

Fiche introductive aux mycotoxines

FICHE QUESTIONS SUR... n° 08.02.Q10

Mots clés : toxine naturelle - toxique - récolte - moisissure - alimentation - risque - sécurité alimentaire - aliment

À l'heure où le consommateur considère que le naturel est sain et que les produits naturels ne peuvent être toxiques, il est bon de se souvenir que les plus puissants poisons sont d'origine naturelle, et que certaines toxines naturelles sont potentiellement présentes dans les denrées alimentaires ; les mycotoxines de la famille des trichothécènes sont suspectées d'avoir été utilisées comme arme chimique dans la seconde partie du XX^e siècle en Asie ou au Moyen-Orient.

Les mycotoxines sont des produits du métabolisme secondaire sécrétés par des moisissures appartenant notamment aux genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium*. Elles peuvent se développer sur la plante au champ ou en cours de stockage, et présentent une toxicité à l'égard de l'Homme et des animaux.

Les mycotoxines peuvent persister sur la denrée alimentaire bien après la disparition de la moisissure, et résistent à de très fortes températures lors de la cuisson.

Certaines mycotoxines présentant une forte toxicité ou une forte prévalence dans les denrées alimentaires, la Commission européenne a mis en place une réglementation qui définit les seuils tolérables et vise à garantir une alimentation saine (règlement européen 1881/2006 du 19 décembre 2006). En 2022, ce règlement est en cours de révision pour certaines denrées et certaines mycotoxines.

QUELQUES DÉFINITIONS PRÉALABLES

Sur les formes de mycotoxines

Les avancées dans le domaine analytique ont permis l'identification de dérivés de *mycotoxines dites natives* regroupées sous le terme de *mycotoxines modifiées*. Plus précisément on distingue :

- les formes modifiées, biologiquement issues d'une réaction de *phase I* (oxydation, réduction ou hydrolyse) ou de *phase II* (conjugaison) par un organisme animal, végétal ou une moisissure ;
- les formes résultant de l'action d'un micro-organisme (mycotoxines modifiées différemment) ou d'une action chimique dépendant ou non de la chaleur.

Le terme *mycotoxines masquées* concerne les seules mycotoxines biologiquement modifiées issues d'une réaction de conjugaison dans une plante.

Certaines de ces formes modifiées ont été intégrées dans la *dose journalière tolérable* (DJT) de la mycotoxine mère.

Sur le vocabulaire et les acronymes de cette fiche

- DJA (Dose Journalière Acceptable) : quantité qu'un individu peut consommer tous les jours de sa vie sans courir de risques
- DJT (Dose Journalière Tolérable) : quantité qu'un individu peut ingérer tous les jours de sa vie sans effets néfastes sur la santé. Établie sur le même principe que la DJA. Elle est exprimée en milligramme (abréviation : mg) ou microgramme (abréviation : µg) par kilogramme de poids corporel par jour
- DSE (Dose Sans Effet) : dose sans effet toxique
- mg : milligramme = un millièème de gramme ou 10⁻³ gramme
- µg : microgramme = un millionième de gramme ou 10⁻⁶ gramme
- ng : nanogramme = un milliardième de gramme ou 10⁻⁹ gramme
- mg/kg pc/j : milligramme par kilogramme de poids corporel et par jour
- µg/kg pc/j : microgramme par kilogramme de poids corporel et par jour
- ng/kg pc/j : nanogramme par kilogramme de poids corporel et par jour

Les aflatoxines (AF)

Cinq toxines – AFB₁, AFB₂, AFG₁ et AFG₂ et M₁ (métabolite hydroxylé de AFB₁, retrouvé dans le lait des mammifères) – ont été incriminées dans des mycotoxicoses, sécrétées principalement par *Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus*. On les retrouve dans les graines oléagineuses, les céréales, les fruits secs, les épices, les fruits à coque, le lait et les produits laitiers, la farine de poisson.

L'hépatotoxicité est la caractéristique majeure des aflatoxines, et notamment de l'AFB₁ ; elle conduit à des cancers primitifs du foie atteignant l'Homme dans de nombreuses zones tropicales et subtropicales.

L'Aflatoxine B₁ (AFB₁) est une substance naturelle cancérigène avérée pour l'Homme. En conséquence, aucune DJT ne peut être fixée pour aflatoxines.

