

Chapitre 3 : les biomolécules produites par fermentation

L'exploitation industrielle des microorganismes constitue l'industrie des fermentations. Les produits de fermentation comprennent en plus de la biomasse microbienne et des spores, les métabolites primaires, les métabolites secondaires et les enzymes.

Parmi les métabolites primaires on cite : acides organiques, acides aminés, vitamines et pigments alimentaires, polysaccharides, alcools, lipides.

Parmi les métabolites secondaires on cite : antibiotiques, molécules à autres activités pharmacologiques (tels que : antitumorale, immunosuppresseur, immunostimulant, anticholestérolémique, antihypertenseur...), insecticides biologiques, arômes, hormones.

1. Biomasse :

Elle est aussi appelée « Protéine d'Organisme Unicellulaire : (P.O.U) » qui correspond à *Single Cell. Protein* : (S.C.P). La biomasse microbienne peut être une source de protéines pour l'alimentation humaine ou animale. L'idée d'utiliser des levures comme aliment date des périodes de pénurie alimentaire lors de la première et la seconde guerre mondiale. Voir le tableau de production de protéines par quelques levures et champignons filamenteux.

Tableau : Production de protéines par quelques levures.

Substrat de culture	Espèce	Production (T/an)	Utilisation	Pays
Lactosérum	<i>Kluyveromyces fragilis</i>	5000	Nourriture	USA
Ethanol	<i>Candida utilis</i>	10 000	Additif alimentaire	USA
N-paraffine	<i>C.guilliermondii</i>	40 000	aliment	CE
Sulfite (résidus de pâte à papier)	<i>C.utilis</i>	5400		USA

Tableau : Production de protéines par quelques champignons filamenteux.

Substrat de culture	Espèce	Production (T/an)	Utilisation	Pays
Glucose	<i>Fusarium graminearum</i>	100	Nourriture	UK
Lactosérum	<i>Penicillium cyclopium</i>	300	Alimentation animale	France
Résidus de café	<i>Trichoderma harzanium</i>	40	Alimentation animale	Amérique centrale
Sulfite	<i>Paecilomyces variotii</i>	10 000	Alimentation animale (PEKILO)	Finlande

Les levures utilisées en alimentation humaine constituent une bonne supplémentation en protéines et en vitamines (en particulier du groupe B), très bien tolérées, soit à l'état pur sous forme de poudre, de pâte ou de comprimé, soit incorporée dans des préparations alimentaires. Les levures représentent une source abondante d'acides aminés indispensables en particulier la lysine avec une teneur supérieure à celle du blé, du maïs et même du poisson. Pour cela il est recommandé de consommer les protéines extraites de levures.

Les champignons amylolytiques hydrolysent l'amidon en glucose et synthétisent ensuite des protéines. Pour les *Aspergillus* le rendement de la conversion de l'amidon en protéines atteint 40%, avec un optimum de 45% obtenu avec une souche d'*A. oryzae* après 34 heures d'incubation à 30°C. Ces moisissures sont traditionnellement utilisées dans l'alimentation humaine au Japon et en Indonésie et autres pays asiatiques.

Les *Spirulines* sont les cyanobactéries (algues unicellulaires) d'eau douce, très riche en protéines (60 à 70% du poids sec). Elles sont produites industriellement au Mexique, Thaïlande, Japon, USA, Martinique..., dans les bassins ouverts. La production est aussi réalisée en bioréacteur de plus de 3000 m³ en France et Italie de *La Spirulina maxima* (*Arthrospira maxima*). La consommation de *Spirulines* comme complément alimentaire assure l'apport en acides aminés essentiels, d'acides gras indispensables et de vitamines. En plus, elles présentent diverses activités thérapeutiques (antivirale, anti-inflammatoire, anti-cancéreuse, etc...).

