

République Algérienne Démocratique et Populaire  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Ibn Khaldoun de Tiaret



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Nutrition et Technologie Agroalimentaire



**Polycopie du Cours**

**Aliments & Biotechnologie**

Aux Profits des Etudiants :  
2<sup>ème</sup> Année « Master Agroalimentaire et contrôle de qualité »

Présenté par :

***PhD. ALI-NEHARI Abdelkader***

**Année Universitaire 2022-2023**

## I. Informations générales :

**Filière/Mention :** SNV/ Biotechnologie

**Public cible :** 2<sup>ème</sup> Année « Master  
Agroalimentaire et contrôle de qualité»

**Intitulé du cours :** Aliments et biotechnologie

**Nature de la séance :** Cours (UE Fondamentale)

**Semestre = 3**

**Durée :** 15 semaines

**Volume horaire semestriel = 67.30 h**

**V.H hebdomadaire = 3 h**

**Crédit: 06**

**Coefficient: 3**

## II. Présentation :

Les sujets programmés dans cette matière peuvent contribuer largement à enrichir les connaissances des étudiants qui se spécialisent dans le domaine de l'agroalimentaire en terme de techniques biotechnologiques utilisées et les aider à percevoir la dynamique et la cadence de l'innovation de la biotechnologie alimentaire d'une manière qui transcende les limites conventionnelles des domaines du vivant.

### 1. Objectifs généraux :

Cette matière s'intéresse particulièrement à la description et la maîtrise des différents modes de culture en bioréacteurs en vue d'optimiser le rendement de la production des bioproduits à grande échelle.

Au terme du cours, l'apprenant sera capable de :

- Connaitre l'importance de la biotechnologie alimentaire.
- Connaître et comprendre des applications industrielles des microorganismes en biotechnologie.
- Connaître les types de fermenteurs et leurs applications.
- Maîtriser les différents modes de culture en bioréacteurs en vue d'optimiser le rendement.
- Connaître et comprendre l'utilisation des microorganismes dans les fermentations pour la production à grande échelle de biomolécules.
- Connaitre des processus en amont et en aval des produits biotechnologiques
- Connaitre des exemples des différentes applications possibles des biotechnologies dans différents domaines.

### III. Contenu :

Le cours est réparti en cinq chapitres. Le premier chapitre traite les différents produits issus des aliments fermentés et leur bio-fonctionnalités.

Le deuxième chapitre traite l'application technologique des métabolites primaires et secondaires ainsi que les produits de bioconversion. Se focalisant sur les principaux produits d'intérêt économique.

Le troisième chapitre est consacré pour les microorganismes génétiquement modifiés. Les démarches d'obtention des autorisations sont aussi discutées.

Alors que le quatrième chapitre concerne les différents risques des OGM et AGM. Le dernier chapitre est dédié aux quelques exemples des biotechnologies non alimentaire.

### IV. Sommaire détaillé :

<b>I. Informations générales</b> .....	2
<b>II. Présentation</b> .....	2
1. Objectifs généraux .....	2
<b>III. Contenu</b> .....	3
<b>IV. Sommaire détaillé</b> .....	3
<b>Introduction générale</b> .....	5
<b>CHAPITRE I : Produits issus des aliments fermentés</b> .....	9
I.1. Molécules produites.....	11
1. Métabolites primaires .....	11
2. Métabolites secondaires.....	27
3. Métabolites issus de bioconversion.....	36
4. Biomasse.....	36
I.2. Bio-fonctionnalité .....	37
1. Pouvoir acidifiant .....	37
2. Pouvoir aromatisant .....	37
3. Pouvoir gazogène .....	38
4. Pouvoir texturant .....	38
5. Pouvoir antagoniste .....	39
6. Propriétés probiotiques.....	40
<b>CHAPITRE II : Application technologiques</b> .....	42
II.1. Application des métabolites primaires.....	42
II.2. Application des métabolites secondaires.....	46
II.3. Application des métabolites de bioconversion.....	55

