

LES MYCOTOXINES ET LES CHAMPIGNONS

Les mycotoxines sont des molécules toxiques issues du métabolisme secondaire de certaines espèces de moisissures qui se développent sur un aliment.

Si la toxine est en quantité suffisante dans l'aliment, elle peut provoquer une intoxication chez le consommateur

Un grand nombre d'espèces de moisissures appartenant principalement aux trois genres très communs :

- *Aspergillus,*
- *Penicillium,*
- *Fusarium,*

Présents dans l'air ambiant, le sol, sur les cultures (...) sont capables, en se développant par exemple sur certains substrats tels que l'arachide, le café, les produits céréaliers, les céréales, le raisin (...) de synthétiser et d'excréter des mycotoxines.

Les mycotoxines les plus couramment rencontrées, et faisant l'objet d'une surveillance régulière, sont les aflatoxines, les ochratoxines.

La mycotoxinogénèse (la condition de synthèse et d'excrétion des mycotoxines) est un phénomène d'une grande complexité. Les conditions optimales de la toxino-génèse dépendent d'une combinaison :

- *des facteurs température et humidité*
- *ainsi que de l'oxygénation au niveau du substrat.*

La plupart des moisissures se développent entre 15 et 30°C.

- ✓ *Les Aspergillii se plairont plutôt vers 30°C sous des climats tropicaux, chauds et humides (comme au Vietnam).*
- ✓ *Les Penicillia (70-80 % de ses espèces sont aptes à synthétiser des mycotoxines) mais peuvent également croître à des températures assez fraîches (< 10°C).*
- ✓ *ou les Fusaria se développeront plutôt vers 20-25°C et elles sont couramment rencontrées dans les climats tempérés ;*

A. Moisissures et mycotoxines dans les denrées alimentaires :

Depuis l'époque initiale où l'homme a commencé à cultiver les céréales et stocker les aliments, la détérioration par les moisissures est inévitable. L'aliment est progressivement envahi par un fin duvet (le mycélium) blanc, noir, vert, orange, rouge et brun. Ces moisissures acidifient, décolorent, font fermenter et rendent ces produits désagréables voire dangereux.

*Jusqu'à récemment, les moisissures étaient généralement considérées comme une simple détérioration inesthétique des aliments, à l'exception de *Claviceps purpurea* causé (L'ergot du seigle= un champignon du groupe des ascomycètes, parasite du seigle. Il contient des alcaloïdes responsables de l'ergotisme), relié à une maladie de l'homme depuis 200 ans. Les scientifiques japonais ont mis en évidence la nature toxique du riz jaune il y a 100 ans, mais ce n'est que 70 ans plus tard que l'implication des moisissures a été confirmée. L'ATA (l'aleucie toxique alimentaire) a tué des milliers d'hommes à l'Est de la Russie entre 1942 et 1947.*

C'est réellement à partir de 1960, qu'on a pris conscience que les moisissures pouvaient produire des toxines significatives.

*Les moisissures sont des champignons filamenteux hétérotrophes qui ont des actions bénéfiques mais aussi néfastes pour l'homme. Ils sont ubiquitaires. Les aliments sont généralement des milieux très favorables à leur développement. Plusieurs moisissures notamment les genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium* sont connues pour être des contaminants des produits agricoles et/ou pour leur capacité à produire des métabolites secondaires toxiques.*

L'appareil végétatif des champignons se reproduisent grâce à des spores. Celles-ci sont issues :

- ✓ soit d'une reproduction sexuée (champignon téléomorphe)
- ✓ ou d'une multiplication asexuée (champignon anamorphe).
- ✓ Certains champignons, chez qui les deux formes coexistent sont appelés holomorphes.

Différents groupes de moisissures ont été définis suivant leur mode de reproduction sexuée et les caractéristiques de leur spore.

- Zygomycètes possèdent des spores contenues à l'extérieur d'une cellule renflée,
- Ascomycètes ont des spores regroupées dans des sortes de sacs,
- Basidiomycètes qui ont des spores portées par des basides
- et Hyphomycètes. Ces derniers sont un groupe hétérogène dont on ne connaît pas actuellement, pour la plupart, la forme de reproduction sexuée.

