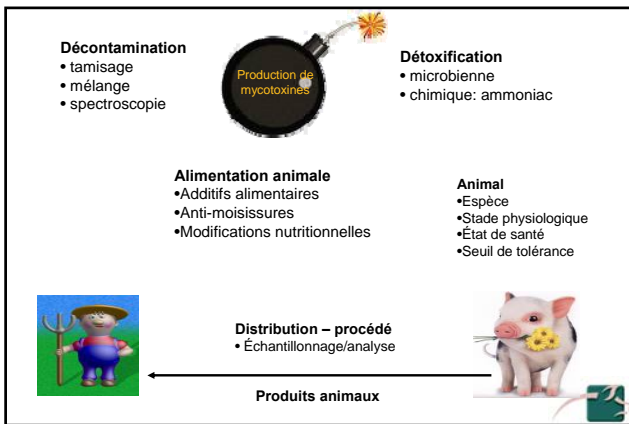
Mycotoxines vs immunité

Répertorier et analyser, par une étude de la littérature, les interactions qui peuvent exister entre les mycotoxines et le système immunitaire des porcs, plus particulièrement sur l'efficacité des vaccins. À partir des résultats obtenus et des consultations avec des vétérinaires, élaborer des recommandations sur des travaux qui pourraient être entrepris à court, moyen et long termes



Facteurs affectant la présence des mycotoxines dans la chaîne alimentaire



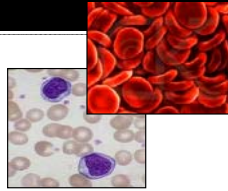


Aspect mycotoxines et système immunitaire: Quelles sont les interactions???

- Généralités
- Les mycotoxines ayant un impact "reconnu"
- Interactions des mycotoxines sur le système immunitaire porcin
- Seuils de tolérance et effets sur les porcs
- Effets de la vaccination sur le système immunitaire porcin
- Sensibilité aux maladies infectieuses

De façon générale...

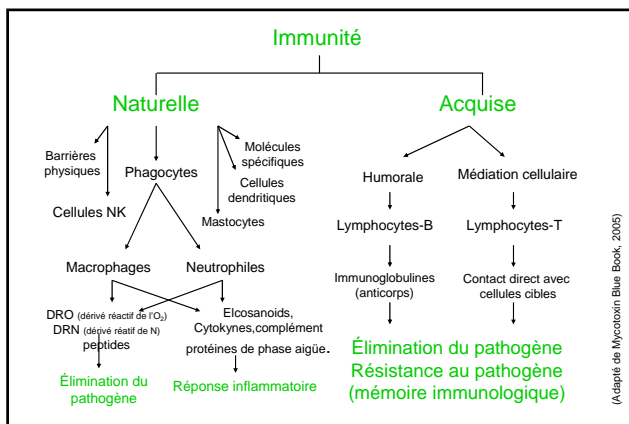
Les mycotoxines peuvent agir à tous les niveaux du système immunitaire et du système « antioxydant » en affectant toutes les cellules impliquées dans ces processus.



Il existe deux mécanismes de la réponse immunitaire:

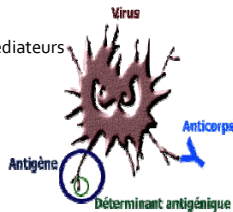
- Réponse naturelle (non-spécifique)
- Réponse acquise (spécifique)





De façon générale...

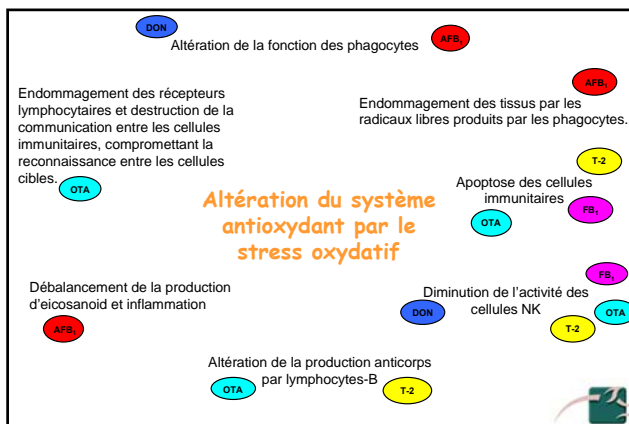
- Altération de la viabilité et/ou activation des cellules phagocytaires (macrophages et neutrophiles)
- Modulation de la synthèse de cytokines ou de médiateurs
- Ralentissement des fonctions effectrices des macrophages et/ou neutrophiles
- Diminution de l'activité des lymphocytes T et B



De façon générale...

