



Canadian Food
Inspection Agency

Agence canadienne
d'inspection des aliments

PLAN D'ACTION POUR ASSURER LA SÉCURITÉ DES PRODUITS ALIMENTAIRES

RAPPORT

**2013-2015
ÉTUDES CIBLÉES – CHIMIE**

Analyse de plusieurs mycotoxines dans certains aliments

SGDDI 8066704

Tableaux de données : SGDDI 6726775

**Enquêtes spéciales
Évaluation chimique
Division de la salubrité des aliments
Agence canadienne d'inspection des aliments
1400, chemin Merivale
Ottawa (Ontario)
K1A 0Y9**

Table des matières	
Sommaire	2
1. Introduction	4
1.1 Études ciblées.....	4
1.2 Lois, règlements et codes de pratiques	4
2. Détails de l'étude	5
2.1 Mycotoxines.....	5
2.1.1 <i>Aflatoxines</i>	6
2.1.2 <i>Acide cyclopiazonique</i>	6
2.1.3 <i>Alcaloïdes de l'ergot</i>	7
2.1.4 <i>Fumonisines</i>	7
2.1.7 <i>Ochratoxine A</i>	8
2.1.8 <i>Stérigmatocystine</i>	8
2.1.9 <i>Trichothécènes</i>	9
2.1.10 <i>Zéaralénone et composés connexes</i>	10
2.2 Justification	10
2.3 Répartition des échantillons.....	11
2.4 Limites	11
3. Résultats et analyse	11
3.1 Aperçu des résultats relatifs aux diverses mycotoxines.....	11
3.2 Résultats concernant les mycotoxines multiples par type de produit.....	13
3.2.1 <i>Mycotoxines dans les produits de maïs</i>	13
3.2.2 <i>Mycotoxines dans les produits à base d'avoine</i>	14
3.2.3 <i>Mycotoxines dans les produits à base d'autres grains</i>	15
3.2.4 <i>Mycotoxines dans les produits transformés à base de grains</i>	16
3.2.5 <i>Mycotoxines dans les produits à base de blé</i>	17
3.3 Sommaire de la comparaison des résultats de la présente étude à ceux d'autres études	18
4. Conclusion	21
5. Annexe A	22
6. Références	23

Sommaire

L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) utilise les études ciblées pour concentrer ses activités de surveillance dans les domaines où le risque est le plus élevé. L'information tirée de ces études permet d'établir un ordre de priorité parmi les activités exercées par l'Agence dans les domaines les plus préoccupants et de fournir les données scientifiques nécessaires au traitement des questions de préoccupation secondaires. Lancées en raison de l'adoption du Plan d'action pour assurer la sécurité des produits alimentaires (PAASPA), les études ciblées ont été intégrées aux activités de surveillance courantes de l'ACIA. Elles sont un outil précieux pour produire des informations essentielles sur certains risques dans par les aliments, cerner/caractériser les risques nouveaux et émergents, recueillir les données nécessaires à l'analyse des tendances, déclencher/raffiner les évaluations du risque pour la santé humaine, évaluer la conformité aux règlements canadiens, mettre en évidence les éventuels problèmes de contamination et promouvoir la conformité.

Les principaux objectifs de la présente étude ciblée étaient les suivants

- Élargir les données de surveillance de base sur la présence et les concentrations de mycotoxines dans les produits de maïs, les produits d'avoine, d'autres produits de grain, les produits transformés à base de grains et les produits de blé.
- Comparer ces résultats à d'autres données disponibles, lorsque cela est possible.

Les mycotoxines sont des toxines naturelles produites par les moisissures. Leurs effets sur la santé humaine sont variés; ils dépendent du type et de la concentration des mycotoxines dans les aliments. Le Canada n'impose pas de concentration maximale pour la plupart des mycotoxines dans les produits finis à base de grains ciblés par la présente étude, à l'exception de l'ochratoxine A, pour laquelle le Canada a proposé une concentration maximale dans certains aliments. Selon le *Règlement sur les aliments et drogues*, les noix et les produits de noix contenant plus de 15 ppb d'aflatoxine sont jugés falsifiés (B.01.046(1)n).

La présence de mycotoxines a été recherchée dans un ensemble de 2235 échantillons. Au nombre de ces échantillons figuraient 1174 produits transformés à base de grains, 360 produits de blé, 348 produits de grains autres, 186 produits de maïs et 167 produits d'avoine. Des mycotoxines ont été détectées dans 1327 échantillons (59,4 %). Un total de 21 mycotoxines différentes ont été détectées dans les produits échantillonnés dans le cadre de l'étude. Les aflatoxines G₂, le diacétoxyscirpénol et la fusarénone-X n'ont été décelés dans aucun des échantillons. La mycotoxine le plus souvent détectée a été le désoxynivalénol, qui était présent dans 1044 échantillons (46,7 %).

Certaines des mycotoxines présentées dans cette étude, comme le 3-acétyldéoxynivalénol, le 15-acétyldéoxynivalénol, le diacétoxyscirpénol, la fusarénone-X, le néosolaniol, le nivalénol, les alcaloïdes de l'ergot, les toxines HT-2/T2, l'acide cyclopiazonique, la stérigmatocystine, l' α -zéaralénol, le β -zéaralénol et la zéaralénone, sont examinées pour la première fois.

Tous les résultats relatifs aux mycotoxines ont été évalués par le Bureau d'innocuité des produits chimiques (BIPC) de Santé Canada. Selon le BIPC, les concentrations détectées dans la présente

étude ne devraient pas présenter une préoccupation pour la santé humaine. Aucun rappel d'aliments n'a été jugé nécessaire, compte tenu de l'absence de préoccupation pour la santé humaine.

1. Introduction

1.1 Études ciblées

L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) surveille les aliments canadiens et les aliments importés pour pouvoir déceler d'éventuels risques allergéniques, microbiologiques, chimiques et physiques. L'un des outils servant à assurer cette surveillance est l'étude ciblée; celle-ci constitue un moyen de recueillir des données de surveillance de base concernant des dangers précis et d'examiner les risques émergents. Les études ciblées font partie des principales activités de l'Agence, au même titre que d'autres stratégies de surveillance, telles que le Programme national de surveillance des résidus chimiques (PNSRC), le Programme national de surveillance microbiologique (PNSM) et le Projet sur les aliments destinés aux enfants (PA). Ces études complètent les autres activités de surveillance de l'ACIA dans le sens qu'elles permettent d'étudier les dangers et/ou les produits alimentaires qui ne font pas systématiquement partie de ces programmes de surveillance.

Les études ciblées servent à recueillir des données sur la présence possible ou la prévalence de dangers quant à des produits alimentaires donnés. Grâce à ces études, il est possible d'obtenir des données essentielles concernant certains dangers en matière de produits alimentaires, d'identifier ou de caractériser les dangers nouveaux ou émergents, de guider l'analyse des tendances, de susciter ou d'affiner les évaluations du risque sur la santé humaine, d'évaluer la conformité aux règlements canadiens, de mettre en lumière des problèmes potentiels de contamination et/ou d'avoir une influence sur l'élaboration de stratégies en matière de gestion du risque le cas échéant.

En raison du très grand nombre de combinaisons de dangers et de produits alimentaires, il est impossible, et il ne devrait pas être nécessaire, d'utiliser des études ciblées pour recenser et quantifier tous les dangers liés aux aliments. Pour déterminer les combinaisons de dangers et de produits alimentaires les plus importants, l'ACIA utilise une combinaison d'ouvrages scientifiques, les médias et/ou un modèle basé sur les risques élaboré par le Comité des sciences sur la salubrité des aliments (CSSA), un groupe d'experts des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux dans le domaine de la salubrité des aliments.

1.2 Lois, règlements et codes de pratiques

La *Loi sur les aliments et drogues* (LAD) est l'instrument juridique qui régit la vente d'aliments au Canada. Dans la *Loi sur l'Agence canadienne d'inspection des aliments*, il est stipulé que l'ACIA a la responsabilité de faire respecter les restrictions sur la production, la vente, la composition et le contenu des aliments et des produits alimentaires, comme le soulignent la LAD et son règlement.

Santé Canada établit les limites maximales de résidus chimiques, de contaminants et de toxines naturelles dans les aliments vendus au Canada en se basant sur les effets sur la santé. Certaines concentrations maximales de contaminants chimiques dans les aliments sont indiquées dans le *Règlement sur les aliments et drogues* du Canada, où elles sont désignées par l'expression « limites de tolérance ». Il existe aussi un certain nombre de limites maximales qui ne figurent pas

dans le Règlement et qui sont appelées normes; elles peuvent être consultées sur le site Web de Santé Canada¹.

Santé Canada n'a pas établi de limite de tolérance ni de norme pour la majorité des mycotoxines dans les produits finis à base de grains ciblés par la présente étude. En 2009, Santé Canada a proposé des seuils maximaux (SM) pour la mycotoxine ochratoxine A (OTA) dans une variété d'aliments. Un SM de 3 ppb a été proposée pour les grains destinés à la consommation directe et aux produits céréaliers dérivés (farine, pain, céréale pour déjeuner, etc.), un SM de 7 ppb a été proposée pour le son de blé, et un SM de 0,5 ppb a été proposée pour les préparations pour nourrissons et les aliments à base de céréales². Ces seuils maximaux, ainsi qu'une valeur guide pour l'industrie à l'égard de l'OTA dans les grains céréaliers non transformés, sont toujours à l'étude et demeurent à l'état de propositions².

En l'absence de limites de tolérance ou de normes applicables, le BIPC de Santé Canada peut évaluer les concentrations élevées de mycotoxines en se fondant sur les données scientifiques les plus récentes, au cas par cas. Si le BIPC observe un problème potentiel touchant l'innocuité du produit, l'ACIA peut prendre des mesures de suivi. Celles-ci tiennent alors compte du niveau de préoccupation pour la santé. Elles peuvent notamment comprendre la notification du producteur ou de l'importateur, des inspections de suivi, des échantillonnages dirigés additionnels et/ou le rappel des produits.

2. Détails de l'étude

2.1 Mycotoxines

Les mycotoxines sont un groupe de toxines naturelles. Les mycotoxines sont des substances chimiques toxiques formées par les champignons qui peuvent se multiplier sur les cultures dans les champs ou après la récolte³. Ces toxines sont libérées par des moisissures qui peuvent croître sur des produits agricoles, comme les céréales (p. ex. blé, maïs et avoine), les légumineuses, les noix et les fruits. Le type de produit agricole, les dommages causés par des insectes et les conditions climatiques (température, humidité) pendant la croissance, le traitement et l'entreposage constituent certains des facteurs pouvant avoir une influence sur les types et les niveaux de mycotoxines présents dans les produits alimentaires vendus au détail⁴.