Les moisissures sont ubiquitaires et présentent des avantages économiques intéressants pour l'homme. Dans les milieux naturels, elles contribuent, avec d'autres microorganismes, à la biodégradation et au recyclage des matières organiques comme la litière ou le bois. Certaines sont utilisées dans l'alimentation, comme *Penicillium roquefortii* et *P. camembertii* pour la production de fromages, d'autres sont exploitées pour la production ;

- d'enzymes (40% des enzymes produits industriellement),
- d'acides organiques (acide citrique et gluconique par des espèces d'*Aspergillus* et *Penicillium*),
- de médicaments (production de pénicilline par *P. chrysogenum*, de céphalosporine par *Cephalosporium acremonium*). Environ 22% des antibiotiques identifiés sont produits par les champignons filamenteux.

Il est à noter que la production de biomasse de *P. chrysogenum* sert aussi d'engrais ou d'aliment pour le bétail. A côté des effets très bénéfiques et positifs des champignons dans la vie courante, ils sont capables de provoquer également d'importantes détériorations,

Exemple de produits contaminés par des moisissures toxiques

| Denrées | Espèces toxiques contaminantes | Mycotoxines probables |
|---|---|---|
| Blé, farine, pain, maïs, chips | <i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Penicillium citrinum</i> , <i>P. citreoviride</i> , <i>P. cyclospium</i> , <i>P. martensii</i> , <i>P. patulum</i> , <i>P. pubertum</i> <i>Fusarium moniliforme</i> . | Aflatoxines, ochratoxines, stérigmatocystine, acide pénicillique, patuline, désoxynivalénol, zéaralénone, fumonisine. |
| Arachide, noix | <i>A. flavus</i> , <i>A. Ochraceus</i> , <i>A. versicolor</i> <i>P. citrinum</i> , <i>P. cyclospium</i> , <i>P. expansum</i> | Aflatoxines, ochratoxines, stérigmatocystine, trichothécènes, cytochalasines, patuline. |
| Tourte à la viande, viande cuite, fromage, cacao, houblon | <i>A. Flavus</i> , <i>P. viridicatum</i> , <i>P. roqueforti</i> , <i>P. patulum</i> , <i>P. Commune</i> | Aflatoxines, stérigmatocystine, ochratoxines, patuline, acide pénicillique |
| Viandes, porc salé, fromage | <i>A. flavus</i> , <i>A. Ochraceus</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>P. viridicatum</i> , <i>P. cyclospium</i> . | Aflatoxines, ochratoxines, stérigmatocystine, patuline, acide pénicillique, pénitrem |
| Poivre noir et rouge, pâtes | <i>A. flavus</i> , <i>A. Ochraceus</i> | Aflatoxines, ochratoxines |
| Fèves, orge, maïs, sorgho, soja | <i>A. flavus</i> , <i>A. Ochraceus</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Alternaria</i> , <i>F. moniliforme</i> , <i>P.</i> <i>cyclospium</i> , <i>P. viridicatum</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>P. expansum</i> , <i>P. islandicum</i> , <i>P. urticae</i> | Aflatoxines, ochratoxines, stérigmatocystine, alternariol, griséofulvine, acide pénicillique, citrinine, patuline |
| Pâtisseries réfrigérées ou Congelées | <i>A. flavus</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>P. viridicatum</i> , <i>P. cyclospium</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>P. martensii</i> , | Aflatoxines, stérigmatocystine, ochratoxines, patuline, |

| | | |
|---|--|--|
| | <i>P.citreoviride, P.palitans, P.pubertum, P. roquefort, P.urticae</i> | <i>acide pénicillique, citrinine, pénitrem</i> |
| <i>Denrée alimentaire (stockage domestique)</i> | <i>Penicillium, Aspergillus, F. Oxysporum</i> | <i>Aflatoxine, acide kojique, ochratoxines, pénitrem, patuline, acide pénicillique, trichothécènes</i> |
| <i>Pomme et produits dérivés de pomme</i> | <i>P. expansum</i> | <i>Patuline</i> |

