

7- Intérêt de l'utilisation des champignons dans l'alimentation, l'agriculture et la santé publique

Les champignons ont un métabolisme actif et très diversifié qui permet leur utilisation dans plusieurs domaines, notamment en industries agroalimentaire et pharmaceutique. En effet, les levures, les moisissures sont de plus en plus utilisés par l'être humain et ce pour les nombreux avantages qu'ils offrent. En industrie agroalimentaire, ils peuvent être utilisés tels quels comme aliments ou servir à la préparation de nombreux produits (ex : fromages, pain, boissons alcoolisées). Aussi, en industrie pharmaceutique, ils servent à la production de nombreuses molécules bioactives (ex : vitamines, enzymes, antibiotiques).

7.1. Utilisation des mycètes en agro-alimentaire

7.1.1. Utilisation des moisissures

7.1.1.1. Les principales phases de la croissance des moisissures

Les moisissures ont un cycle de croissance semblable à celui de tous les microorganismes, à savoir une phase de latence, une phase d'accélération, une phase exponentielle, une phase de ralentissement, une phase stationnaire et une phase de déclin (Figure 16).

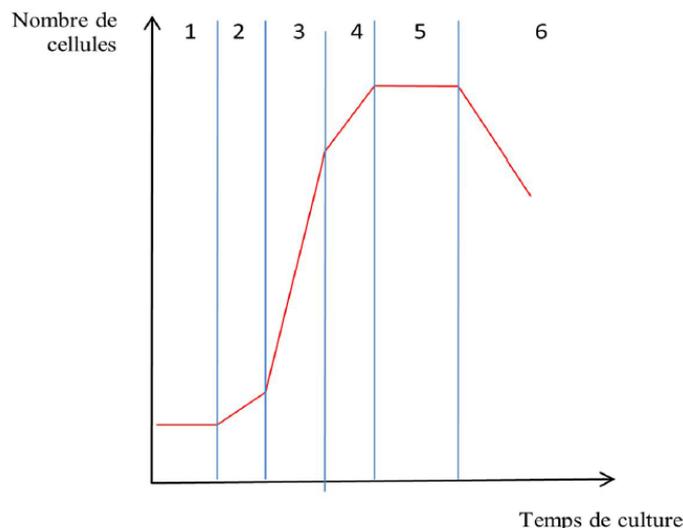


Figure 20: Courbe de croissance des mycètes

1 : Phase de latence, 2 : Phase d'accélération, 3 : Phase exponentielle, 4 : Phase de ralentissement, 5 : Phase stationnaire, 6 : Phase de déclin.

1. **La phase de latence**, durant laquelle la masse reste identique à la masse fongique initiale, se caractérise par une valeur de μ égale à zéro.
2. **La phase d'accélération** se caractérise par une augmentation de plus en plus rapide de la masse. Le taux de croissance devient supérieur à zéro et il augmente progressivement.
3. **La phase de croissance exponentielle** Durant cette phase, la masse augmente de façon exponentielle et μ atteint une valeur maximale et constante. Le temps de génération des champignons pendant cette phase est le plus court. La presque totalité de la masse cellulaire est représentée par des cellules viables (mortalité nulle)
4. **Phase de ralentissement (décélération)** où μ diminue.
5. **Phase stationnaire** : Il y a une compensation entre les champignons qui meurent, par autolyse, et celles qui continuent à se multiplier. Cette phase est déclenchée par l'épuisement du milieu et l'accumulation de déchets toxiques (ex.: acides organiques) libérés dans le milieu par les champignons.
6. **Phase de déclin ($\mu < 0$)** : le nombre de champignons viables diminue durant cette phase. Ceci est dû à une lyse cellulaire sous l'action des enzymes protéolytiques endogènes (autolyse).

La culture des moisissures dans un but industriel, seules deux phases de croissance sont importantes :

- « **La trophophase** » ou « phase trophique » : Elle représente la phase où le microorganisme se nourrit et montre une croissance importante, voire maximale. Elle est obtenue quand les conditions du milieu sont favorables. La trophophase englobe la phase d'accélération et la phase exponentielle (Figure 17). Elle est idéale pour la production des métabolites primaires (ex : acides organiques, vitamines) et la production de la biomasse.
- « **L'idiophase** » : Elle est obtenue quand les conditions du milieu deviennent défavorables. Elle englobe la phase de ralentissement et la phase stationnaire (Figure 21). L'idiophase est adéquate pour la production des métabolites secondaires (ex antibiotiques, arômes).