La recherche a montré que, parmi les centaines de mycotoxines associées aux produits alimentaires, seule une petite fraction a le potentiel de nuire à la santé humaine et s'avère préoccupante pour la santé au niveau mondial. La Commission du Codex Alimentarius* a publié un code d'usages afin de réduire et prévenir la contamination par mycotoxines dans les céréales (p. ex. le blé, le maïs, l'avoine et l'orge)⁴. Ce code d'usages reconnaît qu'une élimination totale des mycotoxines dans les aliments n'est pas possible, mais il donne des conseils sur la façon de

* La Commission du Codex Alimentarius est un organisme international créé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et l'Organisation mondiale de la Santé pour mettre au point des normes alimentaires, des lignes directrices et des codes d'usage internationaux et harmonisés visant à protéger la santé des consommateurs et à assurer des pratiques loyales dans le commerce des aliments.

lutter contre ces toxines et de gérer leur concentration au niveau de l'exploitation et après la récolte (p. ex. durant la transformation, l'entreposage et le transport).

Maintenant, plus de 300 mycotoxines sont connues dont les structures chimiques et les modes d'action diffèrent largement. Certaines de ces mycotoxines ciblent les reins, le foie ou le système immunitaire, et d'autres sont cancérigènes. Les mycotoxines courantes incluent les aflatoxines, l'ochratoxine A, les alcaloïdes de l'ergot, les fumonisines, les trichothécènes (comme le désoxynivalénol, également appelé « vomitoxine ») et la zéaralénone³.

Se reporter à l'annexe A pour la liste de toutes les mycotoxines étudiées dans le cadre de la présente étude.

2.1.1 Aflatoxines

Les aflatoxines sont une famille de métabolites secondaires naturels et toxiques produits par des espèces formant des moisissures de types *Aspergillus flavus* et *A. parasiticus*⁵. Les champignons qui produisent des aflatoxines peuvent contaminer les produits agricoles (comme le maïs, les noix, les épices, les fruits séchés) qui poussent ou qui sont transportés, conservés ou transformés dans des conditions chaudes et humides pendant des périodes prolongées, ou qui sont abîmés ou lésés par des parasites^{5,6}. La pression exercée par la sécheresse sur le maïs est également un facteur de risque majeur d'apparition d'aflatoxines sur le terrain^{5,6,7}. En raison d'un climat plus froid, les denrées agricoles cultivées au Canada (et leurs produits) sont moins susceptibles de contenir des aflatoxines que le maïs et les noix cultivés dans des pays plus chauds. Les aflatoxines ne sont pas détruites par la chaleur, la cuisson, ni la plupart des autres méthodes de transformation⁸.

Parmi les agents cancérigènes pour le foie naturellement présents, l'aflatoxine B₁, une forme d'aflatoxine, est parmi le plus puissant⁹. Le Centre International de recherche sur le cancer (CIRC) classe les aflatoxines comme une substance cancérigène (groupe 1) pour les humains¹⁰. L'exposition chronique aux aflatoxines a également été associée à l'inhibition de la croissance des enfants vivant dans des pays en développement où l'exposition à cette substance est relativement élevée. Les aflatoxines ont eu un effet immunosuppresseur chez les animaux de laboratoire^{11,12,13,14}. Chez les humains, l'exposition à court terme à une concentration élevée d'aflatoxines peut causer une maladie qui se manifeste par des vomissements, des douleurs abdominales, des convulsions, le coma et même la mort. L'aflatoxicose est très rare dans les pays industrialisés¹⁵.

2.1.2 Acide cyclopiazonique

L'acide cyclopiazonique est produit par l'espèce *Penicillium cyclopium*, *Penicillium* (p. ex. *P. commune* et *P. camembertii*), *Aspergillus flavus* et *A. versicolor*. L'acide cyclopiazonique a été détecté dans le maïs, le millet, la cacahouète, les légumineuses, le fromage, le jambon, la saucisse, le hot-dog, la tomate et le lait¹⁶.

Il y a peu d'information sur les effets potentiels sur la santé humaine associés à l'acide cyclopiazonique. Cet acide a toutefois été associé à un cas d'empoisonnement survenu en Inde,

le « kodua poisoning », par suite de l'ingestion de grains de millet contaminés. Les symptômes de cet empoisonnement incluaient l'envie de dormir, des tremblements et des étourdissements durant 1 à 3 jours, puis un rétablissement complet¹⁷. Des études sur des animaux de laboratoire indiquent que l'acide cyclopiazonique n'est toxique que lorsqu'il est ingéré à de fortes concentrations. L'exposition répétée à de fortes doses d'acide cyclopiazonique a donné lieu à un éventail d'effets comme la neurotoxicité, des lésions au foie et aux reins, une perte de poids, la diarrhée, la déshydratation, des convulsions et la mort chez plusieurs espèces différentes¹⁸.

2.1.3 Alcaloïdes de l'ergot

Les alcaloïdes de l'ergot sont formés par les champignons de l'espèce *Claviceps*, en particulier *C. purpurea*. Ces champignons parasitent les épis des céréales, remplaçant alors les grains par des structures fongiques décolorées (violet foncé ou noires) appelées « sclérotés » ou « ergots ». Les principaux alcaloïdes présents dans les ergots sont l'ergométrine, l'ergotamine, l'ergosine, l'ergocristine, l'ergocryptine et l'ergocornine (seulement l'ergosine, l'ergocristine et l'ergocryptine ont été inclus avec réussite dans la méthode multi-mycotoxines). Le type et la concentration de ces alcaloïdes dans les ergots varient considérablement selon la souche de champignon, l'espèce d'hôte, les conditions météorologiques et la région géographique. Une température et un sol humides favorisent la croissance des ergots, qui sont récoltés avec les céréales et peuvent ainsi contaminer les aliments de consommation humaine et les aliments du bétail à base de céréales. Les méthodes de nettoyage appliquées durant la transformation des grains retirent habituellement les ergots du grain¹⁹.

À long terme, l'exposition aux alcaloïdes de l'ergot cause l'ergotisme, aussi appelé « empoisonnement à l'ergot » ou « maladie de St-Antoine »^{20,21}. Les symptômes de cette maladie peuvent inclure la fièvre, des hallucinations, l'enflure ou la rigidité des membres, et une inflammation grave parfois suivie de la perte des tissus touchés et de la mort²². Des études sur des animaux de laboratoire indiquent que les alcaloïdes de l'ergot agissent sur un certain nombre de récepteurs des neurotransmetteurs, ce qui, à des doses répétées, ralentit le débit sanguin, en particulier dans les membres, cause une perte de poids et modifie la concentration de certaines hormones chez le rat²³.

2.1.4 Fumonisines

Le *Fusarium moniliforme* et le *Fusarium proliferatum* sont deux phytopathogènes répandus dans les régions céréalières partout dans le monde. Ces agents pathogènes peuvent infecter les cultures céréalières dans le champ (prérécolte) ou durant l'entreposage (postrécolte). Les moisissures peuvent proliférer si les grains sont cultivés dans des conditions chaudes et sèches suivies de conditions très humides. L'entreposage des grains dans des conditions humides favorise également la prolifération des moisissures. Les agents pathogènes végétaux produisent des mycotoxines appelées « fumonisines ». Le maïs est le grain le plus vulnérable à une contamination par fumonisine²⁴. Les concentrations de fumonisines peuvent être assez élevées même en l'absence de signes visibles de prolifération de moisissures²⁵. Il existe plusieurs formes de fumonisine : les fumonisines B₁, B₂ et B₃ sont les plus répandues. Les études ont mis l'accent sur la fumonisine B₁, mais les données disponibles laissent croire que les fumonisines B₂ et B₃ ont un profil toxicologique similaire^{26,27,28,29}. Les fumonisines résistent à la chaleur jusqu'à une

température de 150 °C et ne sont pas altérées par les forces mécaniques (comme le broyage), mais leur concentration peut être réduite par un traitement alcalin (manière traditionnelle de préparer la purée de maïs et d'autres produits du maïs comme les tacos)³⁰.

Bien que la contamination par les fumonisines soit principalement observée dans le maïs, certaines études scientifiques ont montré la présence de fumonisines dans le vin rouge³¹, le sorgho³², la fève blanche, le blé²⁹, l'orge²⁹, le soja²⁹, la figue²⁹, le riz³³, le thé noir²⁹ et les herbes médicinales²⁹.

L'ingestion d'aliments contenant des fumonisines peut être dangereuse pour la santé humaine. Les effets sur la santé observés dans des populations précises au sein desquelles le maïs est un élément important de l'alimentation et où le climat peut favoriser la prolifération des fumonisines incluent le cancer de l'œsophage en Afrique du Sud et en Chine^{28,34}, et des anomalies du tube neural en Amérique centrale et dans le sud-ouest des États-Unis³⁵. Les effets biologiques précis des fumonisines sont complexes et liés à leur interférence avec le métabolisme cellulaire²⁷. Des études sur des animaux de laboratoire ont révélé que les fumonisines causaient des lésions au foie et aux reins chez de nombreuses espèces³⁶. La fumonisine B₁ a été classée par le CIRC comme probablement cancérigène pour les humains d'après des éléments de preuve issus d'études sur des animaux de laboratoire³⁷.

2.1.5 Ochratoxine A

L'OTA est un métabolite naturellement présent dans les moisissures *Aspergillus* et *Penicillium*. Dans les conditions d'humidité et de température favorables, les champignons peuvent proliférer sur les produits agricoles entreposés et produire de l'OTA³⁸. L'OTA a été largement détectée dans les grains de céréales (blé, maïs, avoine et orge), le café vert, le jus de raisin, la bière, le vin, le cacao, les fruits séchés et les noix³⁹. L'OTA est thermostable, et n'est détruite que partiellement dans des conditions normales de transformation ou de cuisson⁴⁰.

Le CIRC a classé l'OTA parmi les agents cancérigènes possibles pour les humains, en se fondant principalement sur des données d'études sur les animaux⁴¹. Le mécanisme par lequel l'OTA provoque des tumeurs rénales chez les rongeurs n'est pas encore parfaitement compris. Dans des études menées sur les animaux, l'OTA avait également des effets sur les reins, le développement du fœtus et le système immunitaire. Santé Canada a procédé à une évaluation du risque lié à l'OTA et a ensuite proposé une concentration maximale d'OTA pour diverses denrées alimentaires² ainsi qu'une valeur guide pour l'industrie concernant l'OTA dans les grains céréaliers non transformés.

2.1.6 Stérigmatocystine

La stérigmatocystine est une mycotoxine produite principalement par diverses espèces d'*Aspergillus*. Elle peut également être produite par des espèces telles que *Bipolaris*, *Chaetomium* et *Emiricella*. Elle a été détectée dans les grains, le maïs, le pain, le fromage, les épices, la fève de café, le soja et la pistache. Des conditions de chaleur et d'humidité favorisent la production de cette mycotoxine⁴².