- Apoptose des cellules
- **Stress oxydatif**
- Régulation de l'expression des gènes





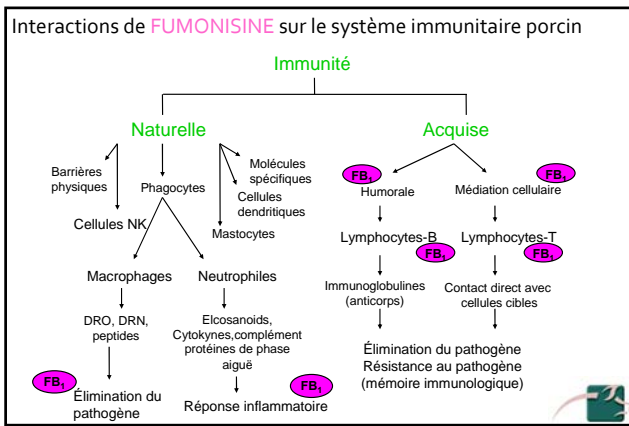
Mycotoxines ayant un impact « reconnu » sur le système immunitaire

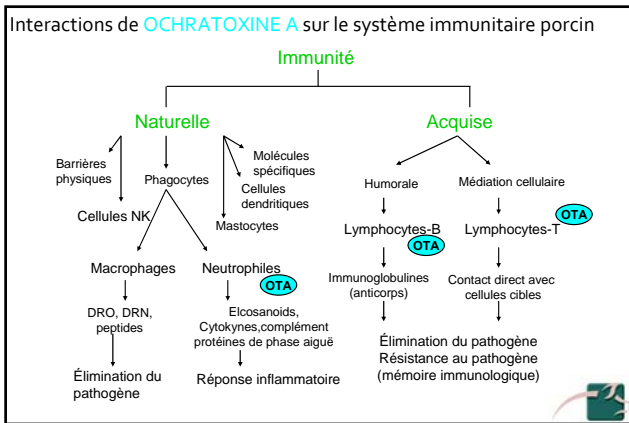
- Fumonisine
- Tricothécènes: DON, T₂,
- Ochratoxine
- Aflatoxines
- Zéaralénone (peu d'études - pas d'effets)



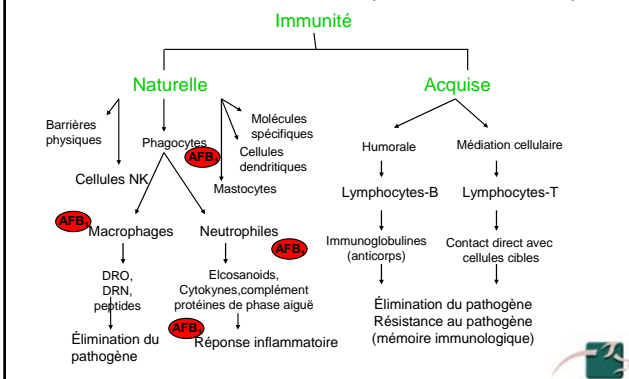
Champignon (Moississure)	Mycotoxines	Facteurs favorisants
Fusarium	Fumonisine	Température optimale entre 22 °C et 25 °C. Conditions climatiques chaudes et sèches Hybrides cultivés hors de leur zone d'adaptation
Aspergillus	Aflatoxine	Température optimale entre 28 °C et 33 °C. Plantes stressées ; insectes, graines abimées Stockage en milieu humide et chaud
Aspergillus Penicillium	Ochratoxine	Température optimale entre 28 °C et 33 °C (20 °C - 25 °C) Activité de l'eau > 0,83
Fusarium	Tricothécènes (DON, T-2)	Température entre 1 °C et 2 °C. Activité de l'eau > 0,9 Périodes prolongées de stockage à des températures voisines de 0 °C en atmosphère humide. Possibilité de développement en milieu confiné

(Adapté de Bonnin, 2004)