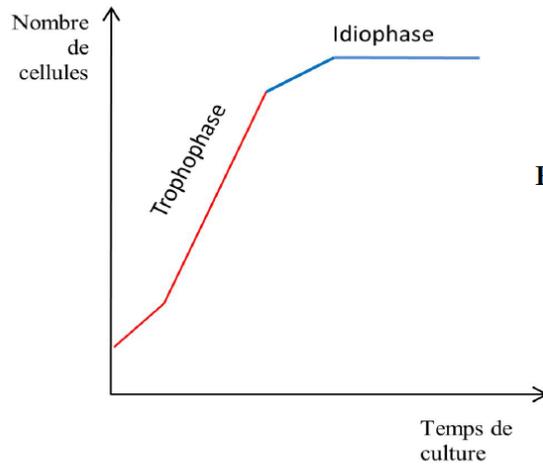


Figure 21 : La trophophase et l'idiophase

7.1.1.2. Exemples de cultures sur milieux solides et liquides

Les champignons peuvent être cultivés en milieux liquides, Solides et semi solides.

- ✓ Les milieux liquides sont utilisés pour la culture des champignons purs.
- ✓ Le milieu liquide permet de réaliser une culture discontinue (en batch) ou continue.
- ✓ Les milieux solides ou semi solides à base d'agar sont utilisés pour l'isolement des champignons.
- ✓ Le milieu solide permet de réaliser une culture discontinue (en batch).

7.1.1.3. Production des métabolites primaires et secondaires

La production des métabolites primaires et secondaires dépend de la phase de croissance de la moisissure. Comme ça a été expliqué auparavant, les métabolites primaires sont obtenus quand les conditions de culture sont favorables à la croissance (trophophase) et métabolites secondaires quand les conditions de culture sont défavorables (idiophase).

7.1.1.4 Utilisation dans l'élaboration des produits laitiers

Les moisissures sont très utilisées pour l'élaboration des produits laitiers, notamment les fromages où elles permettent l'affinage en apportant des arômes, des textures et des aspects très appréciés.

- ***Penicillium camemberti*** : Elle donne un feutrage blanc sur les fromages à pâte molle et à croûte fleurie formant ainsi le camembert. Cette espèce à une couleur blanche et croît lentement. L'optimum de croissance est obtenu à 22°C et à pH = 5. Lors de la fabrication

du camembert, il faut veiller à ce que la salinité ne soit pas trop importante car *Penicillium camemberti* ne tolère pas de fortes concentrations en sel.

- ***Penicillium roqueforti*** : A la différence de *Penicillium camemberti*, cette espèce a une couleur verte et une croissance rapide. Elle pousse dans les cavités des fromages à pâte persillée donnant ainsi le roquefort. Cette espèce a un pH optimum qui varie entre 4,5 et 6, mais supporte une large gamme allant de 3 à 9. Elle croît convenablement à 25°C et supporte de fortes concentrations en sel, allant jusqu'à 22 %.

7.1.1.5. Les champignons comestibles

Plusieurs champignons peuvent être consommés par l'être l'humain. Certains apportent des saveurs particulières, ils sont dits « savoureux », tandis que d'autres jouent le rôle de condiments ou servent à la décoration des plats. Ceci dit, il est très important de savoir différencier les espèces comestibles des autres espèces toxiques et vénéneuses.

1. ***Tuber* : (les Truffes)** : Les Truffes sont des Ascomycètes sous terrains
2. ***Agaricus* : (les Psalliotes)** : Le genre *Agaricus* appartient aux Basidiomycètes
3. ***Cantharellus* : (les Chanterelles)** : Les Chanterelles sont des Basidiomycètes

7.1.2. Utilisation des levures

Les levures sont très utilisées en industrie agro-alimentaire. Elles servent à la fabrication de nombreux produits alimentaires, à la revalorisation des déchets agricoles et à l'élaboration des aliments riches en protéines. Les principaux genres utilisés sont *Saccharomyces* (levures alcooligènes).