Le CIRC a classé la stérigmatocystine parmi les agents cancérigènes possibles pour les humains⁴³. La stérigmatocystine peut également causer des mutations de l'ADN. Elle a une toxicité aiguë pour les animaux, dont elle cible principalement le foie et les reins. Cette toxine présente une structure semblable à celle de l'aflatoxine; cependant, des essais chez le rat ont montré que, comparativement à l'aflatoxine, elle est dix fois moins létale après une exposition aiguë à de fortes doses et dix à cent fois moins efficace pour causer le cancer du foie⁴². Ses effets sur la santé humaine n'ont pas fait l'objet d'études approfondies.

2.1.7 Trichothécènes

Les mycotoxines de cette grande famille se retrouvent habituellement dans les grains de céréales (notamment dans le blé, l'orge et le maïs), et elles ont été détectées dans leurs produits dérivés (farines, semoules, son, gruau, céréales et bières). Ces toxines sont produites par diverses espèces de moisissures de type *Fusarium* dans certaines cultures avant la récolte. Elles sont observées dans les grains atteints de fusariose de l'épi dans le champ. Des conditions de chaleur et d'humidité au champ favorisent le développement de la fusariose et, par conséquent, la production des trichothécènes⁴⁴. Les trichothécènes résistent à la chaleur et ne sont que partiellement détruites dans des conditions normales de cuisson et de transformation⁴⁵. La trichothécène la plus courante est le désoxynivalénol (DON).

Les effets du nivalénol⁴⁶, de la fusarénone⁴⁷, du 3-acétyldéoxynivalénol (3-AcDON)⁴⁷, du 15-acétyldéoxynivalénol (15-AcDON)⁴⁷, du néosolaniol (NEO)⁴⁷ et du diacétoxyscirpénol (DAS)⁴⁷ sur la santé humaine n'ont pas été aussi abondamment étudiés que ceux du DON. Le DON n'est pas connu pour être cancérigène, mais il a été associé à des effets aigus et chroniques sur la santé. Des éclosions en Asie, attribuées à la consommation de grains contenant des concentrations élevées de DON, sont associées à une maladie humaine de courte durée, durant laquelle le malade éprouve des nausées, des vomissements, des douleurs abdominales, des maux de tête et des étourdissements. Dans des études sur des animaux de laboratoire, les expositions à long terme à de faibles concentrations de DON ont été associées à une diminution de la prise alimentaire, à une perte de poids et à des effets sur le système immunitaire⁴⁸.

Les toxines T-2 et HT-2 se forment lorsque les récoltes de grain restent au champ durant de longues périodes pendant ou après la récolte, en particulier lorsqu'il fait froid, ou dans le grain qui devient mouillé au cours de son entreposage. Elles ont été détectées dans le blé, le maïs, l'avoine, l'orge, le riz, les légumineuses et le soja, et dans certains produits à base de céréale. Ces toxines se retrouvent le plus souvent dans l'avoine, mais elles ont souvent été détectées, à des concentrations plus faibles, dans l'orge. Le blé n'est que rarement contaminé par ces toxines⁴⁹.

Les effets sur la santé humaine d'une exposition chronique aux toxines HT-2 et T-2 ne sont pas connus. Chez les animaux, ces toxines inhibent la synthèse d'ADN, d'ARN et de protéines, et elles sont cytotoxiques. Le CIRC considère que les toxines HT-2 et T-2 ne peuvent être classées, puisque leur caractère cancérigène est fondé sur des données insuffisantes quant à leur danger pour les humains et sur des éléments de preuve limités tirés d'essais sur des animaux de laboratoire^{50,51}.

2.1.8 Zéaralénone et composés connexes

La zéaralénone (ZEA) est une mycotoxine produite principalement par l'espèce *Fusarium*. Elle a été détectée dans le blé, l'orge, le riz, le maïs et certaines autres céréales. Elle est résistante à la chaleur et peut se trouver dans les produits finis à base de grains. La ZEA est métabolisée en α -zéaralénol (α -ZOL) et en β -zéaralénol (β -ZOL)^{52,53,54}.

La ZEA n'est pas une toxine aiguë. C'est un composé œstrogénique dont les principaux métabolites sont des composés œstrogéniques plus puissants. Il cause l'infertilité chez le mouton, les bovins et le porc, et peut hâter la maturation sexuelle chez certains animaux. Des études sur des animaux de laboratoire ont montré que des doses orales élevées de ZEA se sont également révélées génotoxiques et toxiques pour le foie, et qu'elles avaient un effet sur le sang et le système immunitaire^{54,55}. Le CIRC a conclu qu'il existait peu de preuves du caractère cancérigène de la ZEA⁵⁶. La ZEA est soupçonnée d'avoir contribué aux éclosions de puberté précoce chez des milliers de filles à Puerto Rico et d'avoir joué un rôle dans les cas de cancer du sein et de cancer cervical chez les populations humaines très exposées⁵³.

2.2 Justification

Le CSSA a attribué aux mycotoxines une priorité élevée à cause de leur potentiel d'effets indésirables sur la santé humaine. La Commission canadienne des grains teste la présence de mycotoxines, de pesticides et de certains métaux dans les grains de céréales bruts produits au Canada et principalement destinés à l'exportation, mais elle n'a aucune autorité sur les produits à base de grains finis ou importés. Certaines mycotoxines dans les grains et les produits à base de grains ont été périodiquement examinés par le BIPC de Santé Canada et lors d'autres activités de l'ACIA.

L'ACIA a précédemment fait des études ciblées portant sur des mycotoxines précises, comme les aflatoxines^{57,58,59,60,61}, les fumonisines^{62,63}, l'ochratoxine A^{64,65,66,67} et le désoxynivalénol^{64,65,68,69}, dans une variété de produits alimentaires.

Santé Canada, qui est l'autorité compétente en matière d'aliments vendus au Canada, a mené des enquêtes pour déceler la présence de certaines mycotoxines dans les céréales pour nourrissons²⁵ et les céréales pour déjeuner⁷⁰. La surveillance des produits finis à base de grains (qu'ils soient produits au Canada ou importés) disponibles sur le marché de détail est cependant limitée. La présente étude ciblée a été conçue pour bâtir et élargir des ensembles de données de surveillance de base servant à évaluer l'exposition de Canadiens aux toxines naturelles. Elle se penche également sur les mycotoxines dans les produits de maïs, les produits d'avoine, les produits de grains autres, les produits transformés à base de grains et les produits de blé. Certaines des mycotoxines, comme le 3-acétyldéoxynivalénol, le 15-acétyldéoxynivalénol, le diacétoxyscirpénol, la fusarénone-X, le néosolaniol, le nivalénol, les alcaloïdes de l'ergot, les toxines HT-2/T2, l'acide cyclopiazonique, la stérigmatocystine, l' α -zéaralénol, le β -zéaralénol et la zéaralénone, sont examinées pour la première fois.

2.3 Répartition des échantillons

Un ensemble de 2235 échantillons a été analysé dans le cadre de l'étude 2013-2015 de l'ACIA sur plusieurs mycotoxines. Ces échantillons ont été prélevés entre mai 2013 et février 2015 dans des magasins de détail de six villes canadiennes. Au nombre de ces échantillons figuraient 729 produits nationaux, 958 produits importés (d'au moins 33 pays) et 548 produits d'origine non précisée. L'expression « non précisé » désigne les échantillons dont il a été impossible de déterminer le pays d'origine à partir de l'étiquette ou de l'information sur le produit.

Il est important de noter que les produits échantillonnés portaient souvent la mention « importé pour l'entreprise A dans le pays Y » ou « fabriqué pour l'entreprise B dans le pays Z », et bien que l'étiquetage respectait la norme réglementaire, il ne précisait pas l'origine véritable des ingrédients du produit. Seuls les produits dont l'étiquette portait un énoncé clair (« Produit du/de », « Préparé en/au », « Fabriqué en/au », « Transformé en/au » et « Fabriqué par ») ont été considérés comme des produits provenant d'un pays précis.

2.4 Limites

La présente étude ciblée visait à fournir un aperçu de la présence et des concentrations de mycotoxines dans des produits à base de céréales choisis offerts aux consommateurs canadiens, et à mettre en lumière les produits méritant une étude plus approfondie. La taille restreinte des échantillons de cette étude représente une petite partie des produits offerts aux consommateurs. Donc, les résultats doivent par conséquent être interprétés et extrapolés avec prudence.

Les analyses ont porté sur des produits tels qu'offerts sur le marché de détail canadien. Certains des produits échantillonnés pour l'étude sont considérés comme des ingrédients et/ou doivent être préparés (p. ex. cuits, mélangés à un liquide) avant d'être consommés. Dans l'interprétation des résultats, il convient donc de se rappeler que les produits ont été analysés tels que vendus et non pas tels que consommés.

Les renseignements fournis par l'échantillonneur et les étiquettes des produits ont permis de déterminer le pays d'origine des échantillons prélevés; toutefois, aucune inférence n'a été faite ni aucune conclusion n'a été tirée à l'égard des données en ce qui concerne le pays d'origine. Les différences régionales, les effets de la durée de conservation, les conditions d'entreposage ou le coût du produit sur le marché libre n'ont pas été examinés dans le cadre de l'étude.

3. Résultats et analyse

3.1 Aperçu des résultats relatifs aux diverses mycotoxines

Au total, 2235 échantillons de produits à base de grains ont été prélevés. Les produits échantillonnés ont été séparés en 5 types de produits : produits de maïs, produits d'avoine, produits de grains autres, produits transformés à base de grains et produits de blé. Sur les 2235

échantillons analysés, 1327 (59,4 %) présentait des concentrations détectables de mycotoxines. La figure 1 illustre le nombre d'échantillons présentant des concentrations détectables de mycotoxines, pour chacun des types de produits.