II.4. Biotechnologie dans le monde et en Algérie.....	57
<b>CHAPITRE III : OGM microbiens.....</b>	<b>60</b>
III.1. Définition.....	61
III.2. Les différentes applications des OGM microbiennes ..	61
III.3. Caractérisation.....	62
III.4. Impact des OGM microbiennes sur l'environnement .....	63
III.5 Les avantages et inconvénients des OGM microbiennes .....	63
III.6. Evaluation et autorisation.....	64
III.7. Les controverses entourant les OGM microbiennes .....	64
III.8. Perspectives d'avenir et développements récents des OGM microbiennes .....	65
<b>CHAPITRE IV : Risques des OGM et AGM .....</b>	<b>66</b>
IV.1. Risques des OGM .....	67
IV.2. Risques des AGM .....	68
<b>CHAPITRE V : Autres biotechnologies non alimentaire .....</b>	<b>65</b>
V.1. Biopesticides .....	76
V.2. Biocarburant .....	80
V.3. Biogaz .....	87
<b>Mode d'évaluation et références .....</b>	<b>99</b>

# ***Chapitre 1 :***

---

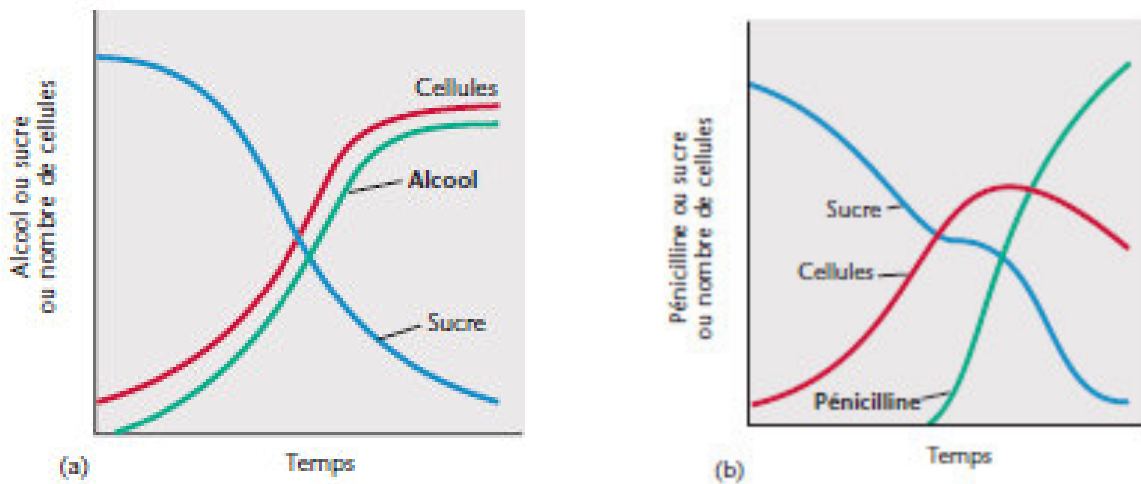
## ***Produits issus des aliments fermentés***



**Introduction :**

Il est important de savoir en quel moment du cycle de croissance du micro-organisme le métabolite intéressant est-il produit? Ce cycle comprend trois phases dites : de latence, exponentielle et stationnaire. Certains métabolites sont formés pendant la croissance exponentielle alors que d'autres le sont seulement une fois cette phase achevée. On distingue deux types principaux de métabolites microbiens : les primaires et les secondaires.

Un métabolite primaire est formé durant la phase exponentielle de croissance alors qu'un métabolite secondaire l'est le plus souvent en fin de phase exponentielle ou lors de la phase stationnaire (Figure1). L'alcool, métabolite primaire typique est un produit du métabolisme anaérobie de certaines levures et bactéries fait partie du métabolisme énergétique. Comme la croissance ne peut avoir lieu qu'avec une production d'énergie en parallèle, la formation d'éthanol s'accomplit pendant la croissance.



**FIGURE 1 : Comparaison entre production de métabolites primaires et secondaires.**

(a) Production d'alcool par une levure : métabolite *primaire*. (b) Production de pénicilline par le champignon *Penicillium chrysogenum* : métabolite *secondaire*. La pénicilline n'est produite qu'en fin de phase exponentielle.

## I.1. Molécules produites:

### I.1.1. Métabolites primaires:

#### 1. Les Enzymes :

La découverte des enzymes et de son rôle à la nutrition a été faite en forme parallèle avec la découverte des vitamines et des minéraux. Vers 1930, quand les enzymes ont commencé à intéresser les chercheurs en biochimie, quelques 80 enzymes avaient été identifiées. Aujourd'hui, plus de cinq mille enzymes sont reconnues.