Comme exemples, nous nous intéressons à deux utilisations fondamentales de *Saccharomyces cerevisiae*. La première pour produire le pain et la deuxième pour produire une boisson alcoolisée (la bière).

L'utilisation de cette espèce est basée sur sa capacité à produire l'éthanol et le CO₂ à partir du glucose. L'éthanol servant à alcooliser les boissons et le CO₂ à gonfler les pâtes.

7.1.2.1. Fermentation panaiere

La production de la levure pour une utilisation industrielle se fait par culture sur mélasse riche en saccharose (levures de mélasse) ou sur moût de céréales riche en maltose (levures de grains). Les levures sont cultivées à 30°C, sous agitation pour permettre l'aérobiose. Une fois la biomasse arrivée au niveau recherché, les cellules sont séparées du milieu par centrifugation

(à 3500 tours/mn pendant 15 minutes), puis le culot est récupéré et rincé plusieurs fois avec de l'eau distillée stérile. *Saccharomyces cerevisiae* produite est alors prête à être emballée et commercialisée. Toutefois, afin de permettre une longue conservation, un séchage est effectué.

7.1.2.2. Production de bière

L'orge est la matière première de la bière. Après un début de germination qui dure environ 8 jours, les grains deviennent riches en enzymes nécessaires à cette production. Ils sont séchés dans une touraille et le moût obtenu est mis dans de l'eau. C'est alors que commence le brassage : Dans une chaudière avec agitateur, la température est montée progressivement afin d'engendrer l'optimum d'activité des enzymes produites. A 40°C, les béta-glucanases s'activent, à 50°C ce sont les protéases, à 62°C les béta-amylases, puis les amylases à 73°C. Le brassage dure environ deux heures. Il permet de dégrader les macromolécules présentes dans l'orge, notamment l'amidon qui donne les dextrines et le maltose. Ce dernier étant facilement dégradé par *Saccharomyces cerevisiae*.

Après filtration, la levure est ajoutée au filtrat et la fermentation s'effectue pendant 8 jours, entre 5 et 10°C pour donner des « bières à fermentation basse ». Ces boissons sont très demandées car elles sont fortement aromatiques et énergiques.

Si *Saccharomyces cerevisiae* est remplacée par *Saccharomyces uvarum*, la fermentation se déroule entre 15 et 25°C et donne des « bières à fermentation haute ». Ces dernières sont plus fines et peu aromatiques .

7.2. Utilisation des mycètes en industrie pharmaceutique : Champignons producteurs de métabolites : vitamines, antibiotiques et enzymes

7.2.1. Origine

Les mycètes utilisés en industrie pharmaceutique ont plusieurs origines. Les espèces sont généralement isolées à partir de leurs habitats naturels (sol, air, plantes, etc.). Les sources les plus importantes étant le sol et les plantes où elles vivent en saprophytes, symbiotes ou parasites. Mais, d'autres sources peuvent être aussi exploitées pour la recherche des moisissures et des levures, comme les aliments biodétériorés, les textiles endommagés, les céréales, les patients atteints de mycoses, etc.

Ceci dit, les mycètes sont aussi commercialisés sous forme de souches pures. Ils nécessitent alors une simple revivification avant l'utilisation

Une même espèce peut être utilisée pour plusieurs productions. En effet, selon la constitution

du milieu et les conditions de culture, un champignon peut être orienté vers la production des acides organiques, des vitamines, des antibiotiques.

Le tableau 1 cite quelques produits à intérêts pharmaceutiques et les microorganismes producteurs.