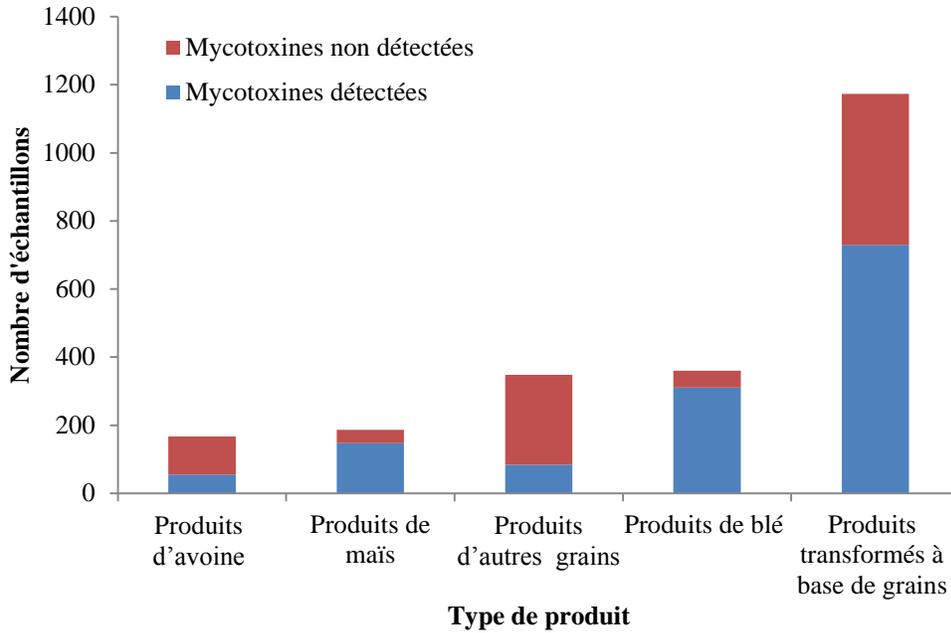


Figure 1. Nombre d'échantillons présentant des concentrations détectables de mycotoxines par type de produit (par ordre croissant du nombre d'échantillons)

Vingt-et-une mycotoxines ont été détectées au total. L'aflatoxine G₂, le diacétoxyscirpénol et la fusarénone-X n'ont pas été détectés dans aucun des échantillons. La mycotoxine la plus fréquemment détectée a été le désoxynivalénol, qui a été trouvé dans 1044 échantillons (78,7 %) parmi ceux présentant des concentrations détectables de mycotoxines. La figure 2 indique les mycotoxines détectables trouvées dans l'ensemble des échantillons.

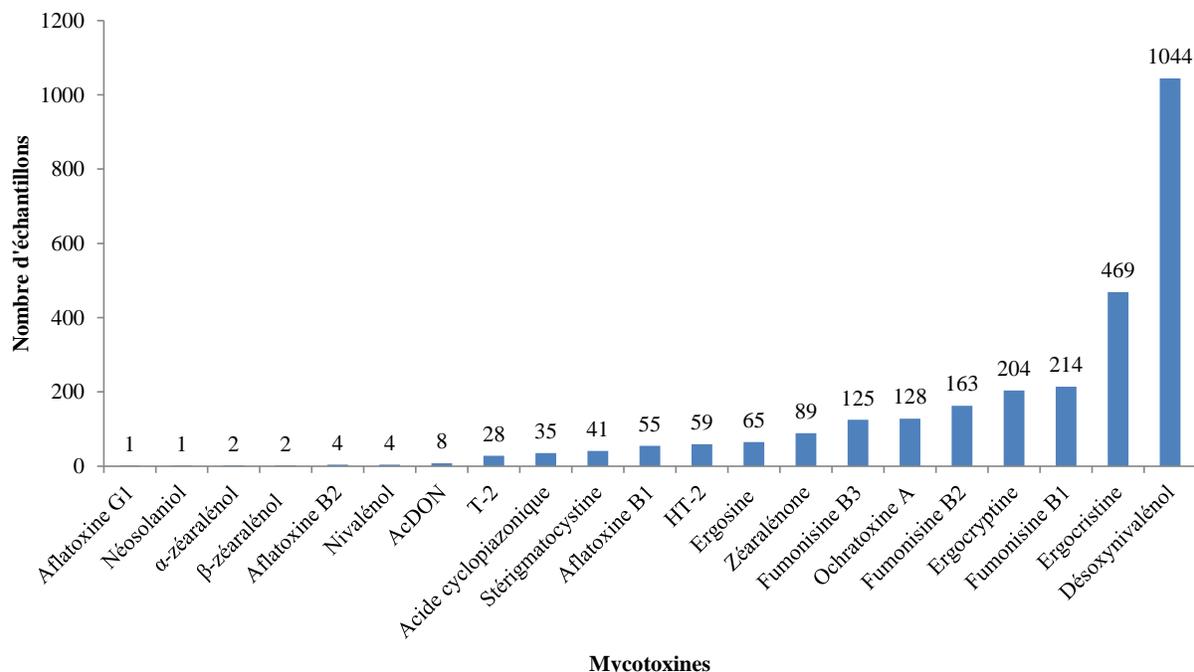


Figure 2. Fréquence de détection des mycotoxines dans l'ensemble des échantillons (par ordre croissant du nombre d'échantillons dont l'analyse a révélé la présence d'une mycotoxine précise)

3.2 Résultats concernant les mycotoxines multiples par type de produit

Les sections suivantes présentent les résultats pour les pesticides par type de produit. Se reporter à la section 3.3 pour un sommaire comparatif entre les résultats de la présente étude et ceux des autres études, le cas échéant.

3.2.1 *Mycotoxines dans les produits de maïs*

Les produits de maïs incluaient 74 farines de maïs, 60 produits de maïs (c.-à-d. croustilles, tortillas et tacos de maïs), 27 semoules de maïs, 15 amidons de maïs et 10 maïs à éclater. Seize mycotoxines différentes ont été détectées dans 147 échantillons (79,0 %). La figure 3 illustre les mycotoxines détectables précises trouvées dans les échantillons de produits de maïs.

Dans 53 des échantillons (36,1 %) contenant des mycotoxines détectables, une ou deux différentes mycotoxines ont été trouvées. Les autres échantillons renfermant des mycotoxines détectables contenaient chacun de trois à sept mycotoxines. Deux échantillons de farine de maïs contenaient sept mycotoxines.

Plus de 50 % des fumonisines détectées (fumonisine B₁, fumonisine B₂ et fumonisine B₃) se trouvaient dans des produits de maïs. Un de ces produits de maïs présentait une concentration d'ochratoxine A dépassant le seuil maximal de 3 ppb proposé par Santé Canada.

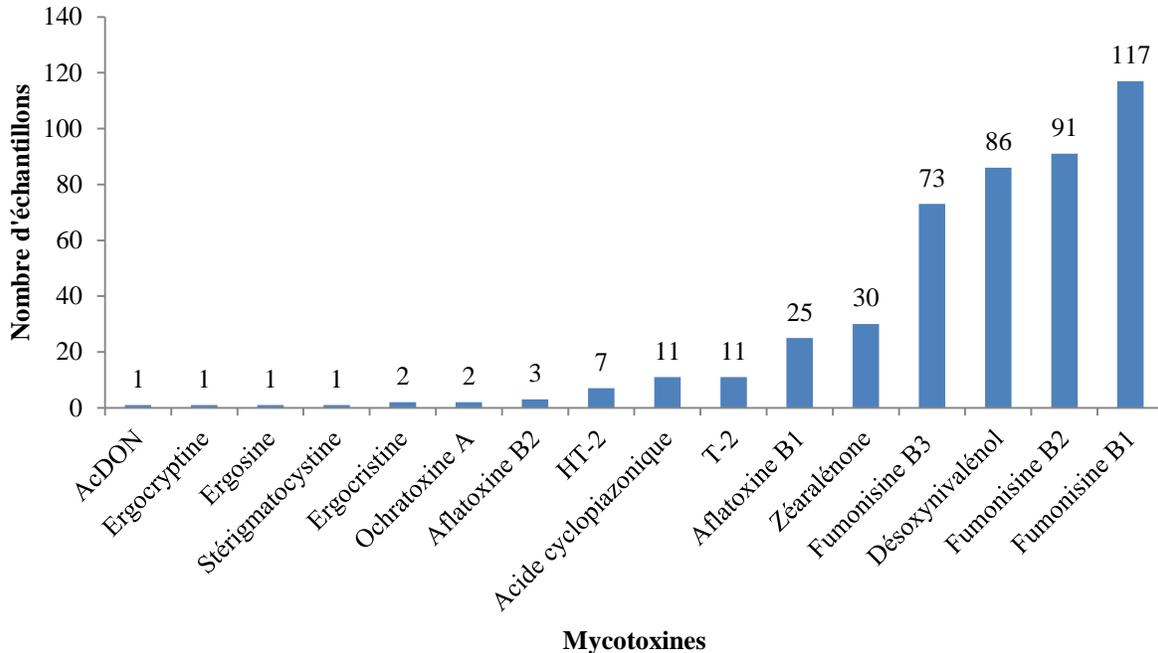


Figure 3. Fréquence de détection des mycotoxines dans les échantillons de produits de maïs (par ordre croissant du nombre d'échantillons dont l'analyse a révélé la présence d'une mycotoxine précise)

3.2.2 Mycotoxines dans les produits à base d'avoine

La catégorie des produits d'avoine incluait 65 échantillons de grains d'avoine, 51 échantillons de farine d'avoine, 35 échantillons de flocons d'avoine et 16 échantillons de son d'avoine. Cinquante-cinq échantillons (32,9 %) ont révélé 12 mycotoxines détectables différentes. La figure 4 illustre les mycotoxines détectables précises trouvées dans les échantillons de produits d'avoine.

Dans 44 des échantillons (80,0 %) contenant des mycotoxines détectables, une ou deux différentes mycotoxines ont été trouvées. Les autres échantillons renfermant des mycotoxines détectables contenaient chacun de trois à six mycotoxines. Un échantillon de farine d'avoine contenait six mycotoxines.

L'aflatoxine G₁ n'a été détectée qu'une fois dans un unique échantillon de flocons d'avoine. Six produits d'avoine ont présenté une concentration détectable d'ochratoxine A dépassant le seuil maximal de 3 ppb proposé par Santé Canada.