Tableau : Compositions comparées de mycoprotéines et de viandes (% du poids sec)

Constituants	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Viande de boeuf
Protéines	44,3	50	68,2
Lipides	13,8	6	30,2
Minéraux	3,1	7,3	1,6
Fibres et glucides	37,6	36,7	0

2. Spores :

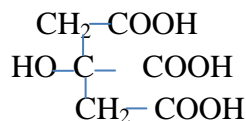
Les spores sont utilisées comme insecticide, fongicide, herbicide, dans le contrôle biologique des champs de soja, de riz, de maïs et de diverses cultures. Elles sont également utilisées dans les réactions de bioconversion grâce aux activités enzymatiques qui restent intactes même après une longue période de conservation (voir plus loin le paragraphe : **Insecticides et pesticides biologiques**).

3. Métabolites primaires :

3.1. Acides organiques :

Les acides organiques (AO) résultent du métabolisme des oses (glycolyse et cycle de Krebs). Les principaux AO produits par voie biotechnologique sont : ac. Citrique, ac. Gluconique, ac. Fumarique, ac. Kojique et ac. Itaconique

3.1.1. Acide citrique :

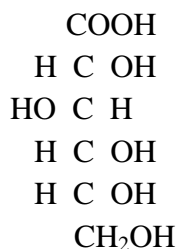


Cet intermédiaire du cycle de Krebs, est le plus important acide avec 400 000 tonnes produit par an, en fermentation. Il est très utilisé dans l'industrie alimentaire (boissons, jus de fruits, confiserie...) avec un taux de 60% de la production annuelle ; l'industrie pharmaceutique et cosmétique en utilisent 10% et aussi l'industrie chimique (détergents, traitement des tissus, fabrication de plastique...).

Cet acide est produit principalement par *Aspergillus niger* par des procédés de fermentation en surface (FMS) et en culture submergées avec des rendements qui dépassent 18Kg/jour/m³ de milieu de culture.

Il peut être produit par d'autres champignons : *Penicillium*, *Trichoderma*, *Mucor...*, et des levures : *Candida*, *Saccharomycopsis* ou *Yarrowia lipolytica* à partir de n-alcanes.

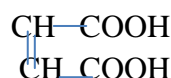
3.1.2. *Acide gluconique* :



Ce dérivé oxydé du glucose, est produit à hauteur de 45 000 tonnes par an. C'est un acidulant faible, utilisé dans l'industrie alimentaire (pâtisserie et dans la préparation des saucissons). En industrie pharmaceutiques, le gluconate de calcium est utilisé pour la carence en calcium, et aussi pour les manques en fer ou en magnésium.

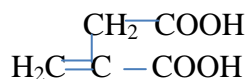
Il est produit par *Aspergillus niger*, cultivé dans un milieu à base de glucose et de *corn steep liquor*, à pH 6,5 après 36 à 40 heures à 30°C. Le rendement de production est de 90%.

3.1.3. *Acide fumarique* :



Cet intermédiaire du cycle de Krebs, est utilisé dans l'industrie des plastiques. Il est produit par *Rhizopus nigricans* ou *R. arrhizus*, cultivé dans un milieu à base de glucose et n-alcanes, à pH 5 à 6 avec du NaOH après 72 heures d'incubation à 30°C. Cette fermentation implique une importante aération.

3.1.4. *Acide itaconique* :



Cet acide est utilisé dans l'industrie des peintures et des plastiques. Ce composé peut être facilement polymérisé à cause de sa double liaison, et se substituer à l'acide acrylique. Il intervient aussi dans la fabrication des dents artificielles. Il est produit par *Aspergillus terreus* ou *A. itaconicus* à partir de mélasse de canne. La fermentation dure 72 heures à 40°C avec un pH 2. Une quantité de 50- 60g d'acide itaconique sont produits à partir de 100g de glucides.

Sa production mondiale peut atteindre 370 000 tonnes/an. C'est un aromate très employé dans l'industrie alimentaire sous forme de monoglutamate de sodium. C'est aussi un médicament qui active les cellules nerveuses du cerveau (neurotransmetteur). Il est produit par le *Corynebacterium glutamicum* après une fermentation de 40 heures à 30°C et à pH alcalin, qui permet d'obtenir plus de 60g/L.