La non-fixation ou la suppression d'une DJT signifie que la toxine est considérée comme faisant courir un risque cancérigène aux consommateurs si une marge de sécurité de 10 000, entre l'exposition et une Dose Sans Effet cancérigène, n'est pas respectée.

En Europe, l'exposition moyenne aux aflatoxines, notamment à l'AFB₁, varie entre 0,22 et 0,49 ng/kg pc/j. Pour les populations européennes les plus exposées, elle est comprise entre 1,35 et 3,25 ng/kg pc/j.

L'évaluation du risque montre que la marge de 10 000 ne semble pas respectée pour les effets cancérigènes ; il y a donc un risque de survenue de cancer chez les consommateurs exposés à l'aflatoxine B₁ et l'aflatoxine M₁.

Dans l'Union européenne, les teneurs maximales d'aflatoxine B₁ dans les denrées varie entre 8 µg/kg et 2 µg/kg de denrée pour les aliments destinés à la consommation des adultes (8 µg/kg pour les arachides destinées à être soumises à un tri, et 2 µg/kg de denrée pour les céréales). Pour les aliments destinés aux enfants en bas âge et aux nourrissons, la teneur maximale d'aflatoxine B₁ est fixée 0,1 µg/kg de denrée.

Les ochratoxines (OT)

Neuf molécules composent la famille des ochratoxines, mais seule la présence d'ochratoxine A (OTA) a été rapportée sur différents produits alimentaires.

Aspergillus ochraceus est responsable de la production d'ochratoxine A sur le café, les épices, l'arachide, le riz et le maïs en région chaude et tropicale. Sur le raisin, sa présence est liée à *Aspergillus westerdijikae* ; cette dernière espèce, associée à *Penicillium verrucosum*, est aussi responsable de la contamination de céréales au cours des étapes de stockage en Europe et Amérique du Nord.

L'OTA est toxique pour le foie (hépatotoxique) et perturbe la réaction immunitaire (immunotoxique) ; elle induit des malformations chez le fœtus (téatogène) chez les espèces de laboratoire. De nouvelles données suggèrent que cette mycotoxine peut endommager directement l'ADN (génétoxique), et être cancérigène pour le rein ; l'EFSA a donc récemment supprimée la DJT pour cette toxine.

En Europe, l'exposition moyenne à l'OTA varie entre 0,64 et 17,79 ng/kg pc/j ; pour les populations les plus exposées, elle est comprise entre 2,4 et 51,69 ng/kg pc/j. L'évaluation du risque pour les effets non cancérigènes montre que l'exposition est inférieure à la valeur de référence ; en revanche, la marge de 10 000 ne semble pas respectée pour les effets cancérigènes, il y a donc un risque de survenue de cancer chez les consommateurs exposés à l'OTA.

La Commission européenne a fixé des niveaux maximums pour l'OTA de 10 µg/kg dans les denrées alimentaires telles que les céréales, les fruits secs ou encore les noix.

La patuline

La patuline est produite par plusieurs espèces des genres *Penicillium* (dont *Penicillium griseofulvum*, *Penicillium urticae* et *Penicillium expansum*), du genre *Aspergillus* (*Aspergillus clavatus*, *Aspergillus giganteus* et *Aspergillus terreus*) ainsi que *Byssochlamis nivea*.

Penicillium expansum est l'agent toxigène incriminé dans la contamination des pommes, poires et produits dérivés. *Byssochlamis nivea* est la source de patuline dans les ensilages, alors que la contamination (peu fréquente) des céréales au cours du stockage est liée à *Aspergillus clavatus*.

Chez toutes les espèces, les signes toxiques – lors d'une exposition aiguë – correspondent à une neurotoxicité (agitation, convulsions) associée à une congestion pulmonaire avec ulcération et inflammation intestinales. La DJT a été fixée à 0,4 µg/kg pc/j.

L'exposition moyenne à la patuline varie entre 0,63 et 21,2 ng/kg pc/jour chez l'adulte, et entre 1,21 et 39,3 ng/kg pc/j chez l'enfant.

Les teneurs maximales de patuline autorisées en Europe sont de 50 µg/kg de jus de fruit ou de nectar pour les adultes, et de 10 µg/kg pour les produits destinés aux très jeunes populations (nourrissons et enfants).

Les toxines de Fusarium

Les toxines de *Fusarium* sont très fréquemment retrouvées dans les récoltes céréalières.