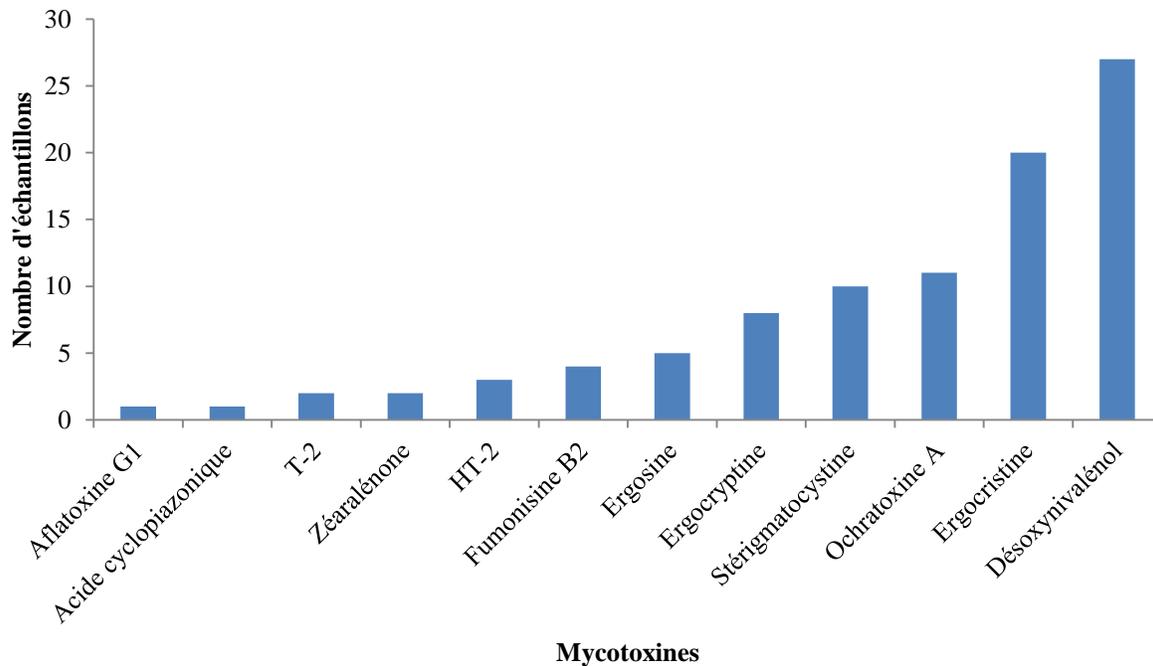


Figure 4. Fréquence de détection des mycotoxines dans les échantillons de produits d'avoine (par ordre croissant du nombre d'échantillons dont l'analyse a révélé la présence d'une mycotoxine précise)

3.2.3 Mycotoxines dans les produits à base d'autres grains

La catégorie des produits à base d'autres grains inclut 159 échantillons de riz, 34 échantillons de quinoa, 29 échantillons de sarrasin, 23 échantillons d'orge, 21 échantillons d'épeautre, 17 échantillons de seigle, 14 échantillons de blé kamut, 13 échantillons de millet, 11 échantillons d'amarante, 5 échantillons de grains mélangés, 4 échantillons de marante, 3 échantillons de sorgho, 1 échantillon de tapioca et 1 échantillon de teff, sous forme moulue, de grain entier, de flocons, de grains ou de farine. Les autres produits de grains ont présenté la fréquence de détection la plus faible, avec 84 échantillons (24,1 %) contenant 19 différentes mycotoxines détectables. Les échantillons de produits de marante, de sorgho et de teff ne présentaient aucune concentration détectable de mycotoxine. La figure 5 indique les mycotoxines détectables trouvées dans les échantillons de produits d'autres grains.

Dans 53 des échantillons (63,1 %) contenant des mycotoxines détectables, une ou deux mycotoxines ont été trouvées. Les autres échantillons renfermant des mycotoxines détectables contenaient chacun de trois à cinq différentes mycotoxines. Cinq des échantillons de produits de grains (1 échantillon de riz entier, un échantillon de croustilles de riz et trois échantillons de farine de seigle) contenaient cinq mycotoxines différentes.

Le β -zéaralénol n'a été détecté que dans deux échantillons de farine de seigle. Trois produits de grains autres présentaient des concentrations détectables d'ochratoxine A dépassant le seuil maximal de 3 ppb proposé par Santé Canada.

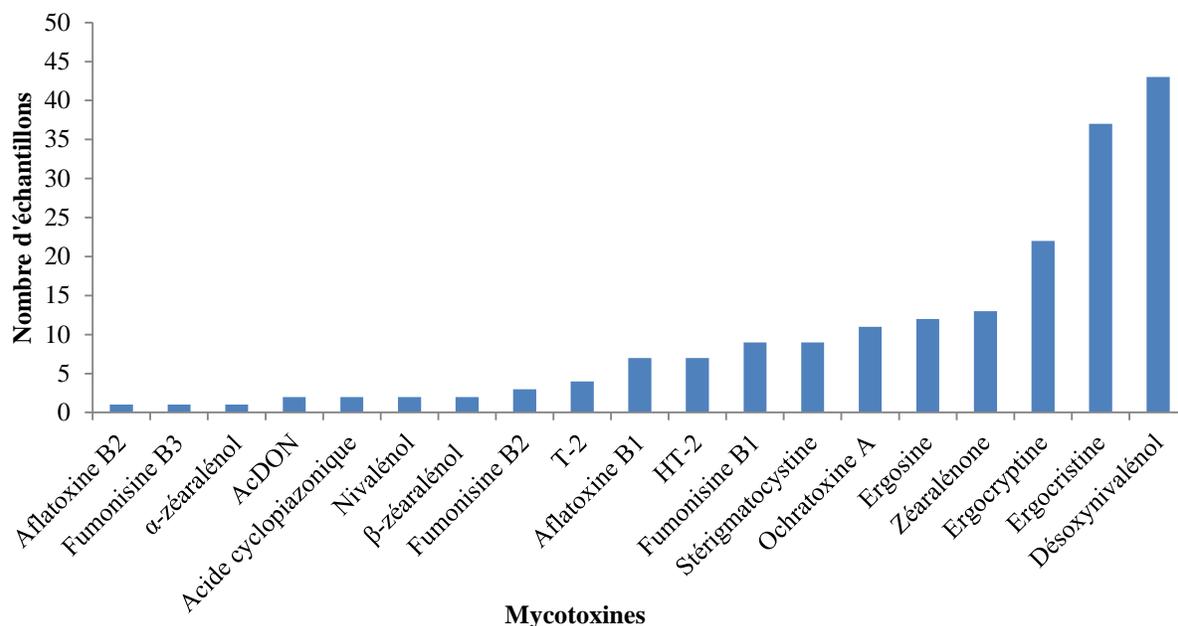


Figure 5. Fréquence de détection des mycotoxines dans les échantillons de produits à base d'autres grains (par ordre croissant du nombre d'échantillons dont l'analyse a révélé la présence d'une mycotoxine précise)

3.2.4 Mycotoxines dans les produits transformés à base de grains

La catégorie des produits transformés à base de grains incluait 654 échantillons de céréales (pour nourrissons, pour enfants et pour adultes), 233 échantillons de produits de boulangerie (pain, muffins anglais et bagels), 118 échantillons de produits de pâtisserie (biscuits, gâteaux et muffins), 70 échantillons de mélange à pâtisserie, 58 échantillons de pâtes et 41 échantillons de craquelins, à base de grains ou sans gluten. Quinze (15) mycotoxines différentes dans 730 échantillons (62,2 %) ont été détectées. La figure 6 indique les mycotoxines détectables trouvées dans les échantillons de produits de grains.

Dans 591 des échantillons (81,0 %) contenant des concentrations détectables de mycotoxines, une ou deux mycotoxines différentes ont été trouvées. Les échantillons restants renfermant des mycotoxines détectables contenaient chacun de trois à neuf mycotoxines. Trois échantillons de céréales pour enfants contenaient neuf mycotoxines différentes.

Plus de 50 % des échantillons présentant une concentration détectable de DON étaient des produits transformés à base de grains. Le néosolaniol n'a été détecté que dans un échantillon de pâtes de maïs sans gluten. Trois produits transformés à base de grains (n'incluant pas les céréales pour nourrissons) présentaient une concentration d'ochratoxine A dépassant le seuil maximal de 3 ppb proposé par Santé Canada, et 26 céréales pour nourrissons avaient une concentration dépassant le seuil maximal proposé de 0,5 ppb.

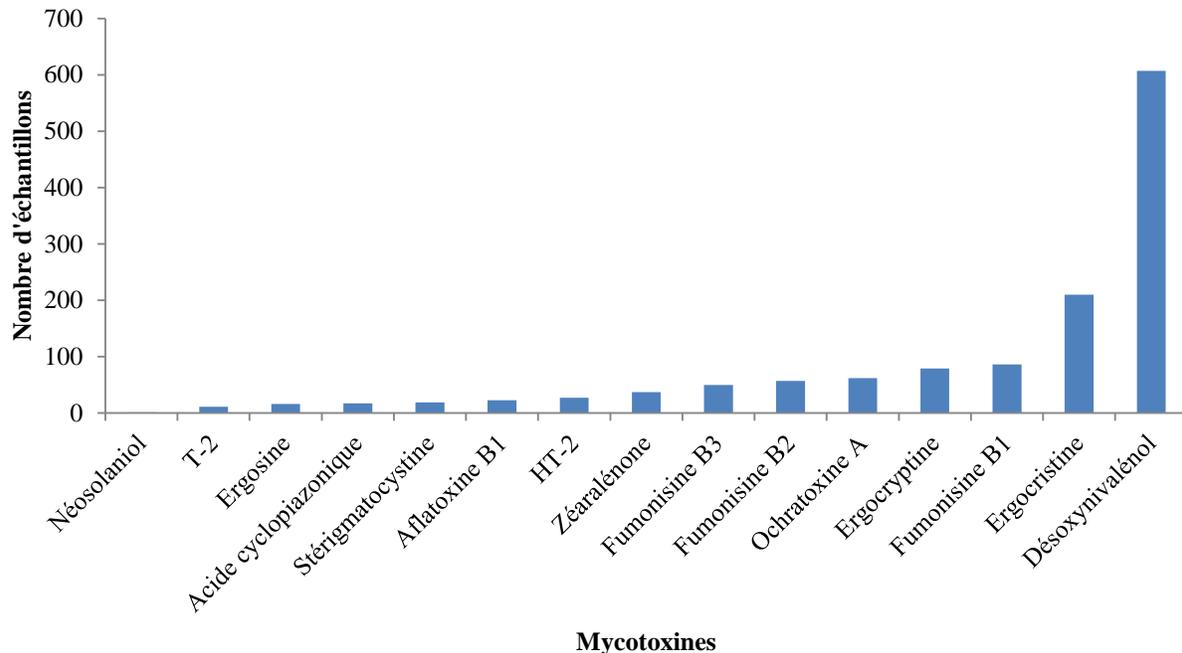


Figure 6. Fréquence de détection des mycotoxines dans les échantillons de produits transformés à base de grains (par ordre croissant du nombre d'échantillons dont l'analyse a révélé la présence d'une mycotoxine précise)

3.2.5 Mycotoxines dans les produits à base de blé

La catégorie des produits de blé inclut 283 échantillons de farine de blé, 30 échantillons de son de blé, 20 échantillons de couscous, 12 échantillons de boulgour, 8 échantillons de blé entier et 7 échantillons de germe de blé. Les produits de blé ont eu la fréquence de détection la plus élevée, avec 311 échantillons (86,4 %) contenant 15 mycotoxines détectables différentes. La figure 7 indique les mycotoxines détectables trouvées dans les échantillons de produits de blé.

Dans 195 des échantillons (62,7 %) contenant des concentrations détectables de mycotoxines, une ou deux mycotoxines ont été trouvées. Les échantillons restants renfermant des mycotoxines détectables contenaient chacun de trois à cinq mycotoxines. Sept échantillons de farine de blé contenaient cinq mycotoxines différentes.