#### 1.1. Notions sur les enzymes :

- Les enzymes sont des catalyseurs biologiques qui accélèrent les réactions métaboliques d'un organisme vivant.
- Elles résultent, au moins en ce qui concerne leur partie protéique, d'une synthèse des protéines au niveau cellulaire.
- Il y'a au moins une enzyme différente par réaction catalysée, ce qui représente des milliers d'enzymes par organisme.
- Les enzymes sont réparties sur des organites cellulaires différents et peuvent, ainsi, être qualifiées de "**enzymes marqueurs**". On cite comme exemples :
  - ❑ **La cytochrome C oxydase dans la membrane interne mitochondriale.**
  - ❑ **La lactate déshydrogénase dans la fraction cytoplasmique soluble.**
- Selon leur localisation in vivo, les enzymes peuvent être groupées en :
  - ❑ **Enzymes extracellulaires (ou exoenzymes) :** elles sont synthétisées à l'intérieur de la cellule, puis sécrétées dans l'espace extracellulaire.
  - ❑ **Enzymes intracellulaires :** elles sont synthétisées et utilisées entièrement à l'intérieur de la cellule où elles sont généralement liées à des particules subcellulaires ou membranes intracellulaires rendant leur extraction plus difficile.
- Substance produite par bioconversion est spécifique d'un substrat
- Intérêt : Remplacement des procédés complexes de chimie de synthèse
- Grande rapidité et spécificité,

- Conditions « douces » : pH, T° et pression modérés, en milieux aqueux = respect de l'environnement

**NB : Catalyse** : *phénomène qui modifie la vitesse d'une réaction chimique par l'action d'un catalyseur (origine chimique ou biologique: Biocatalyse).*

### **1.2. Rôles et caractérisations des enzymes :**

- Les enzymes ont une action spécifique sur certains composés. Elles permettent la transformation rapide et efficace de ceux-ci à des températures modérées.
- Au cours des fermentations alimentaires, ce sont les multiples enzymes des cellules microbiennes qui provoquent les modifications complexes observées.
- Il est également possible de faire intervenir des enzymes seules, en l'absence de toute cellule vivante.
- Ces enzymes jouent plusieurs rôles dans les productions alimentaires industrielles :
  - Faciliter le procédé de préparation (exemple : les jus de fruits ou de légumes sont plus faciles à filtrer après hydrolyse enzymatique des macromolécules en suspension)
  - Améliorer la texture (exemple : la formation de gel dans certains jus de fruits concentrés sucrés est évitée en hydrolysant la pectine naturelle par des pectinases)
  - Provoquer une insolubilisation de certaines molécules (exemple : l'utilisation de la présure bovine ou microbienne pour la coagulation de la caséine du lait dans la fabrication des fromages)
  - Clarifier et stabiliser certains liquides en vue de la conservation (exemple: l'emploi de cellulases et de pectinases permet de clarifier des jus de fruits)
  - Améliorer les qualités organoleptiques (exemple : l'ajout de lipases à certains fromages améliore leur saveur)
  - Augmenter le rendement (exemple : la saccharification du moût de céréales peut être amplifiée par l'addition d'amylases au cours de la préparation de la bière)
  - Améliorer la digestibilité (exemple : l'hydrolyse enzymatique du lactose du lait permet d'éviter les symptômes d'intolérance au lactose).



- Permettre la production de nouveaux produits ou la mise au point de nouveaux procédés de fabrication (exemple : la valorisation du lactosérum, la préparation de sirops ou d'alcools à partir d'amidon de céréales ou de cellulose...).

### **1.3. Avantages et inconvénients des enzymes:**

#### **A/ Avantages :**

- Les enzymes présentent plusieurs groupements fonctionnels variés qui leur confèrent des propriétés de régio-, chimio- et stéréosélectivité.
- De plus, elles ont un facteur d'accroissement de la vitesse de réaction (jusqu'à 10<sup>17</sup> fois plus rapide que pour des réactions non catalysées) et sont capables de catalyser jusqu'à 10<sup>5</sup> évènements par seconde.
- Elles sont réutilisables car elles ne sont pas transformées par la réaction.

#### **B/ Inconvénients:**

- En effet, leur coût est très élevé et leur solubilité est limitée dans les solvants organiques.
- De plus, elles présentent une dépendance vis-à-vis d'un cofacteur ou coenzyme et leur grande spécificité limite leur champ d'application.
- Enfin elles montrent une instabilité importante même dans des conditions dites douces (dénaturation notamment vis-à-vis de la température, hydrolyse en présence d'acides, bases ou protéases ...).