3.3. Vitamines et pigments alimentaires :

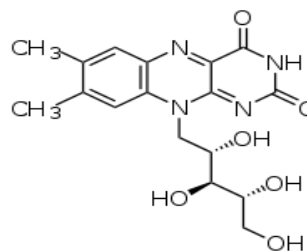
Les vitamines commercialisées sont utilisées principalement en industrie alimentaire, avec 63,5% du marché des vitamines, en tant qu'additifs alimentaires ; en industrie pharmaceutique (36%) et le reste en cosmétique.

3.3.1. Vitamine B12 :

C'est la plus intéressante. Elle joue un grand rôle dans le traitement de l'anémie et stimule l'appétit. Elle peut être obtenue à partir de culture de *Propionibacterium shermanii* sur milieu contenant du glucose, du *corn steep liquor* et du chlorure de cobalt à pH 7. La fermentation se déroule en anaérobie pendant 72 heures, puis en aérobie pendant 96 heures. Le rendement de la production est de 23 mg par litre de milieu de culture.

3.3.2. Vitamine B2 (Riboflavine) :

Cette vitamine est utilisée dans le traitement de dermatoses, de l'hypersensibilité ophtalmique à la lumière, contre les crampes, contre la migraine et comme stimulant. Sa structure dérive de la base azotée la Guanine :



Structure de la riboflavine

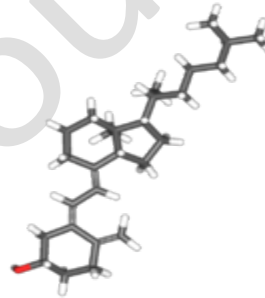
Cette vitamine est un sous-produit de la fermentation acétonobutylique réalisée par le *Clostridium acetobutylicum*. Les champignons ascomycètes

levuriformes : *Eremothecium ashbyii* et en particulier *Ashbya gossypii* sont les meilleurs producteurs actuellement connus. Ce dernier, a été choisi pour la production industrielle de cette vitamine, grâce à sa stabilité génétique. Une production optimale est obtenue par l'utilisation de l'huile de soja comme source carbonée, de glucose, de collagène et de glycine qui est le précurseur de la riboflavine. L'incubation est réalisée entre 26 et 28°C (température différente de l'optimum nécessaire à la croissance qui est à 37°C), pendant 5 à 6 jours.

3.3.3. **Provitamine D (Ergostérol) :**

La vitamine D joue un rôle majeur dans le développement, la croissance et le maintien du capital osseux. L'ergostérol est un constituant des champignons. Cette molécule se transforme sous l'action des rayons UV en ergocalciférol ou vitamine D2.

L'ergostérol peut être un sous-produit de la production de *Saccharomyces cerevisiae* (3 à 9%) ou du mycélium d'*Aspergillus niger* ayant synthétisé de l'acide citrique, et aussi de mycélium de champignons utilisés pour la production d'acides carboxyliques ou d'antibiotiques.



Structure de la cholécalférol (D3)

3.3.4. **Provitamine A (β -carotène) :**

Les caroténoïdes sont des précurseurs de la vitamine A. c'est une famille très importante de pigments naturels. De nombreux champignons sont capables de les synthétiser tels que *Blakeslea trispora* et *Rhodotorula gracilis*. La composition du milieu de culture pour la première souche est : maïs broyé 2,5% ; farine de soja 3% ; Kérosène 4%, thiamine HCl 0,2 mg%, huiles 4,6%. La fermentation dure 4 à 8 jours à température comprise entre 26 et 28°C. Le rendement de la production de 3g/l.

3.3.5. **Pigments de *Monascus ruber* :**

Il produit au moins 6 pigments partagés en trois groupes : (1) la rubropunctatine et la monascorubine qui sont oranges, (2) la rubropunctamine et la monascorubramine qui sont des analogues azotés,

(3) la monascine et l'anakaflavine qui sont jaunes. La production est réalisée à pH 5,5 sur le milieu de culture à base de maltose et de glutamate monosodique comme seule source d'azote.

