

## INTERET DE L'UTILISATION DES CHAMPIGNONS DANS L'ALIMENTATION, L'AGRICULTURE ET LA SANTE PUBLIQUE

Les applications industrielles des champignons sont très nombreuses, touchant pratiquement tous les grands secteurs de l'industrie, notamment la pharmacie et l'agro-alimentaire. Les champignons sont utilisés par l'industrie chimique pour la synthèse de métabolites primaires et secondaires, d'enzymes, ainsi que pour la biotransformation de substrats divers.

### A- Métabolites primaires

De nombreux métabolites primaires s'accumulent dans le milieu de culture pendant la phase exponentielle de croissance mycélienne et surtout enfin de culture.

#### • Acides organiques

Les micromycètes sont utilisés pour la fabrication de plusieurs acides organiques à partir du métabolisme des oses (ces acides proviennent des produits de la glycolyse : ac. lactique, propionique, ou de l'oxydation incomplètes des oses : ac. citrique, itaconique, fumarique..).

- **Acide lactique** : produit industriellement par quelques espèces de *Rhizopus* à partir des milieux à base d'amidon naturel. Il est couramment utilisé dans les domaines alimentaires (acidifiant des jus de fruits), pharmaceutiques (lactate) et les industries du textile.
- **Acide citrique** : des souches sélectionnées d'*Aspergillus* (*A. niger*) sont utilisées pour sa production industrielle à partir des mélasses. D'autres souches améliorées appartenant aux genres : *Penicillium*, *Mucor*, *Saccharomyces*, *Pichia* sont capables de sécréter cet acide.

Les utilisations de l'acide citrique sont nombreuses dans les industries pharmaceutiques (citrate de fer ou de calcium, comprimés effervescents), cosmétiques (shampoings) et alimentaires (boissons gazeuses, confiserie, conserverie).

- **Acide gluconique** : divers champignons dont *A. terreus* et *A. itaconicus* sont capables de transformer le glucose en acides gluconiques. *A. niger* est utilisé industriellement. Cet acide est essentiellement utilisé dans l'industrie des peintures et des plastiques.
- **Acide itaconique** : des souches mutantes d'*A. terreus*, cultivées sur mélasses, fournissent cet acide qui intervient dans la fabrication de certaines dents artificielles et de fibres synthétiques.
- **Acide kojique** : à partir de glucoses ou de pentose, il est produit en quantités limitées par divers *Aspergillus*. Cet acide possède certaines propriétés antibiotique et insecticide. Il peut être utilisé comme réactif pour le dosage du fer.

Parmi les **acides aminés** sont produits les acides, glutamique et aspartique, par des espèces sélectionnées de *Penicillium*, *Hansenella*, *Rhizopus*, et trouvent leur utilisation en alimentation ou en cosmétologie.

#### • Vitamines

Le rôle des champignons filamenteux dans la production industrielle des vitamines se limite à une partie de la synthèse de la riboflavine.

- **Riboflavine (vitamine B<sub>2</sub>)** : cette vitamine est utilisée dans le traitement de dermatoses, d'hypersensibilité ophtalmique à la lumière, contre les crampes et contre la migraine. Les meilleurs champignons connus pour la production de cette vitamine sont 02 ascomycètes levuriformes : *Eremothecium ashbyii* et *Ashbya gossypii* dont le dernier est choisi pour le développement industriel en fonction de sa stabilité génétique.

### B - Métabolites secondaires

Ces molécules sont synthétisées généralement en fin de croissance active. Leur distribution est limitée à une espèce ou un nombre restreint d'espèces.

## • Les antibiotiques

Les genres *Aspergillus* et *Penicillium*, ainsi que les espèces de l'ordre des Moliniales constituent les réservoirs les plus importants pour la production des antibiotiques. Peu d'antibiotiques commercialisés sont fournis par les champignons (les travaux sont concentrés sur les actinomycètes). Les pénicillines naturelles sont produites surtout par *Penicillium chrysogenum* (40g/l). Industriellement, la céphalosporine C est produite par *Cephalosporium acremonium*. La griséofulvine est active surtout contre les dermatophytes. Elle est produite par *Penicillium griseofulvum*. L'acide fusidique produit par *Fusarium coccineum* est actif contre diverses bactéries G<sup>+</sup>. Il inhibe l'allongement des chaînes de protéines. L'acide aspergillique produit par *Aspergillus flavus* est actif contre les bactéries G<sup>+</sup> et G<sup>-</sup>.