1.4. Exemples des enzymes produites par les microorganismes:

Tableau 1 : Exemples des microorganismes produisant les enzymes utilisés dans l'industrie agroalimentaire.

Type d'enzyme	Action	Source	Usages
<b>Amylases</b>	(hydrolyse de l'amidon en sucres solubles)	<i>Aspergillus oryzae</i> (moisissure) <i>Bacillus subtilis</i> (bactérie)	Améliorer la fermentation (pain, bière) Clarifier les jus de fruits et de légumes...
<b>Invertases</b>	hydrolyse le saccharose en glucose et fructose	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (levure) <i>Candida utilis</i>	Réduire la cristallisation dans les sirops Produire du sucre inverti
<b>B-Galactosidase</b>	hydrolyse le lactose en glucose et galactose	<i>Aspergillus niger</i> (moisissure) <i>Kluyveromyces fragilis</i> (levure) <i>Candida</i>	Faire disparaître le lactose dans les produits laitiers
<b>Glucose isomérase</b>	conversion du glucose en fructose	Streptomyces, Bacillus coagulans, Arthrobacter	Produire du sirop de maïs à teneur élevée en fructose
<b>Cellulase</b>	hydrolyse de la cellulose en sucres	<i>Trichoderma viride</i> (moisissure) <i>Aspergillus niger</i> (moisissure)	Clarifier les jus de fruits Produire davantage de sucres fermentescibles
<b>Lipase</b>	hydrolyse les lipides en acides gras et glycérides	<i>Saccharomycopsis lipolytica</i> (levure) <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium roqueforti</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Candida lipolytica</i>	Produire davantage de composés d'arômes dans les fromages et autres produits laitiers

1.5. Domaine d'utilisation des enzymes:

- ❖ **Industrie de l'alimentation animale** : hydrolyse enzymatique de la matière protéique issue des abattoirs.
- ❖ **Industrie cosmétique** : production biotechnologique de collagène et d'autres produits d'application aux crèmes de beauté.
- ❖ **Industrie du papier** :
- ❖ contrôle enzymatique de la viscosité des enduits à l'amidon.

- ❖ **Industrie du tannage** : préparation de la peau et élimination des poils et de la graisse.
- ❖ **Industrie des huiles et des graisses** : hydrolyse enzymatique des graisses et de la lécithine et synthèse des esters.
- ❖ **Industrie de la chimie fine** : synthèse des substances organiques.

## **2. La production microbienne des acides aminés**

### **Introduction:**

Les acides aminés sont les blocs de construction des protéines. Chez les mammifères, et en particulier chez l'homme, un certain nombre d'acide aminé ne peut pas être formé par un mécanisme biosynthétique généralement connu. Cela est essentiellement dû au fait que les humains ne peuvent pas synthétiser les acides  $\alpha$ -keto nécessaires à la synthèse des acides amino correspondants. De tels acides sont appelés acides essentiels (indispensables) et doivent être fournis de l'extérieur, par l'alimentation.

### **2.1. Aspects de fabrication :**

L'acide aminé peut être synthétisé assez couramment par des moyens chimiques. Les acides aminés synthétisés chimiquement sont généralement des mélanges racémiques d'isomères D et L. Les isomères D sont biologiquement inactifs et seul l'isomère L est utile pour l'application d'arôme ou pour les compléments alimentaires/alimentaires. La production microbienne d'acides aminés, d'autre part, n'implique pas les difficultés opérationnelles de température et de pression élevées souvent rencontrées dans les processus catalytiques chimiques. Le processus microbien peut être réalisé dans des conditions ambiantes. En outre, les produits finaux qu'ils produisent peuvent être obtenus sous une forme pure car les systèmes enzymatiques d'un organisme sont hautement sélectifs.