3.4. Polysaccharides :

Les polysaccharides exocellulaires, produits par une large gamme de microorganismes, sont des métabolites solubles dans l'eau avec des caractéristiques physiques particulières. Ils ont de nombreuses applications industrielles comme : stabilisateurs dans l'industrie alimentaire (sirops, crème glacées), suspension des pigments dans les peintures à haute viscosité, dans les pigments colorés dans l'impression et la teinture des tissus. Les polysaccharides sont utilisés comme additifs dans les boues de forage lors de l'extraction du pétrole brut. Ils servent également pour augmenter la viscosité des produits cosmétiques (lotions, dentifrices). Certains peuvent être utilisés comme substituts du plasma et pour le développement de systèmes de cellules ou enzymes immobilisées en tant que support d'immobilisation.

3.4.1. *Pullulane* :

Ce polysaccharide est un α -D-glucane, avec des liaisons 1,4 et 1,6 en proportion 2/1. Sa production atteint 10 000 tonnes/an. Combiné au cellophane ou le polypropylène, il est utilisé dans l'emballage des produits alimentaires. Le champignon *Aureobasidium pullulans* (*Pullularia pullulans*) produit 22% de pullulane. La fermentation est réalisée à pH 5,5 durant 7 jours, dans un milieu à base de saccharose en présence de thiamine qui permet d'augmenter la production de 75%.

3.4.2. *Sclérogucane* :

C'est un homopolysaccharide neutre à base d'unité glucosé β -D- glucane relié par des liaisons 1,3 et des ramifications par des liaisons 1,6. Par sa viscosité, il est utilisé pour l'extraction du pétrole. Il est synthétisé par les champignons suivants : *Sclerotium glucanicum*, *Plectania occidentalis* et *Helotium*.

3.4.3. *Dextrane* :

C'est un exopolysaccharide de type α -1,6 ; α -1,4 ; α -1,3 glucane, avec une prédominance du premier type de liaison. Il est utilisé comme un substitut du plasma sanguin, composant de certains médicaments ophtalmiques et comme tamis moléculaire (Sephadex). Il est produit par *Leuconostoc mesenteroides* sur milieu à base de saccharose à pH 8 après 24 heures de fermentation.

3.5. Polyols, alcools :

L'éthanol est un produit de base pour l'industrie chimique et sert comme substitut des produits pétroliers. Il joue un rôle important comme source d'énergie très écologique. Actuellement, ce produit a une valeur considérable comme matériel de base de l'industrie chimique et une nouvelle chimie organique se développe à partir de l'éthanol remplaçant progressivement l'industrie pétrochimique actuelle. Près de 80% de l'éthanol produit dans le monde est obtenu par fermentation de la biomasse végétale et de la cellulose des déchets industriels et urbains. Ces substrats sont renouvelables et disponibles en grande quantité.

Tableau : Production de l'éthanol par fermentation.

Souche	Substrat	Conditions de fermentation	Rendement
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Mélasses phosphates, sulfate d'ammonium	+ pH [4-4,5], 30°C durée [48-72heures]	65 (L/100kg de sucre)
<i>Candida pseudotropicalis</i>	Sérum de fromagerie déprotéiné		
<i>Candida utilis</i>	Lessives sulfiteuses		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Amidon hydrolysé Ou hydrolysats de céréales		
Co-culture : <i>Aspergillus niger</i> + <i>S. cerevisiae</i>	Amidon non hydrolysé		

De nombreuses espèces fongiques produisent des polyols : *Candida zeylanoides* produit le méso-érythritol et du mannitol à partir du n-alcanes. *Yarrowia lipolytica* produit du mannitol. *Candida tropicalis* produit arabitol. *Pichia miso* produit plusieurs alcools : glycérol, arabitol, érythritol. Aussi certaines bactéries : *Clostridium acetobutylicum* produit le butanol et acétone. *Bacillus polymyxa*, *B. subtilis* et *Pseudomonas hydrophila* produisent 2,3- butanediol.