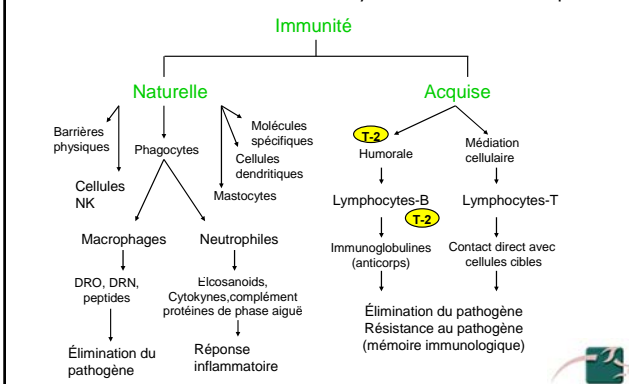




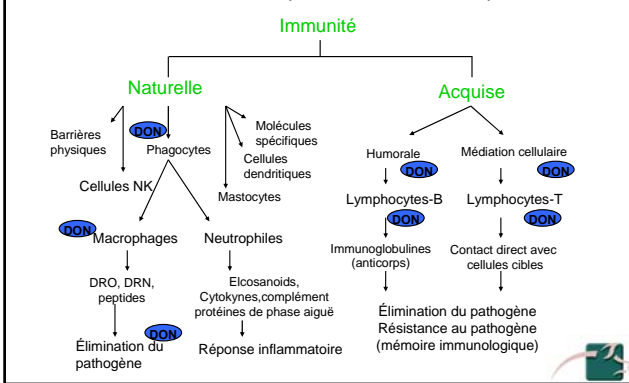
Interactions de l'AFLATOXINE sur le système immunitaire porcin

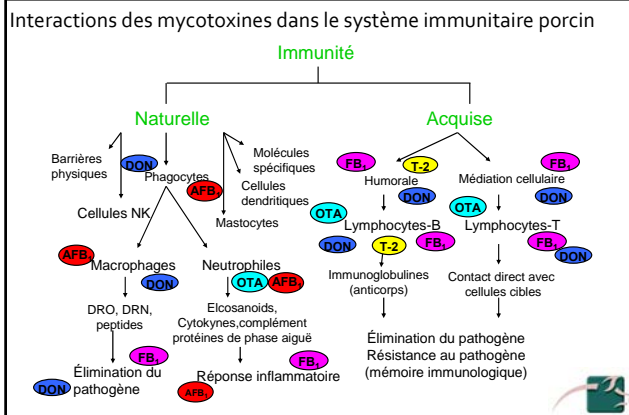


Interactions de la TOXINE T2 sur le système immunitaire porcin



Interactions du DON sur le système immunitaire porcin





Seuils de tolérance chez les porcs

- La détermination d'un seuil de tolérance conduit généralement à fixer des concentrations maximums de mycotoxines à ne pas dépasser lors de l'incorporation d'un ingrédient dans la fabrication d'une moulée pour les porcs
- De plus en plus de mycotoxines font l'objet d'une réglementation ou d'une norme, établie selon des seuils de tolérance.
- Difficulté d'établir les seuils de tolérance puisqu'il existe des interactions des mycotoxines les unes avec les autres et avec d'autres facteurs environnementaux et nutritionnels

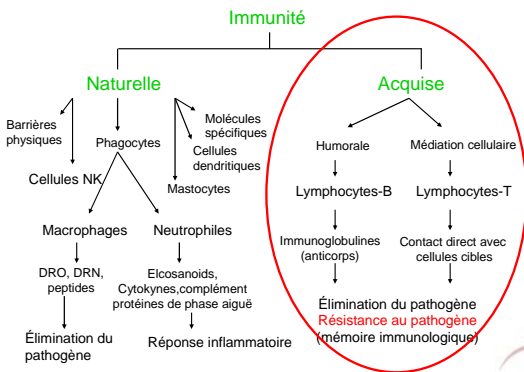
Seuils de tolérances (FAO, Food and Nutrition Paper 64, 1997)

Mycotoxines	Produit	Canada	Produit	É-U
Déoxynivalénol (mg/kg)	Blé tendre non nettoyé pour la consommation humaine	2	Produits de blé finis	1
	Rations pour bovins et volaille	5	Grains et sous-produits de grains destinés aux bovins de boucherie en parc d'engraissement de plus de 6 mois et aux poulets (ne dépassant pas 50% de la ration totale des bovins ou des poulets)	10
	Rations pour porcs, jeunes veaux et animaux laitiers en lactation	2	Grains et sous-produits de grains (ne dépassant pas 40% de la ration)	5
			Grains et sous-produits de grains destinés aux porcs (ne dépassant pas 20% de la ration)	5
Toxine HT-2 (mg/kg)	Rations pour bovins et volaille	0,1		
	Rations pour animaux laitiers	0,025		
Aflatoxines (µg/kg)	Produits de noix pour consommation humaine	15	Tous les aliments	20
	Aliments pour animaux	20	Produits laitiers (AFM ₁)	0,5
			Ingrédients alimentaires	20
			Tourteau de coton destinés aux bovins, aux porcs ou à la volaille adulte (peu importe l'âge ou l'état de reproduction)	300
			Produits de maïs et d'arachide destinés aux bovins de boucherie de reproduction, aux porcs et à la volaille adulte	100
			Produits de maïs et d'arachide destinés aux porcs de finition de 100 lbs ou plus	200
		Produits de maïs et d'arachide destinés aux bovins de boucherie de finition	300	

Seuils de tolérances (Charmley et Trenholm)