Dans 50 % des cas, le 3-acétyldéoxynivalénol et le 15-acétyldéoxynivalénol (AcDON) ont été détectés dans les produits de blé. Le même phénomène a été observé pour l'ergocryptine et l'ergosine. Huit produits de blé avaient des concentrations détectables d'ochratoxine A dépassant le seuil maximal de 3 ppb proposé par Santé Canada.

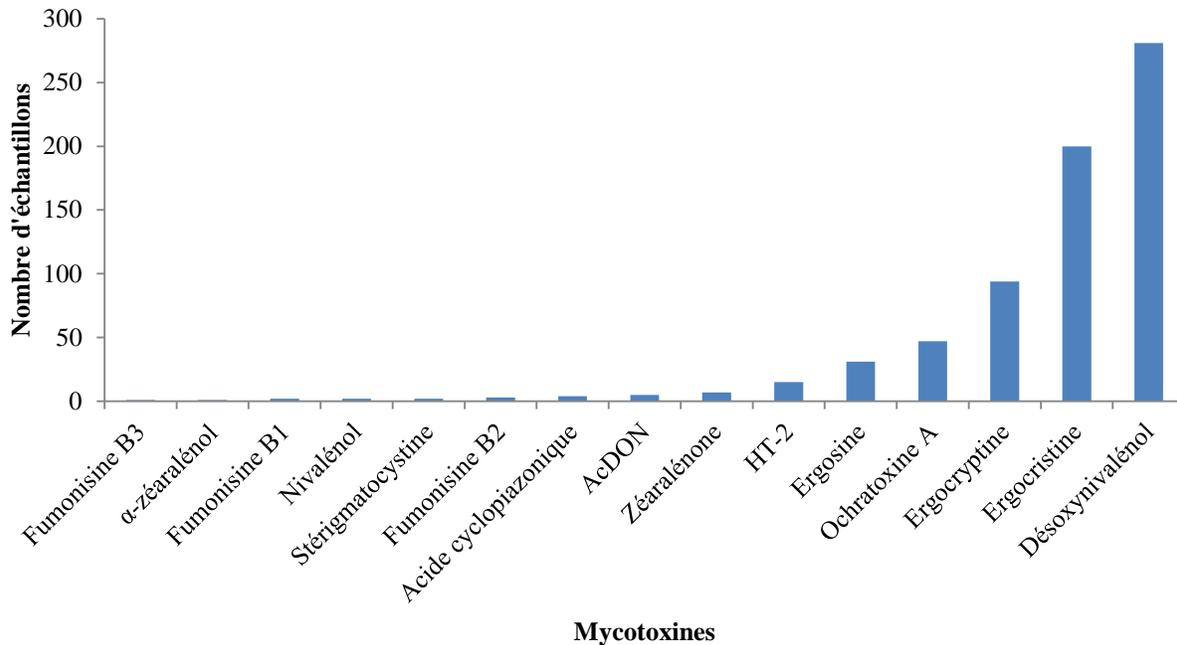


Figure 7. Fréquence de détection des mycotoxines dans les échantillons de produits de blé (par ordre croissant du nombre d'échantillons dont l'analyse a révélé la présence d'une mycotoxine précise)

3.3 Sommaire de la comparaison des résultats de la présente étude à ceux d'autres études

Le sommaire de la comparaison des résultats de la présente étude à ceux d'études précédentes de l'ACIA, de deux études faites par Santé Canada et de publications scientifiques, lorsque c'était possible, est présenté dans le tableau 2. Ces études, à l'exception de l'étude ciblée de 2011-2012 sur les fumonisines, qui ne ciblait que les produits de maïs, ciblent une variété précise d'aliments à base de grains, comme le maïs, l'avoine, le blé et les produits de grains sous forme moulue, à grains entiers, en flocons, en grains ou de farine, et les produits transformés à base de grains (produits de pâtisserie, mélanges à pâtisserie, pain, céréales pour nourrissons et pour déjeuner, et pâtes). L'étude de Santé Canada de 2008 ne ciblait que les céréales pour déjeuner à base de grains et l'étude de Santé Canada de 2003 ciblait les céréales pour nourrissons à base de grains (incluant les céréales à base de soja), les biscuits et les préparations à base de soja. Cela peut expliquer certains écarts observés entre les études, ainsi que les différentes méthodes de laboratoire utilisées et leurs limites de détection.

En général, les pourcentages d'échantillons de la présente étude présentant des concentrations détectables de mycotoxines sont semblables ou moins élevés par rapport à ceux des autres études, à l'exception de l'étude sur la toxine HT-2. Les concentrations de mycotoxines les plus élevées observées dans la présente étude sont semblables ou plus élevées par rapport à celles des études de Santé Canada. Les concentrations de mycotoxines les plus élevées observées dans la présente étude sont semblables ou moins élevées par rapport à celles des études antérieures de l'ACIA. Dans la présente étude, les concentrations moyennes de mycotoxines sont semblables ou

plus élevées par rapport à celles rapportées dans les études ciblées antérieures, à l'exception des études ciblées sur les aflatoxines et l'ochratoxine A.

Tableau 2. Sommaire des comparaisons entre les résultats de la présente étude et ceux des études précédentes de l'ACIA et de deux études faites par Santé Canada

Étude Auteur	Année	Analyte	Nombre d'échantillons	Nombre d'échantillons avec mycotoxines détectables (pourcentage)	Concentration maximale de mycotoxines (ppb)	Concentration moyenne* de mycotoxines (ppb)
Aflatoxines						
ACIA	2013-2015	Aflatoxines totales	2235	57 (2,5)	17,3	3,56
ACIA	2013-2014	Aflatoxines totales	514	44 (8,6)	16,2	2,19
DON et composés connexes						
ACIA	2013-2015	3-acétyldéoxynivalénol et 15-acétyldéoxynivalénol (AcDON)	2235	8 (0,004)	53	35,25
ACIA	2013-2015	Désoxynivalénol	2235	1044 (46,3)	2330	175,91
ACIA ⁶⁹	2012-2014	Désoxynivalénol	3099	2735 (88,3)	4380	105,29
SC (2008) ⁷⁰	1999-2001	Désoxynivalénol	156	72 (46,0)	940	S.O.
SC (2003) ²⁵	1997-1999	Désoxynivalénol	237	150 (63,3)	980	S.O.
ACIA	2013-2015	Diacétoxyscirpénol	2235	0 (0,0)	-	-
ACIA	2013-2015	Fusarénone-X	2235	0 (0,0)	-	-
ACIA	2013-2015	Néosolaniol	2235	1 (0,0004)	30	30
ACIA	2013-2015	Nivalénol	2235	4 (0,002)	98	42,5
SC (2008) ⁷⁰	1999-2001	Nivalénol	156	1 (0,6)	20	S.O.
SC (2003) ²⁵	1997-1999	Nivalénol	237	0 (0,0)	-	S.O.
Alcaloïdes de l'ergot						
ACIA	2013-2015	Alcaloïdes de l'ergot**	2235	478 (21,4)	1078	62,0
SC (2003) ²⁵	1997-1999	Alcaloïdes de l'ergot***	162	41 (25,3)	108	S.O.
Fumonisines						
ACIA	2013-2015	Fumonisines B ₁ , B ₂ et B ₃	2235	233 (10,4)	2062	187,33
ACIA ⁶³	2011-2012	Fumonisines B ₁ et B ₂	274	161 (58,8)	4442,5	253,26
SC (2008) ⁷⁰	1999-2001	Fumonisines B ₁ et B ₂	136	54 (40,0)	1980	S.O.
SC (2003) ²⁵	1997-1999	Fumonisines B ₁ et B ₂	142	42 (29,6)	130	S.O.
Toxines HT-2/T-2						
ACIA	2013-2015	Toxine HT-2	2235	59 (2,6)	148	21,19
SC (2008) ⁷⁰	1999-2001	Toxine HT-2	156	1 (0,6)	20	S.O.
SC (2003) ²⁵	1997-1999	Toxine HT-2	237	0 (0,0)	-	S.O.
ACIA	2013-2015	Toxine T-2	2235	28 (1,2)	123	22,29
Autres mycotoxines						
ACIA	2013-2015	Acide cyclopiazonique	2235	35 (1,5)	8,3	2,68
ACIA	2013-2015	Ochratoxine A	2235	128 (5,7)	33,6	2,58
ACIA ⁶⁷	2012-2014	Ochratoxine A	3100	1720 (55,4)	21,1	0,528
SC (2008) ⁷⁰	1999-2001	Ochratoxine A	156	53 (35,0)	1,4	S.O.
SC (2003) ²⁵	1997-1999	Ochratoxine A	161	42 (26,1)	6,9	S.O.
ACIA	2013-2015	Stérigmatocystine	2235	41 (1,8)	17,6	3,07
Mol ⁷¹	2013-2014	Stérigmatocystine	1259	124 (9,8)	33	S.O.
Zéaralénone et composés connexes						
ACIA	2013-2015	α-zéaralénone	2235	2 (0,0009)	464	266,5
ACIA	2013-2015	β-zéaralénone	2235	2 (0,0009)	13	12,5
ACIA	2013-2015	Zéaralénone	2235	89 (4,0)	577	45,65
SC (2008) ⁷⁰	1999-2001	Zéaralénone	156	34 (22,0)	100	S.O.
SC (2003) ²⁵	1997-1999	Zéaralénone	181	59 (32,6)	35	S.O.

*Moyenne des résultats positifs seulement

**Inclus ergosine, ergocryptine et ergocristine

***Inclus ergosine, ergotamine, ergocornine, ergocryptine et ergocristine

4. Conclusion

L'étude ciblée de 2013-2015 sur l'analyse de plusieurs mycotoxines dans certains aliments a élargi les données de surveillance de base sur la présence et les concentrations de mycotoxines dans les aliments à base de grains. Un total de 2235 échantillons ont fait l'objet d'analyses de dépistage des mycotoxines. Au nombre de ces échantillons figuraient 1174 produits transformés à base de grains, 360 produits de blé, 348 produits de grains autres, 186 produits de maïs et 167 produits d'avoine.

Parmi ces échantillons, 1327 (59,4 %) présentaient des concentrations détectables de mycotoxines. Les mycotoxines ont été détectées dans tous les types de produits. Un total de 21 mycotoxines différentes ont été trouvées dans les 2235 types de produits échantillonnés pour la présente étude. Les aflatoxines G₂, le diacétoxyscirpénol et la fusarénone-X n'ont été décelés dans aucun des échantillons. La mycotoxine la plus souvent détectée a été le désoxynivalénol, qui a été décelé dans 1044 échantillons (46,7 %).