Les microorganismes producteurs d'alcool doivent être : tolérants aux concentrations élevées en alcool, possédants un taux d'utilisation de substrat important, capables d'utiliser plusieurs substrat différents.

3.6. Lipides :

Les végétaux représentent la source principale de lipides pour l'alimentation humaine. Cependant divers microorganismes, dont certaines levures et moisissures, produisent ces molécules. De nombreuses espèces fongiques telles que : *Candida*, *Hansenula*, *Lipomyces*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, etc., sont capables de produire de telles substances à partir de divers substrats.

Les lipides produits peuvent être de diverses compositions : tri-, di-, et monoacylglycérols, des stérols et des phospholipides, des glycolipides, et des acides gras libres (palmitique, stéarique, oléique, linoléique, arachidonique...).

Aspergillus ochraceus est un important producteur de l'acide linoléique. *Trichoderma reesii* est utilisé pour la production des lipides à partir des déchets agricoles.

4. Métabolites secondaires :

Les métabolites secondaires possèdent des voies de synthèse qui leurs sont propres, à partir de produits du métabolisme primaire. Leur production n'est pas nécessaire à la croissance de l'organisme. De ce fait, leur synthèse se fait, généralement, pendant la phase stationnaire de croissance (en fin de culture). Ils sont gérés par un ensemble de gènes de régulation qui contrôlent le moment et le niveau d'expression. Ils sont généralement produits par un nombre limité d'organismes. Ils comprennent les antibiotiques, les molécules à autres activités pharmacologiques, les arômes, les hormones végétales, les insecticides, les fongicides et les herbicides biologiques.

4.1. Antibiotiques :

Ce sont des molécules synthétisés par les microorganismes qui inhibent la croissance et tuent d'autres organismes, et ce en faible concentration. Les antibiotiques sont produits par fermentation discontinu. Les actinomycètes et les champignons produisent la majorité des antibiotiques, soit par fermentation ou par fermentation suivie de modifications chimiques. Cependant, les bactéries donnent moins d'antibiotiques par fermentation.

Parmi les *Streptomyces* : *S. griseus* et *S. hygroscopicus* produisent respectivement plus de 40 et 200 antibiotiques différents tels que : streptomycine, auréomycine, terramycine et la néomycine.

Parmi les champignons exploités industriellement pour la production d'antibiotiques figurent les genres : *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cephalosporium*,

Helminthosporium, *Fusidium*. La pénicilline et la céphalosporine et leurs dérivés représentent 60% du marché mondial des antibiotiques.

Parmi les bactéries, le genre *Bacillus* (G+), produisent des antibiotiques de nature peptidique tels que : bacitracine, gramicidine, subtilisine...

Certaines espèces du genre *Pseudomonas* (G-), produisent des antibiotiques de type phénazine, des dérivés du pyrrole, certains dérivés lipidiques et des dérivés de l'indole.

4.1.1. **Pénicillines :**

Les pénicillines naturelles sont produites par *P. chrysogenum*. Les rendements actuels sont supérieurs à 40 g/l de pénicilline G. Cette molécule peut être utilisée comme telle ou clivée en acide -6-aminopénicillanique pour obtenir des pénicillines semi-synthétiques, de la 2^{ème} génération. Le clivage est chimique ou enzymatique par les pénicillines acylases.