## C - Les enzymes

### • Hydrolases

L'amidon est la matière première de l'industrie alimentaire (glucoseries, brasseries, panification) et d'autres industries (papeteries, textiles, pharmacies). L' $\alpha$ -amylase produite par *Aspergillus oryzae*, *Paecilomyces subglobosus* et *Penicillium expansum* effectue l'endohydrolyse des composés de l'amidon. L'Amyloglucosidase produite par *A. niger*, *A. awamori*, et *A. foetidus* détache des résidus de glucose terminaux de courtes chaînes d'amidon.

La cellulose est la molécule organique la plus abondante sur terre. Les champignons sont des sources importantes de cellulase. *A. niger* et *Sporotrichum dimorphosporum* présentent une activité importante sur la cellulose soluble. *Trichoderma reesei* est active sur la cellulose cristalline. Les cellulases sont utilisées en pharmacie (aide digestive) et pour l'extraction des produits de céréales.

Les dextrans peuvent servir d'additifs pour les dentifrices, ce qui diminue les risques de caries. Parmi les champignons producteurs *Penicillium funiculosum* et *P. aculeatum*.

### • Lipases

Elles sont utilisées en pharmacie (aide digestive), en fromagerie (goût), en beurrerie (standardisation de l'arôme) et dans l'industrie des détergents. Parmi les champignons producteurs *Rhizopus delemar*, *A. niger* et *Mucor lipolyticus*.

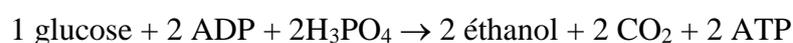
### • Protéinases

Parmi les champignons producteurs d'enzymes protéolytiques acides *Aspergillus oryzae*, *A. niger*, *Rhizopus* (pepsine : aide digestive) ; *Mucor miehei* et *M. pusillus* (fabrication de fromage : présure du lait). *Aspergillus oryzae* produit des protéinases neutres utilisées en boulangerie et industries alimentaires et pharmaceutiques.

## D - Utilisation des levures

Deux espèces sont considérées G.R.A.S. ("generally recognized as safe") par la Food and Drug Administration : *Saccharomyces cerevisiae* et *Kluyveromyces fragilis* (*K. marxianus*). La plus utilisée et plus étudiée est sans conteste *Saccharomyces cerevisiae*.

La plus importante et la plus ancienne utilisation des levures dans le secteur agroalimentaire est la fabrication de boissons alcoolisées : à partir de fruits mûrs dont les sucres sont solubles, la fermentation peut se produire spontanément dès le pressurage, grâce à la présence de levures sauvages. Cette fermentation, dont le bilan global (à partir du glucose) peut être représentée par l'équation



### • Fermentation

#### ➤ Pain

Le pain est le résultat d'une fermentation alcoolique par *Saccharomyces cerevisiae*, qui est utilisée comme levain. Actuellement, chaque année plus de 2,5 millions de tonnes de levure de boulangerie sont fabriquées dans le monde pour faire du pain.

Le volume de gaz carbonique produit lors de la fermentation panair, responsable de la levée de la pâte, dépend de la concentration en sucres fermentescibles préexistant dans la farine (oses et oligosides), mais aussi de la vitesse à laquelle le maltose est libéré sous l'action des amylases, et des sucres ajoutés en boulangerie (saccharose, sirops de glucose à forte teneur en fructose...).