Tableau 1 : Principaux produits à intérêts pharmaceutiques et leur origine

Produit	Microorganismes producteurs
Acide citrique	<i>Aspergillus niger, Aspergillus kawachi, Aspergillus awamori</i>
Acide fumarique	<i>Rhizopus nigricans</i>
Acide glucanique	<i>Aspergillus niger</i>
Acide fusidique	<i>Fusidium coccineum</i>
Vitamine D	<i>Aspergillus fumigatus, Saccharomyces cerevisiae</i>
Alpha amylase	<i>Aspergillus niger, Penicillium expansum,</i>

7.2.2. Isolement

Les conditions et les techniques d'isolement doivent être judicieusement choisies pour favoriser la viabilité des microorganismes. Pour les espèces difficiles à cultiver, notamment les exigeantes ou les non encore identifiées, il est important de reproduire au mieux les paramètres de culture de l'habitat naturel (température, pH, aération, anaérobiose, minéraux, source de carbones et d'azotes, etc.). Exemples : Pour les champignons isolés d'une source riche en sel, il faut un milieu osmophile. Pour les espèces isolées des aliments conservés à froid, la température d'incubation doit être basse. Pour les espèces responsables des infections humaines, une incubation à 37°C.

Les milieux les plus utilisés pour l'isolement sont les milieux de routine (Sabouraud, Malt agar, Czapek, etc.). Ils peuvent être additionnés ou modifiés selon les besoins de culture.

Après le premier ensemencement, une culture pure est rarement obtenue. La purification nécessite parfois plusieurs repiquages successifs. Pour un bon résultat, le repiquage doit être réalisé aux bords du mycélium ou de la colonie : une petite quantité est prélevée avec une pipette Pasteur ou une anse de platine stérile, sur le côté le plus éloigné du contaminant.

7.2.3. Extraction et purification

Pour les produits intracellulaires, la première étape consiste toujours à briser les cellules par centrifugation ou dégradation de la paroi et de la membrane (à l'aide des enzymes ou d'une

pression osmotique). Ceci permet de libérer les métabolites dans le milieu. Puis, s'en suivent les méthodes d'extraction qui peuvent permettre par la même occasion une purification partielle du produit. Parmi les plus utilisées, nous avons :

* **La filtration** : Elle s'effectue avec un filtre rotatif ou une membrane. L'objectif étant la séparation des métabolites selon la taille. Elle est notamment utilisée pour récupérer les molécules les plus grandes ou les plus petites par rapport aux autres constituants du milieu.

* **L'extraction par des solvants** : Elle permet de faire passer les solvants d'une phase aqueuse à une phase organique. Cette étape purifie partiellement le produit en éliminant les molécules non solubles dans le solvant d'extraction.

7.2.4. Applications et utilisations thérapeutiques

- **Les antibiotiques** : Ceux produits par les mycètes sont très nombreux et permettent d'élaborer des médicaments contre beaucoup d'infections bactériennes redoutables. Exemples : Les infections importantes de la peau, la fièvre typhoïde chez l'enfant, la cervicite et l'urétrite sont traitées par des céphalosporines, comme la céphalexine et la céfixine. L'otite moyenne, la sinusite, la bronchite, la pneumonie aigue, les infections causées par *Helicobacter pylori* et la typhoïde chez l'adulte sont toutes traitées avec l'amoxicilline (antibiotique de la famille des pénicillines).
- **Les hormones** : Les mycètes ont aussi la capacité de convertir une molécule en plusieurs autres plus intéressantes pour l'être humain. Comme exemple, la bioconversion des stéroïdes en hormones. Parmi elles, les oestrogènes, la progestérone, la testolactone et les androgènes qui servent à traiter les dysfonctionnements hormonaux chez l'homme. Les principales espèces utilisées dans ce but sont *Rhizopus nigricans*, et *Curvularia lunata*.
- **Les acides organiques** : L'homme est souvent sujet à des carences en acides organiques, mais ces derniers sont essentiels pour le bon fonctionnement du métabolisme. En produisant divers types d'acides, les mycètes permettent de combler ces déficits. Le principal acide commercialisé en industrie pharmaceutique étant l'acide fumarique qui sert à fixer le fer.

8. Aspects pathologiques

4.1. Chez l'homme et l'animal

Les champignons ne sont pas toujours bénéfiques. Ils peuvent aussi causer des pathologies pour l'homme et l'animal. Bien que les mycoses soient généralement bénignes, dans certains cas, comme lors d'une immunodépression, elles peuvent devenir très graves, voire mortelles.