Mycotoxine	Seuils de tolérance recommandés au Canada	Directives aux É-U
Diacetoxyscirpenol (DAS)	Aliments pour porcs < 2 Aliments pour volaille < 1	
Toxine T-2	Aliments pour porcs et volaille < 1	
Zéaralénone	Rations pour jeunes truies < 2-3 Rations pour vaches : 10 (1,5 si autres toxines présentes) *L'industrie porcine s'est montrée préoccupée par les concentrations de 0,25 à 5 dans les rations pour moutons et porcs.	
Ochratoxine A	Rations pour porcs (lésions aux reins) : 0,2 Rations pour porcs (gain de poids réduit) : 2 Rations pour volaille : 2	
Ergot	Teneur maximale en alcaloïdes des aliments Bovins, moutons, chevaux : 2-3 Porcs : 4-6 Poussins : 6-9	
Fumonisine		Alimentation animale Ration totale chevaux et lapins : 1 Ration totale porcs : 10 Ration totale bovins, moutons et chèvres de plus de 3 mois : 30 Ration totale des reproducteurs chez les ruminants et la volaille : 15 Ration totale de la volaille destinée à l'abattoir : 50

Effet de la vaccination dans le système immunitaire porcine



Baisse de l'efficacité vaccinale

Vaccin: *Erysipelas Rhusiopathiae*
(principal agent du rouget)

Étude de Cysewski et al. 1978

- 24 porcelets de 15-19 kg
- Contamination: 1,3 ppm d'aflatoxine (65X le seuil de tolérance)
- Vaccin: vaccin tué contenant agent contre le rouget
- Durée expérimentale: 25 jours et 2 expositions à *E. rhusiopathiae*
- Aflatoxine + vaccin = 1/5 partiellement immunisés**
4/5 atteints du rouget
- Aflatoxine Ø vaccin = 6/6 atteints du rouget**
- Altération de l'efficacité vaccinale et diminution de l'immunité acquise lors de la vaccination contre *Erysipelas rhusiopathiae*

Baisse de l'efficacité vaccinale

Vaccin: *Mycoplasma agalactiae*
(principal agent du mycoplasme)

- Étude de Taranu *et al.* 2003

- 20 porcelets de 12 kg
- Contamination: 8,0 ppm de fumonisine B₁ (sous le seuil de tolérance)
- Durée expérimentale: 28 jours
- Vaccin: combinaison de souches inactivées de *M. agalactiae*
- Après une exposition prolongée à cette mycotoxine, le dosage d'anticorps des porcelets recevant une alimentation contenant FB₁ est passé de 1025 nm à 700 nm (↓31 %) par rapport au groupe contrôle.
- Diminution de la synthèse d'anticorps spécifiques anti-*Mycoplasma agalactiae* induite par la vaccination.



Baisse de l'efficacité vaccinale

Vaccin: *Mycoplasma agalactiae*
(principal agent du mycoplasme)

- Étude de Marin *et al.* 2002

- 36 porcelets de 10-12 kg
- Contamination: 0,14 ppm et 0,28 ppm d'aflatoxine B₁
(entre 7 et 14X le seuil de tolérance)
- Durée expérimentale: 30 jours et 2 injections de mycoplasme
- Vaccin : combinaison de souches inactivées de *M. agalactiae* diluée dans de l'hydroxyde d'alumine
- Tendance à la diminution d'anticorps de 15 % pour les porcelets recevant une ration contenant 0,14 ppm d'aflatoxine B₁ et de 18 % pour les porcelets recevant une ration contenant 0,28 ppm d'aflatoxine B₁.



Baisse de l'efficacité vaccinale

Vaccin: *Salmonella Choleraesuis*
(agent de la diarrhée hémorragique)

- Étude de Stoev *et al.* 1999

- 12 porcelets de 17 kg
- Contamination: 1,0 ppm d'ochratoxine A (respect du seuil de tolérance)
- Durée : 60 jours
- Vaccin : combinaison d'une souche *Salmonella Choleraesuis* diluée avec formaline et alumine
- Chez les animaux vaccinés contre *Salmonella Choleraesuis*, l'ingestion de nourriture intoxiquée conduit à des infections naturelles par *Serpulina hyodysenteriae* et *Campylobacter coli*.
- Évidence d'une immunosuppression et diminution de la réponse vaccinale.