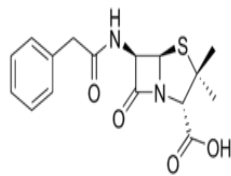
Les milieux de culture sont de la composition suivante :

- a) Milieu de culture et de sporulation en % : glucose, glycérol, lactose, saccharose ou mélasse (0,5-2) ; source d'azote (peptone, extrait de levure, sulfate d'ammonium) (0,2-1) ; CaCO₃ (0-1) ; NaCl (0-0,5) ; phosphate (0-0,1).
- b) Milieu pour l'inoculum en fermenteur en % : glucose, saccharose ou lactose (3-5) ; *corn steep liquor* (3-5) ; pharmamédia (2-5) ; craie (0-1) ; phosphate (0-0,1) ; sulfate d'ammonium (0-0,5) ; huile (0-0,5).
- c) Milieu de production en % : glucose, saccharose ou lactose (5-10), *corn steep liquor* (5-9) ; pharmamédia (3-5) ; craie (0-1) ; sulfate d'ammonium (0-1) ; phosphate (0-0,5) ; huile (0,3-0,8) ; acide phénylacétique ou phénoxyacétique (0,3-0,6). L'addition de ce dernier permet d'obtenir uniquement de la pénicilline G et élimine la synthèse des autres molécules à activités antibiotiques. Le pH et la quantité d'oxygène dissout sont maintenus à des valeurs optimales. A la fin de la fermentation, le bouillon de culture est filtré.

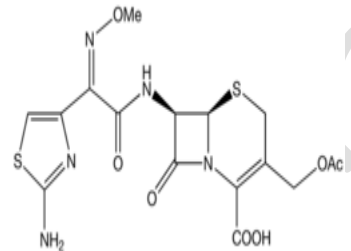
L'extraction de la pénicilline est réalisée par l'acétate de butyle ou par centrifugation à pH acide (2,5-3) et à basse température (0-3°C). Le surnageant est mélangé à un acide (ac. phosphorique ou sulfurique dilué). Après élimination des pigments et autres impuretés, la solution de pénicilline est traitée par le charbon actif. Celui-ci est ensuite éliminé par l'acétate de potassium l'acétate de sodium, pour obtenir de la pénicilline cristallisée et séchée à la dernière étape.

4.1.2. Céphalosporines :

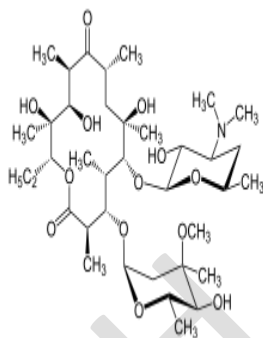
Industriellement la céphalosporine C est produite par *Cephalosporium acremonium*, en présence d'acétyl-CoA. D'autres champignons tels que : *Emericellopsis* et *Paecilomyces* en synthétisent également.



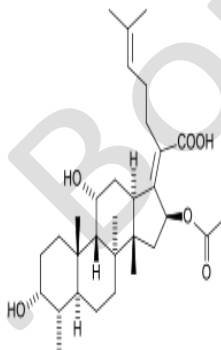
Pénicilline G



Céfotaxime



Erythromycine A



Acide fusidique

Figure : Structures chimiques de quelques antibiotiques importants.

Tableau : les antibiotiques fongiques, les souches productrices et leur activité.

Antibiotique	Souche	Mode d'action
Pénicilline (hétérocycle à partir de tripeptide)	<i>Penicillium chrysogenum</i> <i>Aspergillus</i>	Actif sur bactéries (G+) et quelques (G-)
Céphalosporines (proche de pénicilline à base de tripeptide)	<i>Cephalosporium caerulens</i> , <i>Emericellopsis</i> , <i>Paecilomyces</i>	Actif sur bactéries (G+)
Acide aspergillique (cycle diaminé)	<i>Aspergillus flavus</i>	Actif sur bactéries (G+) et (G-)
Fumagilline (cyclique)	<i>A. fumigatus</i> , <i>Penicillium jenseni</i> , <i>P.nigricans</i>	Amoebicide (pour les amibiases intestinales)
Céruléine (linéaire)	<i>Cephalosporium caerulens</i>	Actif sur diverses bactéries, levures et champignons par inhibition de la synthèse d'acides gras
Acide fusidique ou fusidine (de type stéroïde)	<i>Fusidium coccineum</i>	Actif sur les bactéries (G+) par inhibition de la synthèse des protéines
Variotine (dérivé d'ac.gras)	<i>Paecilomyces variotii</i>	Antimycosique
Griséofulvine (noyau aromatique)	<i>Penicillium griseofulvum</i> ; <i>P.patulum</i>	Actif sur les champignons
Siccamine (cyclique)	<i>Helminthosporium siccans</i>	Antifongique