### **2.2. Exemple 1: Acide L-glutamique**

La propriété d'amélioration de la saveur du knobu, une algue ressemblant à du varech traditionnellement utilisée comme source d'assaisonnement au Japon, a été identifiée comme étant due à l'acide L-glutamique. Cette découverte a conduit à la production industrielle de L-glutamate

monosodique par Ajinomoto Co. L'acide L-glutamique a d'abord été produit par l'hydrolyse acide du gluten de blé ou de la protéine de soja. Sur une période de 50 ans, des micro-organismes producteurs d'acide L-glutamique ont été isolés et des recherches ultérieures ont abouti à un procédé de fermentation économique pour la production d'acide L-glutamique. L'acide L-glutamique n'est pas un acide aminé indispensable. C'est un acide dicarboxylique chargé négativement ayant la structure : Le sel monosodique de l'acide glutamique (MSG) est utilisé comme exhausteur de goût. Il rehausse la saveur de la viande et des produits à base de viande. L'acide glutamique est également le matériau de départ d'une variété de produits chimiques spécialisés. Le N-acyl glutamate est utilisé dans les cosmétiques, les savons et les shampoings. L'acide oxypyrolidone carboxylique est utilisé comme hydratant naturel. Les amides de glutamates peuvent être utilisés comme agents de gélatinisation ; il peut gélatiniser l'huile minérale déversée dans l'océan. La mise en place de la fermentation de l'acide L-glutamique a donné une impulsion significative (motivation) au développement de la production microbienne de métabolites primaires. Encouragés par l'établissement de la fermentation de l'acide L-glutamique, divers projets de recherche ont été menés pour tenter d'isoler des souches sauvages ou de dériver des mutants génétiques produisant divers types d'acides aminés. En conséquence, presque tous les acides aminés sont maintenant produits commercialement par fermentation

#### **A. Production d'acide L-glutamique**

##### **□ Micro-organismes**

La plupart des bactéries productrices d'acide glutamique sont à Gram positif, non sporulées, non mobiles et dépendantes de la biotine. Une surproduction d'acide L-glutamique est possible par l'utilisation d'organismes dépendants de la biotine, de l'acide oléique ou du glycérol (ce sont des mutants auxotrophes).

Des exemples de certaines des bactéries productrices d'acide glutamique les plus importantes sont présentés ci-dessous :

**Tableau 2** : Bactéries productrices d'acide glutamique

Genre	Espèces
<b>Brevibacterium</b>	B. divericatum, B. flavum
<b>Corynebacterium</b>	C. glutamicum, C. lilium
<b>Microbacterium</b>	M. flavum var glutamicum
<b>Arthrobacter</b>	A. globiformis

**☐ Conditions de culture**

**1. Source de carbone**

Les bactéries productrices d'acide L-glutamique peuvent utiliser diverses sources de carbone, telles que le glucose, le fructose, le saccharose, le maltose, le ribose ou le xylose, comme substrat pour la croissance cellulaire et la biosynthèse de l'acide L-glutamique. Pour la production industrielle, la mélasse et les hydrolysats d'amidon sont généralement utilisés comme source de carbone. Afin d'obtenir des rendements élevés en acide L-glutamique, la concentration en biotine dans le milieu doit être strictement contrôlée à un niveau sous-optimal pour la croissance cellulaire maximale. Les mutants nécessitant de l'acide oléique accumulent de l'acide L-glutamique dans un milieu riche en biotine uniquement lorsque la concentration en acide oléique est contrôlée au niveau sous-optimal pour une croissance maximale. Dans des conditions optimales, les bactéries peuvent convertir environ 50 à 60 % du carbone ajouté en acide glutamique.

Le rendement de certaines des sources de carbone est présenté dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 3** : Rendement des substrats comme source de carbone

Source de carbone	Microorganismes	Rendement (g/L)
Sugar beet molasses	C. glutamicum	> 100
Glucose + ammonium acetate	B. divericatum	100
Acetate	B. flavum	98
Ethanol	Brevibacterium spp136	59
n-alkanes	Arthrobacter paraffineus	62
	Corynebacterium hydrocarboclassus	84
	Corynebacterium alkanolyticum (glycerol-)	72
	Benzoic acid	Brevibacterium spp

## 2. Source d'azote et contrôle du pH :

L'apport suffisant d'une source d'azote appropriée est essentiel pour la fermentation de l'acide L-glutamique, puisque la molécule contient 9,5 % d'azote. Les sels d'ammonium tels que le chlorure d'ammonium ou le sulfate d'ammonium sont assimilables. Les bactéries productrices d'acide L-glutamique ont également une forte activité uréase. Ainsi, l'urée est également utilisable comme source d'azote. L'ion ammonium est préjudiciable à la fois à la croissance cellulaire et à la formation de produits, et sa concentration dans le milieu doit être maintenue à un niveau bas. Le pH du milieu de culture est très susceptible de devenir acide à mesure que les ions ammonium sont assimilés et que l'acide L-glutamique est excrété. L'ammoniac gazeux a un grand avantage sur les bases aqueuses pour maintenir le pH à 7,0-8,0, l'optimum pour l'accumulation d'acide L-glutamique. L'ammoniac

gazeux sert d'agent de contrôle du pH et de source d'azote, et évite les effets nocifs de l'ammoniac et la dilution indésirable du liquide de fermentation.