Baisse de l'efficacité vaccinale

Vaccin: Fièvre porcine - Étude de Choudhury *et al.* 1998
(agent du virus de la fièvre porcine)

- 18 porcelets de 8 – 10 semaines
- Contamination: 0,0064 ppm d'aflatoxine / jour
(sous le seuil de tolérance)
- Durée : 90 jours
- Vaccin : vaccin lapinisé avec virus de la fièvre porcine (J30)
Ø Aflatoxine + vaccin = 1 : 256 (J30) et 1 : 128 (J60)
Aflatoxine + vaccin = 1 : 16
Ø Aflatoxine Ø vaccin = réponse négative !
- Suppression de la réponse immunitaire humorale et diminution de l'efficacité du vaccin contre virus de la fièvre porcine



Baisse de l'efficacité vaccinale

Vaccin: Ovalbumine
Étude de Pinton *et al.* 2006

- 24 porcelets de 19 – 24 kg
- Contamination: 2,5 ppm de vomitoxine (sous le seuil de tolérance)
- Durée: 9 semaines
- Vaccin : 2 mg ovalbumine diluée dans adjuvant incomplet de Freund
- Les teneurs en IgG et IgA anti-ovalbumine chez les porcs vaccinés augmentent davantage lorsqu'ils consomment un aliment contaminé avec 2,5 ppm de DON (vomitoxine).
- Augmentation transitoire de la capacité de prolifération des lymphocytes, suivi d'une immunosuppression



Sensibilité aux maladies infectieuses

- Effets des mycotoxines sur le système immunitaire des porcs lorsque celui-ci est "challengé", en plus, par une maladie infectieuse (E. Coli)
- Les mycotoxines diminuant l'immunité, les porcs sont ainsi plus susceptibles de contracter une maladie infectieuse (salmonellose).



Sensibilité aux maladies infectieuses

Rouget porcin

- Étude de Cysewski *et al.* 1978

Aflatoxine B1 et *Erysipelas Rhusiopathiae*

- 24 porcelets de 15 - 20 kg
- Contamination: 1,3 ppm d'aflatoxine (65X le seuil de tolérance)
- Durée expérimentale: 25 jours
 - Aflatoxine Ø vaccin : 6/6 atteints du rouget**
 - ØAflatoxine Ø vaccin : 2/6 partiellement immunisés**
 - 4/6 atteints du rouget**
- La consommation d'une alimentation contaminée par aflatoxine augmente la sévérité de l'infection par *E. rhusiopathiae*



Sensibilité aux maladies infectieuses

Désordres respiratoires

- Étude de Halloy *et al.* 2005)

FB1 et *Pasteurella multocida*

- 20 porcelets de 10 - 12 kg
- (non infectés par mycoplasme et vaccinés contre SRRP)
- Durée : 7 jours
- Contamination : 0,5 ppm de FB1 / jour (sous le seuil de tolérance)
- Lors d'une alimentation avec FB1 et d'une inoculation avec *P. multocida*, une augmentation de 2X le nombre de macrophages et de 7X le nombre de lymphocytes est observée par rapport au groupe témoin.
- L'ingestion de fumonisine B1 augmente la sévérité de l'infection à *Pasteurella multocida*.



Sensibilité aux maladies infectieuses

Circovirus Type 2

- Étude de Fernando *et al.* 2008

FB1 et Circovirus porcin Type 2

- Expérimentation faite sur des cellules rénales porcines. FB1 a été introduite aux cellules à des concentrations de 5 ou 25 uM. Les cellules ont ensuite été infectées par PCV2.
- 6 traitements au total :
 - 1 et 2 : Infection par PCV2 + exposition à FB1
 - 3 et 4 : Ø infection par PCV2 + exposition à FB1
 - 5 : Infection par PCV2 ; Ø exposition à FB1
 - 6 : Ø infection par PCV2 ; Ø exposition à FB1
- Cellules infectées par PCV2 et exposées à FB1 présentent un titrage viral plus élevé (1 :2580) que les cellules infectées par PCV2 seulement. Ce résultat suggère un synergisme possible entre FB1 et PCV2.
- Ce résultat suggère que FB1 stoppe le cycle cellulaire et diminue la prolifération cellulaire, ce qui augmente le rapport virus/cellule.

Sensibilité aux maladies infectieuses

Dyphthérie porcine

- Etude de Joens et al., 1981

Aflatoxine B1 et *Treponema hyodysenteriae*

- Porcelets de 7-10 kg
- Contamination: Aflatoxine B₁ J₁ à J₂₁ 0,07 ppm/porc/jour
J₂₂ à J₃₂ 0,105 ppm/porc/jour
J₃₃ à J₆₃ 0,140 ppm/porc/jour
(entre 3 et 7X le seuil de tolérance)
- Durée: 63 jours et 2 expositions à *T. hyodysenteriae* (J₄ et J₃₃)

Aflatoxine	Ø <i>T. hyodysenteriae</i>	Ø diarrhée Ø diphtérie 1 mort (inconnu)
Aflatoxine	<i>T. Hyodysenteria</i>	7/8 diarrhée 7/8 diphtérie 4/8 morts
Ø Aflatoxine	<i>T. Hyodysenteria</i>	6/8 diarrhée 6/8 diphtérie 1/8 mort