*S. cerevisiae* étant incapable d'hydrolyser l'amidon ou les dextrines, ces sucres doivent l'être par les  $\alpha$ - et  $\beta$ -amylases de la farine, ou par ajout d' $\alpha$ -amylases bactériennes ou fongiques en tant qu'auxiliaires technologiques. La complémentation des farines par des amyloglucosidases extraites d'*Aspergillus niger* ou de *Rhizopus delemar*, qui libèrent le glucose à la place du maltose, est une autre façon de contourner cette difficulté. Très tolérante aux variations de pH, son activité fermentaire est optimale pour des pH compris entre 4 et 6, conditions rencontrées dans la plupart des panifications à la levure.

### ➤ Produits laitiers

Les levures font partie de la flore normale du lait cru. Parmi les espèces dominantes, citons *Candida kefyr* et sa forme parfaite *Kluyveromyces marxianus*, *C. famata* et sa forme parfaite *Debaryomyces hansenii*, *C. colliculosa* et sa forme parfaite *Torulasporea delbrueckii*, *Pichia membranefaciens*...

Les fromages sont fabriqués à partir de lait coagulé. Si la présence des levures est à éviter chez les fromages frais (fromages " blancs "), leur développement contrôlé et leur maintien à des niveaux élevés pendant l'affinage contribuent à leur attribuer un rôle incontestable dans un bon nombre de fromages affinés. Il s'agit des levures *Kluyveromyces lactis*, *Debaryomyces hansenii*, *Pichia*, *Saccharomyces*, *Torulopsis*, *Rhodotorula*. Dans le Camembert (exemple de fromage à pâte molle à croûte fleurie), elles se développent rapidement en surface et atteignent vers le 10<sup>ème</sup> jour un taux proche de  $5 \cdot 10^8$ /g pour diminuer ensuite sensiblement ( $10^7$ /g en fin d'affinage).

Des espèces de champignons filamenteux sont également d'une grande importance dans cette industrie, en particulier *Penicillium* et *Geotrichum candidum*. Ces champignons produisent le feutrage de la surface des fromages à pâte molle de type Camembert (*P. camembertii*), les veinures bleues-vertes des fromages à pâtes persillées de type Roquefort (*P. roquefortii*). Ces espèces possèdent les propriétés suivantes : consommation d'acide lactique, protéolyse, lipolyse, qui jouent un rôle dans la maturation des fromages.

### • Levure-aliment

Les levures ayant une grande valeur nutritive peuvent entrer dans la ration alimentaire animale ou humaine. Les " levures-aliment ", ou P.O.U (protéines d'organismes unicellulaires), autorisées dans les alimentations humaine et animale, correspondent à la définition suivante : " levure tuée, privée de pouvoirs fermentaires, séchée, n'ayant subi ni extraction ni ajout ". Elles doivent appartenir aux espèces *S. cerevisiae*, *Kluyveromyces lactis* et *K. marxianus* (*K. fragilis*) appelées aussi " levures lactiques ", *Candida utilis*, *Yarrowia lipolytica*, *Pichia pastoris*. Elles sont importantes pour l'homme ou l'animal en raison de leur richesse particulière en protéines (> 45 %), en acides nucléiques, glutathion, lysine, choline, vitamines du groupe B, sels minéraux. Entre autres propriétés bien connues, elles renforcent les défenses immunitaires, constituent un facteur d'appétence.

La production de "levure-aliment" s'effectue sur des substrats très variés :

- Le lactosérum, par exemple, produit résiduaire important des laiteries et fromageries, est un excellent milieu de culture permettant le développement de levures utilisant le lactose comme

source de carbone ; ce sont des souches de *Kluyveromyces lactis* et *K. marxianus* qui ont le meilleur rendement.

- Les mélasses de betterave et de cannes à sucre, riche en saccharose, permettent d'obtenir des biomasses protéiques ou des levures pour la panification ; les deux espèces les plus couramment cultivées sur ces substrats étant *Saccharomyces cerevisiae* et *Candida utilis*.
- Les liqueurs sulfiteuses, résidus de la fabrication de la pâte à papier, riches en pentoses, ainsi que les hydrolysats celluloseux provenant de déchets forestiers, paille de blé ou autres céréales, fournissent des milieux de culture pour *Candida utilis*.
- Enfin, les hydrocarbures, essentiellement les paraffines normales, les gazoils paraffiniques, le méthane et le méthanol (produit d'oxydation du méthane) peuvent servir de substrats pour la croissance de nombreuses espèces de *Candida*. On peut signaler que des analyses biologiques de ces "levures du pétrole" ont démontré l'absence de toute toxicité ou effet nuisible important imputables à ces protéines microbiennes introduites dans l'alimentation animale ou humaine.