Parmi ces infections, nous apportons l'exemple **des candidoses et des dermatophytoses**.

8.1.1. Les candidoses

Les candidoses désignent les infections causées par le genre *Candida*. Elles peuvent être superficielles altérant la peau et les muqueuses ou systémiques touchant un ou plusieurs organes internes.

La majorité des infections sont causées par *Candida albicans*, mais d'autres espèces ont aussi été rencontrées

Les *Candida* sont des germes commensaux naturels de l'oesophage et de la bouche. Ils peuvent être normalement présents chez l'homme et l'animal sans causer de pathologies. Mais dans certaines conditions, ils se multiplient et colonisent de manière anormale certaines parties du corps ; s'en suit alors une « filamentation » (propagation). La capacité d'adhérence et d'envahissement des espèces joue un rôle important dans le parasitisme induit.

Selon le degré de résistance aux antifongiques, les candidoses peuvent être faciles ou difficiles à traiter.

✓ Les candidoses superficielles

Elles touchent principalement les muqueuses (buccale, vaginale et oesophagienne) et la peau.

Elles sont dues à la l'adhérence, la multiplication et la filamentation des levures au niveau des cellules épithéliales.

Les facteurs qui favorisent ces infections sont l'immunodépression, l'immaturité du système immunitaire (chez les personnes de moins de 18 et les animaux jeunes) et les traumatismes de la peau et des muqueuses (ex : brûlures ou écorchures de la peau, port de prothèses dentaires altérant les gencives).

* Les candidoses systémiques (candidoses viscérales ou invasives)

Ces infections sont internes et profondes. Elles sont généralement difficiles à guérir car elles sont diagnostiquées en retard. Les candidoses systémiques peuvent être causées par le passage de *Candida* dans le sang après une infection superficielle, notamment buccale ou oesophagienne. Mais dans la majorité des cas, elles sont dues à des espèces nosocomiales et sont rencontrées chez les patients postchirurgicaux.

Les facteurs à risques sont nombreux, parmi eux : les traitements antibiotiques, l'immunodépression (ex : HIV, brûlés), l'insuffisance rénale et la neutropénie (taux bas dans le sang des granulocytes et neutrophiles).

4.1.2. Les dermatophytoses (ou dermatophyties)

Les dermatophytoses sont des infections causées par des moisissures capables de dégrader la kératine. Ces infections sont bénignes et se traduisent par :

- **Des épidermophyties** : taches colorées sur l'épiderme.
- **Des intertrigos** : croissance mycélienne dans les cellules des plis corporels, comme l'endroit interdigital, sous les bras, etc.
- **Des onyxis** : altération qui déforme l'aspect et la couleur des ongles.
- **Des teignes** : croissance fongique sur le cuir chevelu engendrant des cassures et des chutes de cheveux.
- **Des folliculites** : altération de la peau et des poils.

Les principales espèces responsables appartiennent aux genres *Trichophyton*, *Microsporum* et *Epidermophyton*.

8.2. Chez le végétal

8.2.1. Les champignons de stockage

Le stockage des végétaux est souvent problématique à cause de la biodétérioration causée par les champignons. Il représente ainsi un risque de contamination pour le consommateur (homme ou animal) et occasionne souvent de grandes pertes économiques. La majorité des champignons impliqués appartiennent aux Mucorales, Ascomycètes.

L'activité biodétériorante est due principalement aux enzymes cellulolytiques, lipolytiques et protéolytiques des mycètes. Les conditions de stockage jouent aussi un rôle important dans

l'altération des produits car elles inhibent la croissance de nombreux microorganismes et favorisent de ce fait la prolifération des champignons néfastes.

8.2.2. Les mycotoxines

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires des moisissures. Comme leur nom l'indique, ce sont des « toxines » ; elles peuvent nuire à la santé de l'homme et de l'animal.

Ces substances peuvent être présentes dans différents aliments biodétériorés, mais principalement dans les plantes infectées par les moisissures (plantes de champs ou de stockage). Les produits qui contiennent le plus de mycotoxines sont les céréales, les fruits, les noix, les amandes et les grains de fourrage.