### **3. Facteurs de croissance :**

Les bactéries productrices d'acide L-glutamique ont besoin de biotine pour leur croissance et sa concentration doit être strictement contrôlée pour un rendement maximal de produit. La teneur critique en biotine des cellules pour l'accumulation d'acide L-glutamique est de 0,5 µg/g de cellules sèches.

### **4. Alimentation en oxygène:**

La biosynthèse de l'acide glutamique est un processus aérobie nécessitant de l'oxygène tout au long de la fermentation. Pour une production maximale d'acide L-glutamique, le contrôle de l'oxygène dissous à son niveau optimal est essentiel, et donc l'oxygène doit être fourni en continu. Dans un milieu riche en biotine, la densité cellulaire devient élevée, ce qui entraîne une augmentation de la demande en oxygène des liquides de culture et, par conséquent, une pénurie d'oxygène se produit. Les cellules n'accumulent pas d'acide lactique dans un milieu riche en biotine lorsque suffisamment d'oxygène est fourni

#### **□ Biosynthèse de l'acide L-glutamique**

L'acide glutamique est synthétisé via (i) le cycle du glyoxylate en tant que système générateur d'oxaloacétate (sans fixation de CO<sub>2</sub>) et via (ii) via le pyruvate de phosphoénole (PEP) pour former de l'oxaloacétate avec fixation de CO<sub>2</sub>. Les bactéries utilisent à la fois les voies EMP et HMP. Les composés de ces voies sont introduits dans le cycle TCA. Au total, les bactéries utilisent environ 16 étapes enzymatiques. Le produit final est formé par amination réductrice d'α-cétoglutarate. Deux enzymes jouent un rôle très important dans la biosynthèse de l'acide glutamique. Ce sont (i) la PEP carboxylase et (ii) l'α-cétoglutarate déshydrogénase. L'efficacité de la fixation du CO<sub>2</sub> dépend de l'activité PEP carboxylase. L'α-cétoglutarate déshydrogénase peut transformer l'α-cétoglutarate en acide glutamique ainsi qu'en CO<sub>2</sub> + eau via la succinyl-ScoA. L'α-cétoglutarate déshydrogénase





la voie de l'acide chorismique pour la synthèse du tryptophane. Puisque la synthèse de la phénylalanine et de la tyrosine partagent également la même voie, il est évident que les souches productrices de tryptophane sont des mutants auxotrophes. Le schéma de la voie de biosynthèse suivie par la souche *Corynebacterium glutamicum* est présenté dans la figure ci-dessous :