4.2. Autres activités pharmacologiques :

Les métabolites secondaires synthétisés par les microorganismes ne se limitent pas aux antibiotiques. En effet, les premiers produits d'origine fongique, appliqués en médecine, sont les alcaloïdes de l'ergot de seigle puis la cyclosporine A, la compactine et des immunostimulants. Ces biomolécules sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau : Substances à activité thérapeutique produites par les microorganismes

Substances	Souches productrices	Actions thérapeutiques
Alcaloïdes (structure tétracyclique)	<i>Claviceps purpurea</i>	Contre hémorragie utérines, migraines, insuffisance veineuse, perturbations fonctionnelles neuro-psychiques et dans certains cas de stérilité.
Cyclosporine A (peptide cyclique)	<i>Tolypocladium inflatum</i> ; <i>Fusarium solané</i> ; <i>Neocosmospora vasinfecta</i>	Immunosuppresseur dans les cas de transplantation d'organes (bloque les cellules T)
Spergualine	<i>Bacillus laterosporus</i>	Immunosuppresseur (inhibe les cellules B et T)
Compactine (structure tricyclique)	<i>Penicillium citrinum</i> ; <i>P. brevicompactum</i>	Anticholestérolémique
Lipostatine	<i>Streptomyces toxytricini</i>	Anticholestérolémique (inhibe la lipase pancréatique)
Mévilonine ou monacoline K (structure tricyclique)	<i>Monascus ruber</i> ; <i>Aspergillus niger</i>	Anticholestérolémique
Acide fusarique	<i>Fusarium sp.</i>	Antihypertenseur
Amicoumacine A	<i>Bacillus pumilus</i>	Anti-inflammatoire
Rhizotoxine	<i>Rhizopus chinensis</i>	Antitumorale

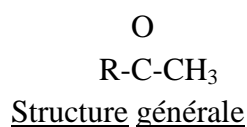
Staurosporine	<i>Streptomyces actuoris</i>	Antitumorale
Krestine	<i>Coriolus versicolor</i>	Immunostimulants dans la thérapie complémentaire aux antibiotiques
Lentinane	<i>Lentinus edodes</i>	
Paxistérol	<i>Penicillium sp.</i>	Analgésique

4.3. Arômes :

Les mycètes (levures et champignons filamenteux) synthétisent des molécules d'arômes complexes au cours de leur métabolisme, en phase de croissance stationnaire. En effet, un même champignon change de manière importante, le profil des composés odorants qu'il produit, selon la composition du milieu de culture en sucres et acides aminés. Ainsi divers arômes et senteurs peuvent être obtenus par fermentation tels que : l'anis, le miel, l'amande, la banane, la rose, la lavande, le jasmin...

4.3.1. Méthyl-cétones :

Ce sont des arômes de fromages qui s'élaborent à partir d'acides gras. Le *Penicillium roquefortii* synthétise diverses méthyl-cétones.



4.3.2. Lactones :

Ce sont des esters internes cycliques, synthétisés par certains champignons. *Ceratocystis moniliformis* produit décalactone qui correspond à l'arôme de banane, de pêche...

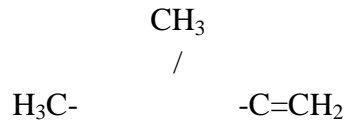
Trichoderma viride produit octalactone et nonalactone qui correspond à l'odeur de la noix de coco.



Structures générales des lactones

4.3.3. *Terpènes:*

Ce sont les composés de base des huiles essentielles. *Penicillium decumbens* produit l'arôme de rose et de pomme. *Trametes odorata* produit plusieurs arômes : méthyl-phénylacétate, géraniol et p-méthoxyphénylacétate qui correspondent respectivement à l'odeur du miel, de rose et d'anis.