- Augmentation dans la fréquence et l'intensité des épisodes diarrhéiques à la première exposition

Sensibilité aux maladies infectieuses

Diarrhées E. Coli

- Étude de Fomout et al., 2000; Oswald et al. 2003

Fumonisine B1 et E. Coli

- 20 porcelets de 3 semaines
- Contamination: 0,5 ppm / jour de Fumonisine B₁
(sous le seuil de tolérance)
- Durée: 7 jours (inoculation avec E. Coli à J₇)
- Augmentation de la colonisation de l'intestin par E. Coli 2X plus importante lors d'une alimentation avec FB₁ par rapport au groupe témoin.
- Cette sensibilité est associée à une diminution de l'expression des ARNm codant pour IL-8 dans l'ileum des porcs contaminés par la FB₁ (Bouhet et al., 2006)



Sensibilité aux maladies infectieuses

Salmonelles

- Étude de Stoev et al. 1999

Ochratoxine A et *Salmonella Choleraesuis*

- 18 porcelets de 10-15 kg
- Contamination: 1ppm et 3 ppm d'ochratoxine A
(3 ppm est plus élevé que le seuil de tolérance)
- Durée: 3 semaines
- Apparition spontanée de la salmonellose chez tous les porcelets ayant reçu une alimentation contaminée par 3 ppm d'OTA et chez le 1/3 des porcelets recevant un aliment contaminé par 1 ppm d'OTA. Aucun animal recevant le régime témoin n'a été affecté.
- Les infections sont obtenues spontanément, sans infection expérimentale.



Expérimentation vs réalité

- Les aliments contaminés naturellement sont plus toxiques que les aliments auxquels on inclut la même concentration de mycotoxine pure. La présence de plusieurs mycotoxines dans l'environnement naturel peut expliquer ce phénomène. De plus, de nouvelles recherches ont démontré que les mycotoxines peuvent se lier à d'autres substances comme le glucose et, de ce fait, échapper à la détection à l'aide de méthodes d'analyses normales.
- Les doses utilisées expérimentalement sont-elles un bon reflet de celles retrouvées en réalité dans l'alimentation ???

D'après les résultats de différentes études effectuées sur l'aflatoxine, les doses utilisées sont parfois jusqu'à 65X plus élevée que les seuils tolérés. Pour ce qui est de la fumonisine et de l'ochratoxine, les doses utilisées respectent les normes recommandées. Aucune étude n'a été faite en rapport à la vomitoxine.



Travaux en cours

Québec

- Dr Younès Chorfi : laboratoire vétérinaire en agroenvironnement de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal
- Indicateurs physiologiques de mycotoxicoses chez les animaux de différentes espèces, incluant les porcs.
- Méthodes d'analyse de certains métabolites indicateurs d'un challenge mycotoxique de l'animal.
- Porc : parallèle entre les doses ingérées de mycotoxines et les réponses physiologiques observées. L'emploi de telles analyses viendra faciliter le travail d'évaluation des effets toxiques des mycotoxines sur les animaux et aussi l'évaluation de l'efficacité des additifs ou des stratégies nutritionnelles qui pourraient être employées.



Travaux en cours

INRA - France

- Isabelle Oswald – Institut national de la recherche agronomique en France.
- Effets des mycotoxines, principalement issus des moisissures du genre *Fusarium*, sur le système immunitaire et sur la réponse de l'animal à l'infection et à la vaccination.
- Dre Oswald et ses collaborateurs ont écrit de nombreuses publications sur le sujet.



Conclusion - Constats

- Les mycotoxines peuvent agir à tous les niveaux du système immunitaire et du système oxydatif des porcs. Elles peuvent donc influencer la réponse immunitaire de l'animal et ces changements sont responsables de leur action immunosuppressive.
- La diminution des fonctions immunitaires des porcs par les mycotoxines peut également réduire l'efficacité vaccinale (diminution du nombre d'anticorps) et thérapeutique, rendant les animaux plus susceptibles aux infections comme *E. Coli* et SRRP.
- Les effets néfastes des mycotoxines sur la résistance aux maladies et l'affaiblissement du système immunitaire en général sont difficiles à reconnaître. Les signes de maladies sont souvent associés à la présence d'une infection plutôt qu'à la présence de mycotoxines qui prédisposent l'animal à l'infection.