1. Contamination des céréales par les mycotoxines :

*Les céréales sont les principaux vecteurs de mycotoxines car elles sont universellement consommées par l'homme et par les animaux. Elles peuvent être contaminées à plusieurs moments (en plein champ ou lors du stockage). En général, ce sont les insectes qui sont les vecteurs. Ce sont dans les pays aux conditions climatiques chaudes et humides (et donc en particulier les pays d'Afrique, d'Asie du Sud et d'Amérique du Sud) que la croissance des champignons toxigènes (surtout ceux produisant les aflatoxines) est la plus favorisée. Ainsi, le riz, le maïs et le millet, aliments de base des populations de ces pays, sont souvent contaminés par les aflatoxines. Environ 55 millions de tonnes de céréales sont perdus chaque année dans le monde. Les études mycologiques sur les céréales sèches révèlent souvent des quantités importantes de moisissures de champ, particulièrement des espèces d'*Alternaria* et de *Fusarium*, ainsi que les mycètes xérophiles capables de provoquer la détérioration du substrat.*

2. Ecotoxicogénèse :

Les facteurs qui affectent la formation de mycotoxines incluent :

- *la teneur en eau,*
- *la température,*
- *le temps de stockage,*
- *les dommages aux enveloppes des graines,*
- *la présence d'oxygène et de dioxyde de carbone,*
- *la composition du substrat,*
- *la prédominance d'espèces toxigènes,*
- *la dispersion des spores,*
- *les interactions microbiennes*
- *et la présence d'insectes.*

2.1. Substrat :

Un champignon n'est pas forcément capable de se développer sur n'importe quel substrat.

Exemple l'aflatoxine (AF) ne se forme quasiment jamais dans le soja. Cela est sans doute dû au fait de la présence d'inhibiteurs à l'état de trace comme le zinc ou de protéine de petit poids moléculaire. La composition qualitative et quantitative en certains nutriments (sucre, notamment) influe sur la contamination en AF. L'AF contamine surtout les noix, pistaches, amandes et céréales poussant dans les contrées chaudes.

2.2. Activité de l'eau et son action sur la croissance microbienne

L'activité de l'eau (aw) est un concept physico-chimique, introduit par Scott (1957). Il a été montré qu'il y a une relation entre l'humidité dans l'aliment et la capacité de croissance microbienne.

Activité de l'eau minimale pour la croissance des moisissures xérophiles (Pfohl-Leszkowicz, 1999)

| <i>Champignon</i> | <i>aw</i> | <i>t°C</i> | <i>Produits d'isolement</i> | <i>Références</i> |
|----------------------------------|-----------|------------|-----------------------------|-------------------------|
| <i>Aspergillus flavus</i> | 0,84 | 25 | Lait en poudre | Pitt & Hocking, 1977 |
| <i>Aspergillus versicolor</i> | 0,83 | 22 | Blé en cours de stockage | Pelhate, 1968 |
| <i>Aspergillus sydowii</i> | 0,79 | 25 | Poisson séché indonésien | Wheeler & Hocking, 1988 |
| <i>Aspergillus candidus</i> | 0,79 | 25 | Poisson séché indonésien | Wheeler & Hocking, 1988 |
| <i>Aspergillus restrictus</i> | 0,77 | 22 | Blé en cours de stockage | Pelhate, 1968 |
| <i>Aspergillus penicilloides</i> | 0,73 | 25 | Poisson séché indonésien | Andrews & Pitt, 1987 |
| <i>Aspergillus wentii</i> | 0,74 | 25 | Poisson séché indonésien | Andrews & Pitt, 1987 |
| <i>Penicillium restrictum</i> | 0,84 | 25 | Non précisé | Hocking & Pitt, 1977 |
| <i>Penicillium expansum</i> | 0,82 | 25 | Non précisé | Hocking & Pitt, 1977 |

La plupart des moisissures préfèrent une *aw* entre 0,85 et 0,99 pour leur développement.

L'*aw* minimale permettant le développement de la plupart des champignons contaminant les céréales est de 0,7. Certaines moisissures xérophiles (*A. flavus* ou *P. restrictus*) peuvent se développer dans les fruits secs, le lait en poudre, les confitures, charcuteries sèches dont l'*aw* est plus faible.

2.3. Température :

Les moisissures peuvent se développer entre 0°C et 35°C. Certaines espèces sont capables de se développer à des températures extrêmes :

- *Cladosporium herbarum* peut se développer à des températures inférieures à 0°C
- et *A. flavus* ou *A. fumigatus* jusqu'à 60°C.