En général, lorsque les données de la présente étude ont été comparées à d'autres données, elles étaient cohérentes et comparables en termes de taux de conformité et de concentrations maximales et moyennes de mycotoxines détectées.

Les concentrations de mycotoxines trouvées dans les produits échantillonnés n'ont pas pu être comparées aux valeurs d'une norme numérique, puisqu'il n'existe pas de règlement canadien ni de concentration maximale pour ces denrées, à l'exception de certaines concentrations maximales d'ochratoxine A proposées par Santé Canada. Parmi les 128 échantillons avec des concentrations détectables d'ochratoxine A, des concentrations excédant les seuils maximaux proposés par Santé Canada pour les denrées concernées ont été trouvées dans 1 produit de maïs, 3 produits de grains autres, 29 produits transformés à base de grains (incluant les céréales pour nourrissons), 6 produits d'avoine et 8 produits de blé. Santé Canada a établi que les concentrations de mycotoxines détectées dans les aliments à base de grains dans le cadre de la présente étude étaient peu susceptibles de poser une préoccupation pour la santé humaine. Aucune mesure de suivi n'a été jugée nécessaire compte tenu de l'absence de préoccupation pour la santé.

5. Annexe A

Liste des analytes ciblés par la méthode HPLC-MS/MS utilisée en laboratoire pour la présente étude, ainsi que leur limite de détection

Classe de mycotoxines	Analyte	Limite de détection (ppb)
Aflatoxines	Aflatoxine B1 (AFB1)	0,5
	Aflatoxine B2 (AFB2)	0,3
	Aflatoxine G1 (AFG1)	0,7
	Aflatoxine G2 (AFG ₂)	0,9
Acide cyclopiazonique	Acide cyclopiazonique (CPA)	0,6
Alcaloïdes de l'ergot	Ergocristine	5
	Ergocryptine	6
	Ergosine	9
Fumonisines	Fumonisine B1 (FB1)	4
	Fumonisine B2 (FB2)	10
	Fumonisine B3 (FB3)	8
Ochratoxine A	Ochratoxine A (OTA)	0,8
Stérigmatocystine (STE)	Stérigmatocystine (STE)	0,4
Trichothécènes	3-acétyldéoxynivalénol et 15-acétyldéoxynivalénol (AcDON)	13
	Déoxynivalénol (DON)	10
	Diacétoxyscirpénol (DAS)	10
	Fusarénone-X (FUS-X)	17
	Toxine HT-2 (HT-2)	8
	Néosolaniol (NEOS)	10
	Nivalénol (NIV)	7
	Toxine T-2 (T-2)	9
Zéaralénone et composés connexes	Zéaralénone (ZEA)	7
	α -zéaralénol (α -ZOL)	7
	β -zéaralénol (β -ZOL)	7

6. Références

- ¹ Santé Canada. *Normes canadiennes (concentrations maximales) établies à l'égard de divers contaminants chimiques dans les aliments* [en ligne]. Modifié en juin 2012. Consulté le 29 mai 2015. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/contaminants-guidelines-directives-fra.php>
- ² Bureau d'innocuité des produits chimiques de Santé Canada. *Résumé des commentaires reçus par suite de la demande de données 2010 sur l'ochratoxine A* [en ligne]. Modifié en octobre 2012. Consulté le 29 mai 2015. http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/consult/limits-max-seuils/myco_ochra-2012-summary-resume-fra.php
- ³ Santé Canada. *Toxines naturelles* [en ligne]. Modifié en décembre 2013. Consulté le 29 mai 2015. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/toxin-natur/index-fra.php>
- ⁴ Commission du Codex Alimentarius. Code d'usages en matière de prévention et réduction de la contamination des céréales par les mycotoxines, y compris les appendices sur l'ochratoxine A, la zéaralénone, les fumonisines et les trichothécènes (CAC/RCP 51-2003) 2003. Consulté le 29 mai 2015. http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/list-standards/fr/?no_cache=1
- ⁵ Wogan, G.N. "Chemical Nature and Biological Effects of the Aflatoxins." *Bacteriological Reviews* [en ligne]. 30.2 (1966): 460-470. Consulté le 29 mai 2015. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC441006/pdf/bactrev00193-0205.pdf>
- ⁶ Buchanan, J.R., Sommer, N.F., Fortlage, R.J. *Aspergillus flavus* Infection and Aflatoxin Production in Fig Fruits. *Applied Microbiology* [en ligne]. 30.2 (1975): 238-241. Consulté le 29 mai 2015. <http://aem.asm.org/cgi/reprint/30/2/238>
- ⁷ Statistique Canada. Le maïs : troisième culture en importance au Canada [en ligne]. Modifié le 18 février 2015. Consulté le 29 mai 2015. <http://www.statcan.gc.ca/pub/96-325-x/2014001/article/11913-fra.htm>
- ⁸ Zinedine, A. and Manes, J. Occurrence and legislation of mycotoxins in food and feed from Morocco. *Food Control*. 20. (2009):334-344. Print
- ⁹ Liu, Y., Wu, F. "Global burden of aflatoxin-induced hepatocellular carcinoma: a risk assessment. *Environmental Health Perspectives* [en ligne]. Vol. 118(6) 818-824.
- ¹⁰ Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) (2012). In *A Review of Human Carcinogens: Chemical Agents and Related Occupations*, IARC Monographs, Volume 100 – Part F. pp 225-248. Consulté le 9 mai 2015. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F-23.pdf>
- ¹¹ Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain on a request from the Commission related to the potential increase of consumer health risk by a possible increase of the existing maximum levels for aflatoxins in almonds, hazelnuts and pistachios and derived products. *The EFSA Journal* 446 (2007):1-127. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/446.pdf>
- ¹² Brera, C., De Santis, B., Debegnach, F., Miraglia, M. "Mycotoxins". *Comprehensive Analytical Chemistry: Food Contaminants and Residue Analysis*. Spain: Elsevier, 2008. 363-427. Print.
- ¹³ Comité mixte FAO-OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA). Aflatoxins [en ligne]. 1998. Consulté le 8 mai 2015. <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v040je16.htm>
- ¹⁴ Wild, CP., Gong YY., 2010. Mycotoxins and human disease: a largely ignored global health issue. *Carcinogenesis*. 31:71-78.

-
- ¹⁵ Williams JH, Phillips TD, Jolly PE, Stiles JK, Jolly CM, Aggarwal D. Human aflatoxicosis in developing countries: a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. *American Journal of Clinical Nutrition* 80.5 (2004): 1106-1122. Consulté le 7 mai 2015. <http://ajcn.nutrition.org/content/80/5/1106.full>
- ¹⁶ European Mycotoxins Awareness Network. Cyclopiazonic Acid [en ligne]. Consulté le 29 mai 2015. <http://eman.leatherheadfood.com/node/47>
- ¹⁷ Rao, LB and Husain, A. (1985). Presence of cyclopiazonic acid in kodo millet (*Paspalum scrobiculatum*) causing kodua poisoning in man and its production by associated fungi. *Mycopathologia* 89(3): 177-180 [en ligne]. Consulté le 18 septembre 2015. link.springer.com/article/10.1007/BF00447028
- ¹⁸ Norred, WP. (1990). Cyclopiazonic acid: Toxicity and tissue distribution. *Veterinary and Human Toxicology*, 32(Suppl.): 20-26.
- ¹⁹ Food Standards Agency. Surveillance Programme for Mycotoxins in Foods. Year 2: Mycotoxins in Foods For Infants and Young Children, Patulin in Apple Juice and Ergot Alkaloids in Cereal Products [en ligne]. November 2011 [en ligne]. Consulté le 29 mai 2015. <http://multimedia.food.gov.uk/multimedia/pdfs/fsis0211.pdf>
- ²⁰ Heritage, J.; Evans, G.; Killington, R.A. (1999). "5.6.8 What is the role of fungal toxins in food poisoning?" *Microbiology in Action*. Cambridge University Press. p. 115. ISBN 978-0-521-62912-6.
- ²¹ St. Anthony's Fire — Ergotism". *MedicineNet*. 2002 [en ligne]. Consulté le 29 mai 2015 <http://www.medicinenet.com/script/main/art.asp?articlekey=14891>
- ²² Moore, D. (2000). *Slayers, Saviors, Servants and Sex. An exposé of Kingdom Fungi*. New York: Springer-Verlag. ISBN-10: 0387951016, ISBN-13: 9780387951010 [en ligne]. Consulté le 29 mai 2015. <http://www.springer.com/us/book/9780387951010#otherversion=9780387950983>
- ²³ Autorité européenne de sécurité des aliments. 2012. Scientific opinion on ergot alkaloids in food and feed. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). *EFSA Journal* 10(7): 2798. Consulté le 18 septembre 2015. www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/doc/2798.pdf
- ²⁴ Weidenbörner M. Foods and Fumonisin. *European Food Research and Technology* [en ligne] 212, 262-273 (2001). Consulté le 29 mai 2015 <http://www.springerlink.com/content/8wnxk8lhldqgw6b2/fulltext.pdf?MUD=MP>
- ²⁵ Lombaert, G.A., Pellaers, P., Roscoe, V., Mankotis, M., Neil, R. and Scott, P.M. Mycotoxins in infant cereals from the Canadian Retail Market. *Food additives and Contaminants* [en ligne] 20 (2003): 494-504. Consulté le 4 juin 2015. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/0265203031000094645>
- ²⁶ Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans* [en ligne], 82, 171-301 (2002). Consulté le 29 mai 2015. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol82/mono82-7A.pdf>
- ²⁷ Desai, K., Sullards, M.C., Allegood, J., Wang, E., Schmelz, E.M., Hartl, M., Humpf, H.U., Liotta, D.C., Peng, Q., Merrill, A.H.Jr. Fumonisin and Fumonisin analogs as inhibitors of ceramide synthase and inducers of apoptosis. *Biochimica et Biophysica Acta* [en ligne], 1585, 188-192 (2002). Consulté le 29 mai 2015. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388198102003402>
- ²⁸ Thiel, P.G., Marasas, W.F., Sydenham, E.W., Shephard, G.S., Gelderblom, W.C. The implications of naturally occurring levels of Fumonisin in corn for human and animal health. *Mycopathologia* [en ligne], 117, 3-9 (1992). Consulté le 29 mai 2015.

<http://www.springerlink.com/content/15315532158025h8/fulltext.pdf>

²⁹ Bolger, M., Coker, R.D., DiNovi, M., Gaylor, D., Gelderblom, W., Olsen, M., Paster, N., Riley, R.T., Shephard, G., Speijers, G.J.A. Joint FAO/WHO Committee on Food Additives (JECFA). *Fumonisin* [en ligne] 2001. Consulté le 29 mai 2015. <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v47je03.htm>

³⁰ Soriano, J.M., and Dragacci, S. Occurrence of Fumonisin in Foods. *Food Research International* [en ligne]. 37 (2004): 985-1000 (2004). Consulté le 29 mai 2015. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996904001474>

³¹ Logrieco, A, Ferracane, R., Visconti, A., Ritieni, A. Natural occurrence of fumonisin B2 in red wine from Italy. *Food Additives & Contaminants* 27 (2010):1136–1141.