Recommandations

- La plupart des études sont faites avec des doses élevées ou moyennes de mycotoxines ; il serait important de connaître les effets avec de faibles doses (seuils de tolérance et moins).
- Il faudrait développer des « outils » multidisciplinaires pour répondre aux besoins des différents spécialistes à qui l'information en dehors de leur champs d'intérêts (santé, alimentation, environnement...) fait défaut.
- Il serait intéressant de pouvoir obtenir la valeur réelle du contenu en mycotoxines des lots de grains



Recommandations

- Poursuivre les travaux en cours, entre autre:
 - Mise au point de méthodes diagnostics des mycotoxicoses sur l'animal vivant (FMV)
 - Impact de la contamination alimentaire par la vomitoxine sur la prédisposition aux infections par le circovirus et le virus du SRRP (FMV)
 - Caractériser la réponse immunitaire mucoale intestinale des porcs sevrés et exposés à diverses mycotoxines (AAC-Lennoxville)
 - Mise au point d'un protocole d'évaluation des additifs alimentaires et développement d'indicateurs physiologiques chez le porc



Annexe 5 - Description de méthodes d'analyse des additifs alimentaires

Test d'absorption et d'adsorption nette

- Préparer une solution de mycotoxine à partir de produit de synthèse. Dissoudre dans de l'eau. La concentration choisie dépendra de la solubilité de la mycotoxine dans une solution aqueuse, de la facilité à effectuer l'analyse sur HPLC et du coût de la mycotoxine. Une concentration de 2µg de mycotoxine / ml est proposée puisque la solubilité des mycotoxines est limitée dans l'eau. Une concentration plus élevée pourrait faire précipiter la solution et produire des résultats d'adsorption erronés.
- Combiner une quantité de cette solution avec une quantité connue d'agent liant
- Effectuer les analyses en triplicata
- Faire incuber le mélange à une température et à un pH donné pendant un certain nombre d'heures en agitant constamment
- Après l'incubation, centrifuger les tubes afin de séparer la fraction contenant la mycotoxine libre de celle liée
- La fraction contenant la mycotoxine libre est analysée avec un HPLC (ou avec un kit ELISA) afin de pouvoir déterminer la concentration de mycotoxine. L'échantillon standard est également analysé.

On calcule le % adsorption de la mycotoxine ainsi :

$$100 - ([\text{mycotoxine dans le surnageant}] / [\text{mycotoxine dans l'échantillon standard}] \times 100).$$

- La fraction contenant l'adsorbant et la mycotoxine séquestrée est reprise pour mesurer ensuite la quantité de mycotoxine relarguée
- Incorporer 10 ml d'eau à cet échantillon
- Incuber la solution à une température et à un pH donnée pendant un certain nombre d'heures en agitant constamment
- Centrifuger et séparer la fraction contenant l'adsorbant lié à la mycotoxine de celle où la mycotoxine est relarguée
- La solution est analysée par HPLC (ou avec un kit ELISA) afin de déterminer la concentration de mycotoxine relarguée

On calcule le % mycotoxine relarguée ainsi :

$$[\text{mycotoxine dans le surnageant}] / [\text{mycotoxine dans l'échantillon standard}] \times 100.$$

On calcule le % adsorption nette de la mycotoxine ainsi :

$$\% \text{ mycotoxine adsorbée} - \% \text{ mycotoxine relarguée}$$

N.B. Certains auteurs effectuent les essais d'adsorption *in vitro* en utilisant différentes concentrations de mycotoxines et d'agent séquestrant et feront les essais en soumettant les échantillons à différents pH.

Annexe 6 - Liste des laboratoires d'analyse des grains

(voir le document suivant)

Annexe 7 - Carnet des consultations et activités de diffusion réalisées

La réalisation de ce projet a été possible grâce aux nombreux avis recueillis auprès de différents spécialistes et personnes ressources. Le tableau suivant présente les personnes et organisations qui ont été consultées à une étape ou l'autre du processus de réalisation ou de rédaction du rapport, incluant les spécialistes du comité de réalisation du projet.

Tableau des consultations réalisées dans le cadre du projet Mycotoxines

Personnes consultées	Organisation/compagnie	But de la consultation
Spécialistes du comité de réalisation		
Younès Chorfi	FMV, Université de Montréal	Médecine vétérinaire
Martin Lessard	AAC	Nutrition animale
Jean-François Bernier	Université Laval	Nutrition animale
Frédéric Guay	Université Laval	Nutrition animale
Michel Vignola	Nutreco/AQINAC	Nutrition animale
Emmanuelle Lewis	Agri-Marché Inc./AQINAC	Nutrition animale
Sylvie Rioux	CEROM	Cultures végétales
Gilles Tremblay	CEROM	Cultures végétales
Janie Lévesque	Consultante	Recherche et synthèse information
Marie-Pierre Fortier	Étudiante stagiaire	recherche et synthèse information
Johanne Nadeau	CDPQ	Documentaliste
Dora Rodriguez	CQVB	Diffusion
Sylvie Richard	AQINAC	Diffusion
Sébastien Lacroix	AQINAC	Diffusion
Robert Fillion	CDPQ	Responsable projet
Marie-Josée Turgeon	CDPQ	Chargée projet
Industrie		
Robert Gauthier	JEFO Nutrition	Fournisseur d'additifs, évaluation des additifs
Louise Morneau	JEFO Nutrition	Fournisseurs d'additifs
Yvan Girard	Probiotech	Fournisseur d'additifs, évaluation des additifs
Pierre Desmarais	Biomin Canada	Fournisseur d'additifs, évaluation des additifs
Joël Cormier	Alltech (jusqu'en avril 2009)	Fournisseur d'additifs, évaluation des additifs, diffusion d'information