Fusarium graminearum et *Fusarium culmorum* sont les espèces majoritaires sur le blé et l'orge, et *Fusarium verticillioides* et *Fusarium proliferatum* sur le maïs. La contamination a lieu essentiellement avant récolte, et il n'existe à l'heure actuelle aucune stratégie de maîtrise suffisamment efficace pour garantir des niveaux de mycotoxines dans les grains récoltés respectant les limites réglementaires.

Ces toxines appartiennent à différentes familles :

Les trichothécènes forment un groupe, dont le déoxynivalénol (DON), le diacétoxyscirpénol (DAS) et la toxine T-2 sont les représentants les plus étudiés.

- La toxine T-2 provoque de sévères intoxications avec ulcérations des muqueuses et de la peau, altération de la maturation des lignées sanguines et diminution de la réponse immunitaire.
- DAS est caractérisé par des propriétés toxiques voisines de celles de la toxine T-2.
- DON, également immunotoxique, possède une toxicité aiguë bien inférieure à T-2 et DAS, mais les teneurs rencontrées dans les céréales peuvent être 100 à 1 000 fois supérieures, augmentant ainsi le risque d'effets toxiques. Les symptômes d'intoxication aiguë à DON sont : nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées, maux de tête, étourdissements et fièvre ; à long terme, la toxine limite la croissance.

La DJT pour DON et ses formes dérivées (3-Ac-DON, 15-Ac-DON et DON-3 glucoside) a été fixée à 1 µg/kg pc/j.

L'exposition au DON et à ses formes dérivées en Europe varie entre 0,2 µg/kg pc/j chez les adultes, et 2,9 µg/kg pc/j chez les enfants. Pour les enfants, la valeur d'exposition dépasse donc la DJT fixée par l'EFSA, montrant ainsi que l'exposition à cette toxine reste un problème de sécurité sanitaire des aliments ; l'exposition importante des enfants s'explique par leur forte consommation de nourriture à base de céréales, et par un apport de nourriture journalier par kilogramme de poids corporel plus important que chez les adultes.

Les DJT de T-2, et DAS, sont respectivement fixées à 0,02 et 0,65 µg/kg pc/j.

L'exposition des consommateurs français dépasse la DJT de T-2 pour toutes les catégories de consommateurs confondus. Au niveau européen, l'exposition à T-2 est également supérieure à la DJT, on peut donc considérer qu'il y a un risque pour le consommateur, mais inférieur pour DAS.

La Commission européenne a limité la teneur en DON pour les céréales et les produits dérivés à 0,2 mg/kg pour l'alimentation infantile, et 1,75 mg/kg pour l'alimentation destinée à la population générale.

T-2 n'est pas réglementée à ce jour, mais il est prévu de fixer des doses maximales dans la nouvelle réglementation.

Les fumonisines sont produites par *Fusarium verticillioides*, *Fusarium proliferatum*, principalement sur le maïs et le sorgho. Elles ont des effets toxiques différents suivant les espèces animales ; la fumonisine B₁ a un effet immunosupresseur. Les fumonisines peuvent induire des effets indésirables sur le système cardiovasculaire (hypertension et athérosclérose).

Chez l'Homme, la contamination alimentaire par la fumonisine B₁ (FB₁) est corrélée à la malformation du système nerveux et à l'apparition de cancers de l'œsophage, pour divers pays d'Afrique australe. La DJT est fixée à de 2 µg/kg pc/j pour la somme FB₁ + FB₂. En Europe, les expositions moyennes à la FB₁ et à la FB₂ s'élèvent respectivement à 29 et 15,8 ng/kg pc/j chez les adultes ainsi qu'à 44,6 et 30,4 ng/kg pc/j chez les enfants.

Dans l'Union européenne, la teneur maximale pour la somme FB₁ + FB₂ est de 200 µg/kg pour les aliments transformés à base de maïs et les aliments destinés aux nourrissons et aux jeunes enfants.

La zéaralénone est dotée d'une forte affinité à l'égard des récepteurs œstrogènes.

En raison de sa présence dans le maïs, elle est à l'origine d'un syndrome œstrogénique fréquent chez le porc, avec tuméfaction vulvaire, vulvo-vaginite, prolapsus vaginal chez les jeunes, altération de la fertilité mâle et femelle chez les adultes. Les effets de cette mycotoxine chez l'Homme ne sont pas avérés, cependant, elle est considérée comme un perturbateur endocrinien potentiel puissant.