Structure d'un mono terpène

4.4. Insecticides et pesticides biologiques :

La production des spores se fait par FMS. Ce type de procédé permet de produire des quantités considérables de spores avec des qualités répondant à la demande du marché mondiale.

Les spores de la bactérie *Bacillus thuringiensis* sont commercialisées en tant qu'insecticide biologique contre plusieurs groupes d'insectes : les papillons, les moustiques, les mouches, le hanneton, l'anopheles vecteur de la malaria, etc... Les premières utilisations remontent à 1933, actuellement c'est le bio-insecticide le plus vendu dans le monde. C'est un produit naturel convenable à l'agriculture « Bio ».

Les spores du champignon : *Beauveria bassiana* sont utilisées comme insecticides dans les cultures protégées de maïs, et ce contre le nématode *Globodira pallida* et les larves de *Galleria mellonella*. Elles sont aussi utilisées comme nématicide contre les vers microscopiques (nématodes) qui attaquent les racines des plantes de cultures de pomme de terre, betteraves à sucre, etc...

Les spores de *B. brongniartii*, *Verticillium lecanii* sont actives contre plusieurs insectes : le hanneton ; les acariens et aussi comme fongicide dans diverses cultures. (Voir tableau)

D'autres champignons sont utilisables comme herbicides pour la lutte biologique contre les mauvaises herbes. C'est le cas de *Colletotrichum gloeosporioides* qui est utilisé dans le traitement des cultures de riz, de soja et de blé aux USA. Le *Phytophthora palmivora* pour le traitement des mauvaises herbes des champs d'agrumes (citronniers). *L'Alternaria cassiae* et diverses espèces de *Fusarium* sont utilisés dans les champs de coton.

Tableau : Les champignons utilisés dans le contrôle biologique

Spores	Organisme cible	Culture protégée
<i>Beauveria bassiana</i>	<i>Diatraea saccharalis</i> Le perce-canne à sucre	Maïs
	<i>Ostrinia nubilalis</i> La pyrale du maïs	Maïs
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Larve de castor <i>semitooper</i> (papillon)	Graine de ricin
<i>Verticillium lecanii</i>	Aleurodes (mouches blanches)	Diverses cultures
<i>Coniothyrium minitans</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Laitue
<i>Colletotrichum truncatum</i>	<i>Sesbania exaltata</i>	Soja
<i>Clonostachys rosea</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	Fraises

Les spores de plusieurs champignons sont utilisées dans la biocatalyse, telles que le *Penicillium roquefortii* dans la production du 2-heptanone à partir de l'acide octanoïque ; l'*Aspergillus niger* dans la bioconversion du glucose en acide gluconique ; le *Penicillium digitatum* dans la réaction de transformation du géraniol en méthylheptenone.

Tableau : Les champignons utilisés dans la biocatalyse

Spores	Réaction de bioconversion
<i>Penicillium roquefortii</i>	Acide octanoïque → 2-heptanone
<i>Aspergillus niger</i>	Glucose → acide gluconique
<i>Penicillium digitatum</i>	Géraniol, nerol, citral et l'acide gérannique → méthylheptenone

4.5. Hormones végétales :

Les substances de croissance végétale produites par fermentation sont les gibbérellines et l'acide abscissique.

Le *Fusarium moniliforme* produit 25 gibbérellines. Ce sont des diterpénoïdes, régulatrices de la croissance végétale. Elles sont utilisées pour accélérer la germination de l'orge et l'accroissement de l'activité des α et β amylases. Elles sont également utilisées pour le traitement des légumes et fruits et augmenter les rendements agricoles. Leur production est réalisée par des cultures en surface pendant 15 à 30 jours ; ou en cultures submergées pendant une durée de 7 à 15 jours avec un rendement de 5 (g/l).

Le *Cercospora rosicola* produit l'acide abscissique (ABA) en milieu liquide agité et aéré. C'est un sesquiterpénoïde à 15 carbones.

Dr. H. Boukhaira