## IV- ASPECTS PATHOLOGIQUES

### A. Chez l'homme : candidose et dermatophytes

#### • Candidose

Les candidoses sont des mycoses provoquées par des champignons levuriformes (levures) commensaux appartenant au genre *Candida*. L'espèce la plus courante est *Candida albicans*.

Environ 20 espèces appartenant au genre *Candida* sont régulièrement isolées chez l'homme :

- *C. albicans* est l'espèce la plus courante et représente 70 à 80 % des isollements. C'est une levure commensale qui appartient à la flore associée aux muqueuses, en particulier digestive. *C. albicans* n'appartient pas à la flore cutanée.
- D'autres espèces se rencontrent régulièrement de manière commensale sur la peau ou associées aux muqueuses : *C. glabrata*, *C. tropicalis*, *C. parapsilosis* et *C. krusei*.

La majorité des candidoses est d'origine endogène, à partir des levures déjà présentes dans l'organisme sous forme **commensale** (relation équilibrée entre la levure et son hôte, sans interaction nuisible ni bénéfique majeur) dans le tube digestif ou sur la peau. Les levures du genre *Candida* sont opportunistes : elles passent de l'état commensal à l'**état pathogène** (une multiplication anormale des levures puis une augmentation du nombre de sites colonisés ; digestif bas s'étendant à la bouche ou aux voies génitales par exemple, le champignon devient pathogène.) sous l'effet de facteurs favorisants. Cet état est réversible si les facteurs favorisants sont éliminés.

Les candidoses superficielles sont des infections très courantes faciles à diagnostiquer et à traiter. Elles renferment les candidoses digestives : buccales, œsophagiennes, gastro-intestinales et anales ; les candidoses génitales : vaginite et balanite ; les candidoses cutanées et unguéales touchant les plis et les ongles.

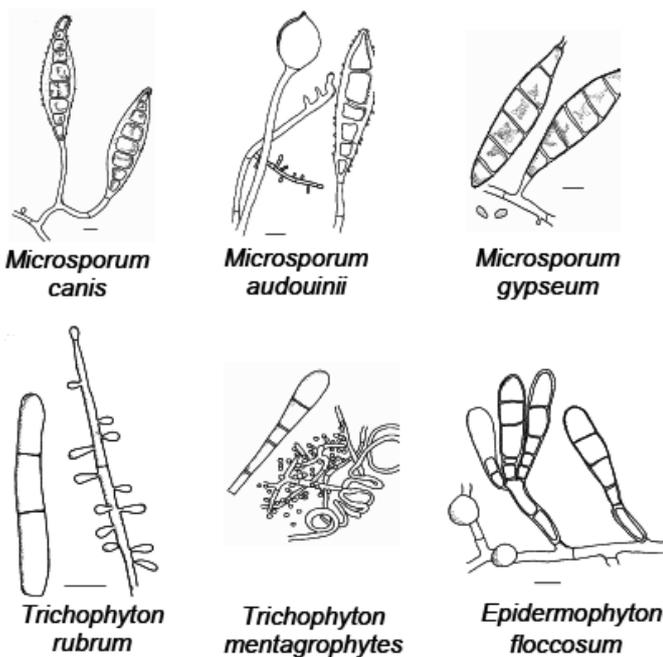
Les candidoses profondes aussi appelées candidoses viscérales, invasives, systémiques ou disséminées qui prennent la forme d'une septicémie appelée candidémie (passage d'un champignon du genre *Candida* dans le sang).

## • Dermatophytes

Ce sont des champignons filamenteux à mycélium cloisonné qui attaquent avec prédilection la kératine de la couche cornée de la peau et des phanères (poils, cheveux et ongles). Les infections dues à ces mycètes sont appelées dermatomycoses ou teignes. La teigne du cuir chevelu ou *Tinea capitis* entraîne la chute des cheveux chez l'enfant. Elle peut également toucher les chats et les chiens, et d'autres parties du corps humain : teigne de l'aine et teigne du pied.