La DJT de la zéaralénone et ses formes modifiées est fixée à 0,25 µg/kg pc/j. En Europe, l'exposition moyenne à la zéaralénone varie entre 5,9 et 25,50 ng/kg pc/j. Pour les populations les plus exposées (les nourrissons et jeunes enfants), elle est comprise entre 11,5 et 46,2 ng/kg pc/j.

En Europe, les niveaux maximaux tolérés de zéaralénone dans les aliments destinés à la consommation humaine, sont fixés à 20 µg/kg dans les aliments pour bébés et nourrissons, à 100 µg/kg dans les snacks à base de maïs et les céréales pour petit déjeuner, et à 75 µg/kg dans les céréales autres que le maïs.

L'enniatine, la beauvéricine, et la moniliformine sont des mycotoxines émergentes, produites par des champignons du genre *Fusarium*. Les données de prévalence de ces toxines sont encore limitées mais les premières études suggèrent qu'on les retrouve fréquemment ; par exemple, sur la période 2010-2014, les

[page 3](#) Cette fiche est consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "**Publications**" puis "**Encyclopédie de l'Académie**"

Reproduction autorisée sous réserve d'en citer la provenance

enniatiines et la beauvéricine ont respectivement été détectées en Europe dans 63 % et 80 % des aliments, et dans 24 % et 46 % des céréales non transformées. Très peu de données sont disponibles quant à leurs effets toxiques, en conséquence, il n'a pas été possible de leur fixer une DJT, ni d'évaluer le risque pour le consommateur.

Les alcaloïdes de l'ergot sont produits principalement par des moisissures du genre *Claviceps*. Le terme ergot fait référence aux structures fongiques appelées sclérotés du champignon *Claviceps purpurea*, qui remplacent les grains sur les épis de céréales ; ces sclérotés contiennent des alcaloïdes toxiques. L'ergotisme se manifeste en deux formes :

- une forme gangreneuse nommée *feu de Saint-Antoine* ou *feu sacré* ou mal des ardents ;
- une forme convulsive appelée *mal de Saint-André*.

La dernière épidémie d'ergotisme en France aurait eu lieu à Pont-Saint-Esprit vers les années 1950.

En 2012, l'EFSA a attribué une DJT de 0,6 µg/kg pc/j aux alcaloïdes de l'ergot. L'exposition chez l'Homme peut varier entre 0,02 et 0,98 µg/kg poids corporel/j. Les enfants jusqu'à 10 ans sont 2 à 3 fois plus exposés que les adultes. À l'heure actuelle, la réglementation pour l'alimentation humaine concerne seulement la quantité de sclérotés (maximum 0,5 g/kg pour les céréales brutes), et non les alcaloïdes de l'ergot proprement dits.

Dominique PARENT-MASSIN et Isabelle OSWALD, membres de l'Académie d'Agriculture de France
février 2022

Ce qu'il faut retenir :

Dans un contexte où les risques induits par la présence de résidus de produits phytopharmaceutiques dans l'alimentation inquiètent le grand public, il est important rappeler que des toxines naturelles – comme les mycotoxines – peuvent faire courir aux consommateurs des risques plus importants que les résidus de produits phytopharmaceutiques.

Sur le terrain, on constate que la diminution de l'usage des fongicides favorise la réémergence de l'ergot de seigle.

Pour en savoir plus :

- Payrosa D et coll. : *Les mycotoxines en alimentation humaine : un défi pour la recherche*, Cahiers de nutrition et de diététique 56 (2021) 170–183.
- Règlement européen 1881/2006 du 19 décembre 2006 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32006R1881>
- EFSA Contam Panel, 2011, <https://doi:110.2903/j.efsa.2011.2197>.
- EFSA Contam Panel, 2012, <https://doi:10.2903/j.efsa.2012.2798>.
- EFSA Contam Panel, 2014, <https://doi:10.2903/j.efsa.2014.3802> ;
- EFSA Contam Panel, 2016, <https://doi:10.2903/j.efsa.2016.4425>
- EFSA Contam Panel, 2017a <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4718>
- EFSA Contam Panel, 2017b, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4655>
- EFSA Contam Panel, 2017c, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4902>
- EFSA Contam Panel, 2018a, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5367>
- EFSA Contam Panel, 2018b, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5082>
- EFSA Contam Panel, 2020a, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6040>
- EFSA Contam Panel, 2020b, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6113>