François Ouellet	Alltech	Fournisseur d'additifs, diffusion d'information
Yvan Lacroix	AQINAC	Réseau d'évaluation des récoltes et diffusion d'information
Jean-Pierre Brochu	Agri-Marché	Réseau d'évaluation des récoltes
Chantal Simoneau	Nutreco	Réseau d'évaluation des récoltes
René Lallier	Jupiter	Fournisseurs d'additifs
André Broes	Biovet	Fournisseur de trousse de détection des mycotoxines
Martin Grégoire	DCL	Fournisseurs d'additifs
Ben Letor	INVE	Fournisseurs d'additifs
Producteurs		
Benoit Legault	FPCCQ	Réseau d'évaluation des récoltes
Claude Miville	FPPQ	Plan d'actions
Jean Howden	Ontario Pork	Plan d'actions
Chercheurs		
Trevor K Smith	Université de Guelph	Seuils de tolérance des porcs, évaluation des additifs, plan d'actions
Ajjamada Kushalappa	Université McGill	Plan d'actions
Organismes gouvernementaux		
Bruno Gosselin	MAPAQ, Réseau avertissement phytosanitaire	Réseau d'évaluation des récoltes
Greg Stewart	OMAFRA	Réseau d'évaluation des récoltes
Bertrand Leclerc	Financière agricole	Réseau d'évaluation des récoltes, statistiques assurance récolte
Réjeanne Asselin	MAPAQ, Table filière porcine	Préparation du projet, plan d'actions et diffusion
François Langevin	AAC- Québec	Plan d'actions
André Comeau	AAC- Québec	Plan d'actions
Lana Reid	AAC- Ottawa	Amélioration génétique du maïs
Pierre Filion	MAPAQ, Bureau de Sainte-Martine	Réseau d'évaluation des récoltes

Luc Pelletier	Santé Canada	Sécurité alimentaire (qualité des produits)
Guy Durivage	Régie des marchés agricoles et alimentaires Québec	Règlementation et échantillonnage des grains
Annie Savoie	ACIA	Sécurité alimentaire (aliments pour le bétail)
Marc Savard	AAC- Ottawa	Plan d'actions
Centres d'expertise et de diffusion		
Robert Verge	CRAAQ	Diffusion d'information
Denise Bachand	CRAAQ, comité grandes cultures	Protocole d'échantillonnage des grains
Tracy McGrath	ANAC	Diffusion d'information
Yves Dion	CEROM	Plan d'actions
Christian Klopfenstein	CDPQ	Mycotoxines et santé des porcs

Depuis le début du projet nous avons également eu l'occasion de diffuser de l'information ou de collaborer à la rédaction d'articles sur la problématique des mycotoxines. L'existence du projet a également été mentionnée à plusieurs reprises. La liste suivante présente les différentes occasions de diffusion qui ont eu lieu jusqu'à date :

1. Revue Porc Québec, Novembre 2008. Les mycotoxines dans l'alimentation porcine, un problème important. Marie-Pierre Fortier et Marie-Josée Turgeon (CDPQ)
2. Bio Veille, Février 2009. Les mycotoxines : contaminants de l'alimentation animale. Dora Rodriguez (CQVB), Nicolas Bertrand (Université de Montréal), Marie-Josée Turgeon (CDPQ)
3. Fiche synthèse projet 177. Conseil d'administration CDPQ, rapport d'activités et Assemblée générale annuelle, site web CDPQ
4. AQINAC, Comité nutrition-fabrication-qualité. Présentation du projet lors d'une réunion du comité.
5. MAPAQ, Rapport préliminaire du projet remis à Jean-Guy Parent et Réjeanne Asselin fin mars 2009.
6. AQINAC, Présentation du projet aux membres du comité organisateur de la journée d'information sur les mycotoxines qui aura lieu le 1 décembre 2009 à Drummondville.
7. CDPQ. Mise en ondes publique de la page Mycotoxines sur le site web du CDPQ (Techniques d'élevage). 15 août 2009.