En général, la température optimale de toxinogénèse est voisine de la température optimale de croissance. Pour d'autres toxines, telles que la zéaralénone élaborée par *F. roseum*, la température optimale de toxinogénèse est généralement inférieure à celle de la croissance, respectivement 15 et 25°C.

2.4. Composition gazeuse :

La plupart des moisissures sont aérobies. La réduction de la pression partielle en oxygène et surtout l'accroissement de la teneur en CO₂ à un effet inhibiteur important sur la toxinogénèse. La production d'aflatoxines dans l'arachide est modérément réduite pour des taux d'O₂ entre 5 et 21%. par contre elle est inhibée lorsque la proportion en O₂ est inférieure à 1 %. L'augmentation de la teneur en CO₂ (20 %), surtout si elle est associée à une réduction en oxygène, provoque une chute importante de la production d'aflatoxines.

2.5. Interactions entre organismes :

Les insectes et acariens sont des vecteurs de spores de moisissures qu'ils introduisent à l'intérieur même du grain par les lésions qu'ils créent. La contamination d'arachide, de coton, de maïs par *A. flavus* ou les aflatoxines avant la récolte est souvent liée à l'attaque par les insectes.

La présence simultanée de micro-organismes (bactéries ou moisissures) module la production de mycotoxines. Cela s'explique d'une part, par la compétition pour le substrat et d'autre part, par le fait que certaines souches peuvent dégrader la toxine.

3. Mycotoxines et toxinogénèse :

a) Les mycotoxines :

Ce sont des métabolites secondaires, de faible poids moléculaire, présentes dans plusieurs produits de l'alimentation humaine et animale et qui provoquent de nombreuses maladies chez l'homme et l'animal. Plusieurs milliers de molécules toxiques ont été identifiées chez les champignons mais seule une vingtaine de familles posent des problèmes en nutrition humaine ou animale.

L'origine chimique des mycotoxines est très diverse certaines dérivent :

- *des acides aminés (alcaloïdes de l'ergot, acide aspergillique, acide cyclopiazonique, slaframine, gliotoxine, roquefortine, sporodesmine),*
- *des polycétoacides (aflatoxines, ochratoxine, patuline, citrinine, acide pénicillique, stérigmatocystine, zéaralénone),*
- *des dérivés terpéniques (diacétoxyscirpénol, fusarénone, désoxynivalénol, roridines, toxine T-2, verrucarine)*
- *ou encore des dérivés d'acides gras (fumonisines, alternariol).*

b) La Citrinine :

*La Citrinine (CIT) a été décrite en 1931 comme pouvant être utilisée comme un antibiotique, mais finalement rejetée à cause de sa toxicité. La CIT est un métabolite secondaire toxique, tout d'abord isolé de *P. citrinum* elle est aussi produite par d'autres espèces de *Penicillium*, d'*Aspergillus* et de *Monascus*.*

La contamination par la CIT est observée dans divers aliments à base de céréales (maïs, blé, orge, riz, fruits, produits de céréales...)

Caractères physico-chimiques :

La Citrinine [C₁₃H₁₄O₅ : acide 4,6-dihydro- 8-hydroxy- 3,4,5- tri méthyle-6-oxo -3H-2-benzopyran- 7 carboxylique] est un composé acide jaune- citron dont l'absorption de son spectre varie entre à 250 nm et 333 nm (dans le méthanol). Son point de fusion est à 172°C. Elle est peu soluble dans l'eau, mais soluble dans des solutions d'hydroxyde de sodium, carbonate de sodium, ou acétate de sodium ; dans le méthanol, l'acétonitrile, l'éthanol et la plupart des solvants organiques polaires.

c) Ochratoxine A :

*L'ochratoxine A (OTA) a été découverte pour la première fois chez *A. ochraceus*. Elle est produite par deux genres fongiques :*

- *Aspergillus (*A. ochraceus*, *A. carbonarius*, *A. niger*, etc.)*
- *et Penicillium (*P. verrucosum*, *P. nordicum*, etc.).*

Le genre Aspergillus est bien adapté pour les climats chauds alors que Penicillium se développe bien dans les climats tempérés. C'est pour cette raison que la présence d'OTA a été détectée dans de nombreux produits agricoles de différentes régions du monde.

FIN