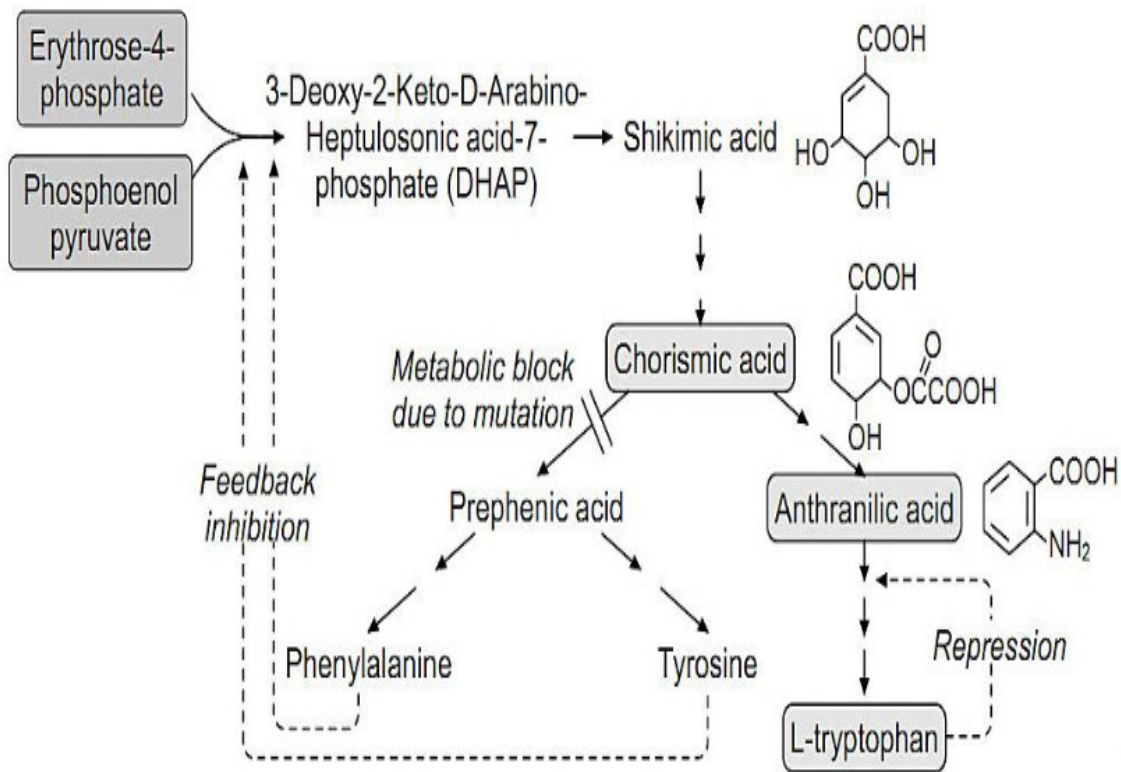


Figure 3 : Biosynthèse de L-tryptophane

### 2.3.2. Méthodes de production :

Le tryptophane a traditionnellement été produit par chimiosynthèse ou par conversion fermentative ou enzymatique d'intermédiaires synthétisés chimiquement. Il existe trois principales méthodes de production de tryptophane :

- ❑ **Production par fermentation**
- ❑ **Production par conversion microbienne**
- ❑ **Production par méthode enzymatique**

## 3. Acide citrique:

### 3.1. Généralités :

- ❑ L'acide citrique (acide 2-hydroxy-1,2, 3-propanetricarboxylique) est très répandu dans la nature.
- ❑ Il est solide, blanc, incolore, inodore, d'une saveur excessivement aigre.
- ❑ Il intervient dans le métabolisme de nombreux animaux et plantes.
- ❑ Il a été isolé sous forme cristalline à partir du jus de citron, en 1784, par SHEELE.
- ❑ Sa structure a été établie par LIEBIG en 1838. ( $C_6H_8O_7$ )
- ❑ La synthèse chimique de l'acide citrique, à partir de la glycérine, remonte à 1880 par GRIMAUX et ADAM.
- ❑ En 1893, WETTMER découvrit quelques micromycètes capables de produire de l'acide citrique par fermentation de substrats contenant du sucre.

### 3.2. Production d'Acide citrique :

- ❖ **Principe** : Le résidu acétate à deux carbones de l'acétyl CoA se condense d'abord avec l'acide oxaloacétique à quatre carbones pour former l'acide citrique à six carbones.

En terme de tonnage l'acide citrique est le plus important produit commercial fabriqué à partir des champignons. La production mondiale dépasse en effet 90 000 Tonnes par an. En pratique c'est *A. niger* ou un de ses mutants qui est utilisé.

❖ **Fermentation solide (Koji) :**

Ce procédé relativement simple consiste à cultiver une souche d'*A. niger* sur des résidus amylicés fibreux (résidus de pomme de terre, son de blé). La température dans la masse ne doit pas dépasser 28°C. Le PH chute à 1.8 – 2.0 lors de l'accumulation d'acide citrique. Après 5 à 8 jours la masse fermentée est extraite à l'eau dans les percolateurs et l'acide citrique est purifié selon les procédés classiques.

NB : Beaucoup de levure de *Saccharomyces* et de moisissures peuvent produire de l'Acide citrique, la quasi-totalité ont une sensibilité aux ions métalliques et un rendement très faible.