³² Bryła, M., Roszko, M., Szymczyka, K., Jędrzejczaka, R., Obiedziński, M.W. Sękul, J. Fumonisin in plant-origin food and fodder – a review. *Food Additives & Contaminants: Part A* 30.9 (2013): 1626-1640

³³ Abbas H.K., Cartwright R.D., Shier WT, Abouzied MM, Bird CB, Rice LG, Ross PF, Sciumbato GL, Meredith FI. Natural occurrence of fumonisin in rice with Fusarium sheath rot disease. *Plant Disease* 82 (1998):22–25.

³⁴ Williams, J.H., Grubb, J.A., Davis, J.W., Wang, J.S., Jolly, P.E., Ankrah, N.A., Ellis, W.O., Afriyie-Gyawu, E., Johnson, N.M., Robinson, A.G., Phillips, T.D. HIV and hepatocellular and esophageal carcinomas related to consumption of mycotoxin-prone foods in sub-Saharan Africa. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2010 Jul;92(1):154-60. doi: 10.3945/ajcn.2009.28761 [en ligne]. Consulté le 29 mai 2015. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20484447>

³⁵ Bolger, M., Coker, R.D., DiNovi, M., Gaylor, D., Gelderblom, W., Olsen, M., Paster, N., Riley, R.T., Shephard, G., Speijers, G.J.A. Joint FAO/WHO Committee on Food Additives (JECFA). *Fumonisin* [en ligne] 2001. Consulté le 29 mai 2015. <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v47je03.htm>

³⁶ Eriksen GS and Alexander J. (1998). Fusarium toxins in cereals – a risk assessment. *TemaNord*: 502, 1-114.

³⁷ Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) - Summaries & Evaluations. Fumonisin B1 (Group 2B). IARC 82 (2002) 301 [en ligne]. Consulté le 18 septembre 2015. <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol82/82-05.html>

³⁸ Birzele, B., Prange, A., Krämer, J. Deoxynivalenol and ochratoxin A in German wheat and changes of level in relation to storage parameters. *Food Additives & Contaminants: Part A* 17.12 (2000): 1027 -1035.

³⁹ Murphy, P.A., Hendrich, S., Landgren, C., Bryant, C. Food Mycotoxins: An Update. *Journal of Food Science*. 71. 5 (2006): R51-R65.

⁴⁰ Bakker, M., and Pieters, M.N. RIVM report 388802025/2002: Risk Assessment of Ochratoxin A in the Netherlands. 2002 [en ligne]. Consulté le 29 mai 2015 <http://rivm.openrepository.com/rivm/bitstream/10029/9185/1/388802025.pdf>

⁴¹ Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Ochratoxin A. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. IARC Scientific Publications No. 56. IARC (1991): 489–521

⁴² Aleksandrs Versilovskis and Sarah De Saeger. Sterigmatocystin: Occurrence in foodstuffs and analytical methods – An overview. *Molecular Nutrition and Food Research* 2010, 54, 136–147 [en ligne]. Consulté le 29 mai 2015. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mnfr.200900345/pdf>

-
- ⁴³ Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Some naturally occurring substances. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Summaries and Evaluations, Sterigmatocystin, IARC, Lyon, France, Monographs 1987, 10, p. 72.
- ⁴⁴ Campbell, H., Choo, T.M., Viger, B., Underhill, L. Comparison of mycotoxin profiles among cereal samples from Eastern Canada. *Canadian Journal of Botany*. 80 (2002): 526-532.
- ⁴⁵ Kushiro, M. Effects of Milling and Cooking Processes on the Deoxynivalenol Content in Wheat. *International Journal of Molecular Sciences*. 9.11 (2008): 21217-2145
- ⁴⁶ Commission européenne. Direction générale de Santé et sécurité alimentaire . Opinion of the Scientific Committee on Food on Fusarium Toxins PART 4: Nivalenol [en ligne]. Octobre 2000. Consulté le 29 mai 2015. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out74_en.pdf
- ⁴⁷ M.E.J. Pronk, R.C. Schothorst, H.P. van Egmond. Toxicology and occurrence of nivalenol, fusarenon X, diacetoxyscirpenol, neosolaniol and 3- and 15-acetyldeoxynivalenol: a review of six trichothecenes. RIVM Report 388802024/2002. Consulté le 29 mai 2015
- ⁴⁸ Pestka; J.J., Smolinski, A.T. Deoxynivalenol: Toxicology and potential effects on humans. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews* 8 (2004): 39 – 69.
- ⁴⁹ Richard A. Canady¹, Raymond D. Coker², S. Kathleen Egan¹, Rudolf Krska³, Monica Olsen⁴, Silvia Resnik⁵, and Josef Schlatter⁶. T-2 and HT-2 Toxins [en ligne] 2001. Consulté le 29 mai 2015 <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v47je06.htm#2.3.1>
- ⁵⁰ H. Pettersson. Toxicity and Risks with T-2 AND HT-2 TOXINS in Cereals. *Plant Breeding and Seed Science* 64 (2011): 65-74.
- ⁵¹ Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Toxins Derived from Fusarium Sporotrichiodes: T-2 Toxins. IARC Scientific Publications No. 56. IARC (1991): 467–488 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol56/mono56-17.pdf>
- ⁵² Zinedine A1, Soriano JM, Moltó JC, Mañes J. Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: an oestrogenic mycotoxin. *Food Chem Toxicol*. 2007 Jan;45(1):1-18. Epub 2006 Aug 30 [en ligne]. Consulté le 29 mai 2015. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17045381>
- ⁵³ European Mycotoxins Awareness Network. Zearalenone [en ligne]. Consulté le 29 mai 2015. <http://mycotoxins.org/node/44>
- ⁵⁴ Comité mixte FAO-OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA). Zearalenone. 2000 [en ligne] Consulté le 29 mai 2015. <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v44jec14.htm>
- ⁵⁵ Comité mixte FAO-OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA). Toxins Derived From Fusarium Graminearum, F. Culmorum and F. Crookwellense: Zearalenone, Deoxynivalenol, Nivalenol and Fusarenone X. 2000 [en ligne]. Consulté le 29 mai 2015. <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol56/10-grami.html>
- ⁵⁶ ⁵⁶ Centre International de Recherche sur le Cancer . (CIRC, 1993). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. Vol. 56. World Health Organization, Lyon, France. <http://monographs.iarc.fr/>
- ⁵⁷ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2009-2010 du PAASPA : Aflatoxines dans les figes et les dattes séchées [en ligne]. Consulté le 4 juin 2015. <http://inspection.gc.ca/aliments/residus-chimiques-microbiologie/residus-chimiques/aflatoxines/fra/1348158204498/1348159550976>

-
- ⁵⁸ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2010-2011 du PAASPA : *Aflatoxines dans les fruits séchés, les noix et les produits de noix, et des produits de maïs* [en ligne]. Consulté le 4 juin 2015. <http://inspection.gc.ca/aliments/residus-chimiques-microbiologie/residus-chimiques/aflatoxines/fra/1347377061474/1347377332021>
- ⁵⁹ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2011-2012 du PAASPA : *Aflatoxines dans les produits du maïs, les noix et les beurres de noix* [à publier]. Consulté le 4 juin 2015.
- ⁶⁰ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2012-2013 du PAASPA : *Aflatoxines dans les produits du maïs, les produits de noix, les raisins secs, la poudre de cacao, la poudre de chili et le paprika* [à publier]. Consulté le 4 juin 2015.
- ⁶¹ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2013-2014 du PAASPA : *Aflatoxines dans les produits de maïs, les noix et les beurres de noix, les fruits séchés, la poudre de cacao, le pain, les céréales de petit-déjeuner et pour nourrissons, et les épices en poudre* [à publier]. Consulté le 4 juin 2015.
- ⁶² Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2010-2011 du PAASPA : *Fumonisines dans les produits du maïs* [en ligne]. Consulté le 4 juin 2015. <http://inspection.gc.ca/aliments/residus-chimiques-microbiologie/residus-chimiques/fumonisines-dans-les-produits-du-mais/fra/1349817198567/1349817962653>
- ⁶³ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2011-2012 du PAASPA : *Présence de fumonisines dans les produits à base de maïs et de soja* [à publier]. Consulté le 4 juin 2015.
- ⁶⁴ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2009-2010 du PAASPA : *Ochratoxine A et désoxynivalénol dans certaines denrées* [en ligne]. Consulté le 4 juin 2015. <http://inspection.gc.ca/aliments/residus-chimiques-microbiologie/residus-chimiques/ochratoxine-a-et-desoxyvalenol/fra/1348258196979/1348258304536>
- ⁶⁵ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2010-2011 du PAASPA : *Ochratoxine A et désoxynivalénol dans les aliments sélectionnés* [en ligne]. Consulté le 4 juin 2015. <http://inspection.gc.ca/aliments/residus-chimiques-microbiologie/residus-chimiques/ochratoxine-a-et-desoxyvalenol/fra/1348073248340/1348074414907>
- ⁶⁶ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2011-2012 du PAASPA : *Ochratoxine A dans certains aliments* [à publier]. Consulté le 4 juin 2015.
- ⁶⁷ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2012-2014 du PAASPA : *Ochratoxine A dans certains aliments* [à publier]. Consulté le 4 juin 2015.
- ⁶⁸ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2011-2012 du PAASPA : *Le désoxynivalénol dans certains produits alimentaires* [à publier]. Consulté le 4 juin 2015.
- ⁶⁹ Agence canadienne d'inspection des aliments. Étude 2012-2014 du PAASPA : *Le désoxynivalénol dans certains produits alimentaires* [à publier]. Consulté le 4 juin 2015.
- ⁷⁰ Roscoe, V., Lombaert, G.A., Huzel, V., Neumann, G., Melietio, J. , Kitchen, D., Kotello, S., Krakalovicha, T., Trelka, R. & Scott, P. M. Mycotoxins in breakfast cereals from the Canadian retail market: A 3-year survey. *Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*. Volume 25 (2008): 347-355. [en ligne] Consulté le 4 juin 2015. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02652030701551826>
- ⁷¹ Hans G.J. Mol, Amedo Pietri, Susan J. MacDonald, Christos Anagnostopoulos, Martien Spanjer. 2015. Survey on sterigmatocystin in food. *European Food Safety Authority supporting publication 2015:EN-774* [en ligne]. Consulté le 24 juin 2015. <http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/774e.htm>