Les dermatophytes sont divisés actuellement en 3 genres :

- *Trichophyton* qui peut infecter les cheveux, la peau et les ongles.
- *Microsporum* n'attaquant en général que les cheveux et la peau.
- *Epidermophyton* qui ne touche que la peau et les ongles.



Les spores ou conidies persistent dans l'environnement (planchers des douches publiques, piscines, tapis humides). Leur implantation dans la peau n'est favorisée que si cette dernière est altérée. Certains *Trichophyton* sécrètent des protéases modifiant la membrane plasmique de la cellule hôte ; ce qui permet leur attachement et croissance.

## B. Chez le végétal

Les détériorations par les microorganismes sont d'une grande importance économique. Les propriétés nuisibles de ces microorganismes (activité cellulolytique...) peuvent être mises à profit dans la nature et contrôlées par l'homme pour convertir les déchets agricoles et industriels, ou transformer des molécules polluantes (pesticides, détergents) en produits plus acceptables, par le processus de biodégradation.

## • Les champignons de stockage

Un très grand nombre de moisissures (Mucorales, Ascomycètes ...) sont capables de détériorer les denrées alimentaires, provoquant des altérations organoleptiques et chimiques avec des risques d'intoxications graves pour les consommateurs. Leurs activités détériorantes dépendent de leurs activités enzymatiques (cellulolyse, lipolyse, protéolyse,...), de la nature du substrat, et des conditions de l'environnement (T°, humidité) et l'interaction avec d'autres microorganismes.

Les céréales sont contaminées dès avant la récolte par une mycoflore dite "du champ" qui

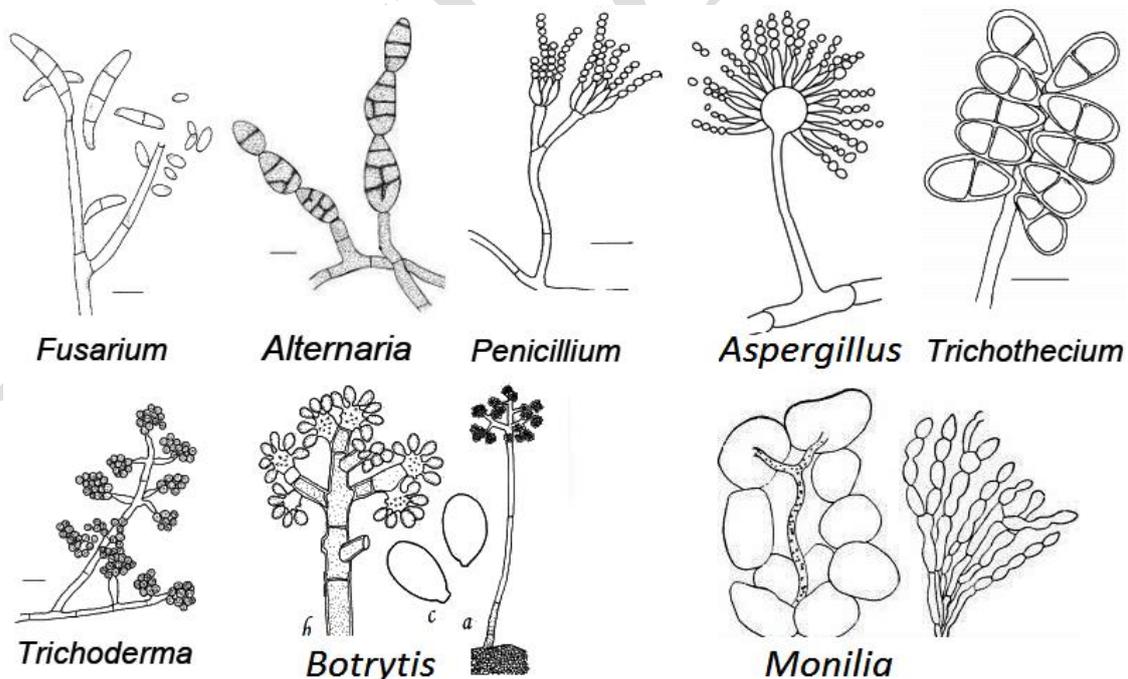
comprend un grand nombre d'espèces appartenant surtout aux genres cellulolytiques : *Alternaria*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Helminthosporium*, *Trichoderma*... Au cours du stockage en silo, se développe une flore composée de champignons moins cellulolytiques et plus osmophiles, qui provoque une acidification du substrat ; ce sont essentiellement des *Aspergillus* (*A. candidus*, *A. ochraceus*, *A. versicolor*), des Eurotium (*E. astelodami*, *E. chevalieri*, *E. repens*) et des *Penicillium* (*P. cyclopium*, *P. glabrum*, *P. spinulosom*, *P. stoloniferum*) dont l'évolution est fonction de teneur en eau des graines et des interactions spécifiques. Ces espèces éliminent peu à peu les champignons du champ. Sur les graines très altérées se développent des mucorales (*Absidia*, *Mucor*, *Rhizopus*).

De nombreuses espèces ont été isolées des farines : des Mucorales (*Absidia* et *Mucor*), des *Aspergillus*, des *Penicillium* et des Hyphomycètes (*Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Trichothecium*...)

Les moisissures des graines et des farines peuvent provoquer de graves toxicoses, parfois mortelles.

Les fruits et les légumes peuvent être altérés, suivant les cas, dans les champs, en cours de stockage, ou durant le transport :

- **Agrumes** : *Penicillium italicum*, *P. digitatum*, *Phomopsis citri*, *Botrytis cineria*...
- **Pomme et poire** : *Penicillium expansum*, *Monilia fructigena*, *Trichothecium roseum*, *Botrytis cineria*, *Alternaria tenuis*, divers *Fusarium*...
- **Ail** : *Botrytis allii*, *B. squamosa*, *Penicillium cyclopium*....
- **Tomates**: *Alternaria*, *Botrytis*, *Penicillium*....



## • Les Mycotoxines

Les mycotoxines sont produites par un peu plus de 360 espèces de champignons, appartenant essentiellement aux genres *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Alternaria*. D'autres genres renferment aussi des espèces toxigènes : *Stachybotrys*, *Trichoderma*, *Trichothecium*, *Cladosporium*, *Claviceps*, ...

Une vingtaine de mycotoxines sont considérées comme potentiellement dangereuses pour l'homme et l'animal, du fait de leur production et concentration dans les produits alimentaires.

- Les **aflatoxines** B<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>, M sont principalement produites par *Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus*.
- L'**ochratoxine** A est produite principalement par *Aspergillus ochraceus* ou *Penicillium verrucosum*.
- La **toxine T<sub>2</sub>** et **trichothécènes** produites par le genre *Fusarium*.
- La **zéaralénone**, la **patuline**, la **citrinine**, les **trémorgènes** neurotoxiques, impliquées aussi dans les troubles cliniques des animaux, peuvent être abondantes dans les produits agricoles (maïs)

## • Prévention

- ✓ Limiter ou empêcher le développement de moisissures au cours des cultures, après la récolte ainsi qu'à toute étape du stockage, transport et transformation des produits agricoles par :
  - Diminution de la teneur en eau avec séchage efficace et ventilation importante,
  - Diminution des taux d'O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> et augmentation du taux de CO<sub>2</sub> pour ralentir la multiplication fongique,
  - Utilisation de conservateurs et de fongicides au cours de la culture et du stockage.
  - Sélection d'espèces végétales résistantes aux moisissures,
  - Réglementation et définition des normes.
- ✓ Dans la plupart des pays industrialisés, une réglementation impose la détection d'une douzaine de mycotoxines, dont les aflatoxines et dérivés, ochratoxines, toxines T<sub>2</sub>: le seuil admis pour les aflatoxines est de 1 ng/m<sup>3</sup> dans les poussières atmosphériques, mais la prudence serait de tolérer une quantité la plus faible possible.