**3.3. Choix de substrat :**

Le choix du substrat doit répondre aux certains critères pour avoir un bon rendement d'une part et moins de dépenses d'autre part:

1. *Présence de substrat riche en sucre fermentescible (amylacée)*
2. *Une faible teneur en trace toxique pour le microorganisme.*
3. *Substrat doit être moins coûteux.*

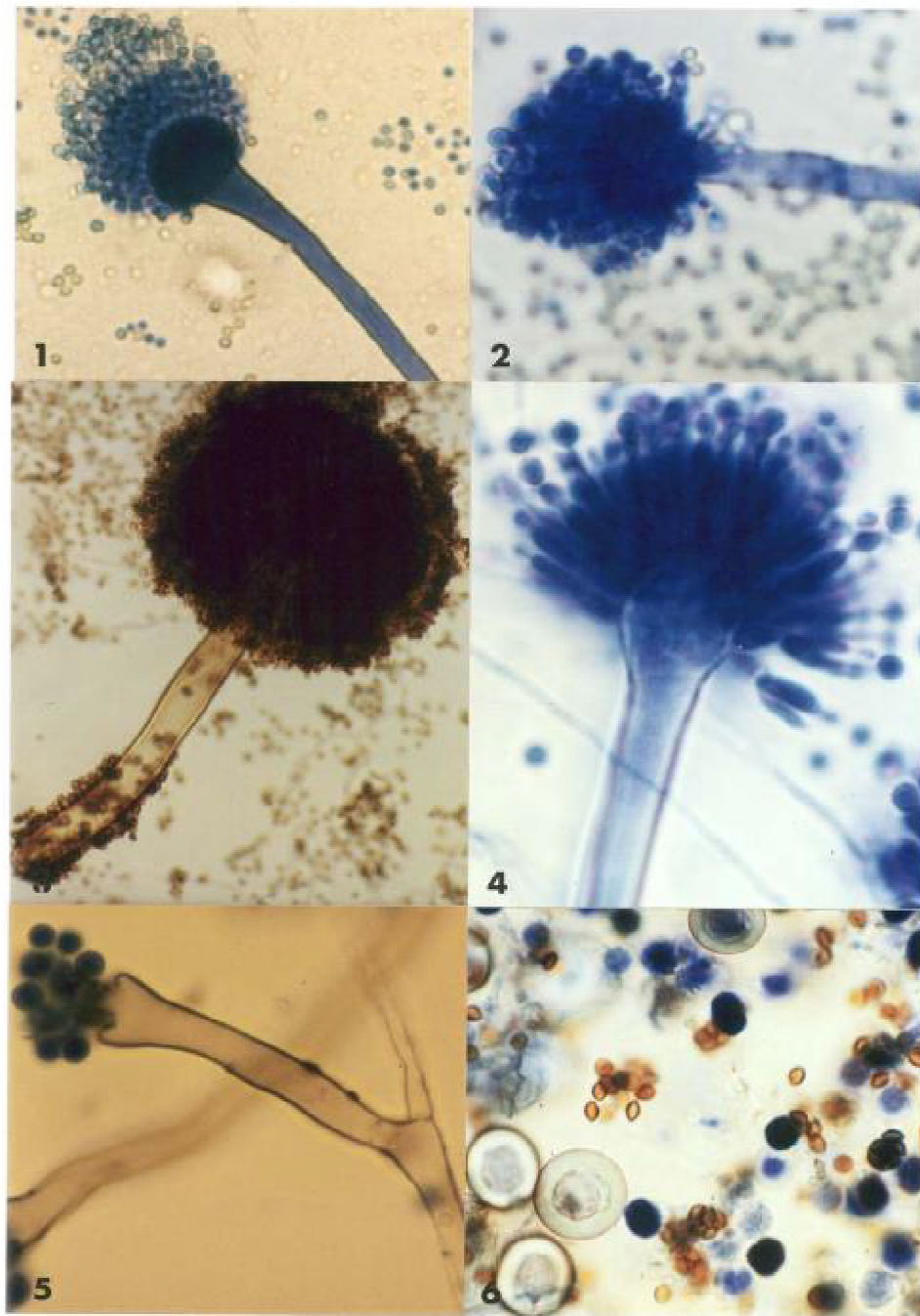
❖ **Exemple d'un substrat algérien:** La production des dattes algérienne est estimée à 261 000 tonnes/an, 120.000 tonnes seulement sont commercialisables. Plus de 50% de la production annuelle peuvent être utilisés comme substrat de ce genre de fermentation.

**NB :** Il est à signaler que ce produit continu jusqu'à l'heure actuelle à être importer de l'étranger, et il n'existe aucune industrie dans ce domaine en Algérie d'où l'intérêt accordé à cet acide organique.

**3.4. Choix de Micro-organismes :**

*Aspergillus niger* représente le microorganisme de choix à l'échelle industrielle grâce à:

- *Son insensibilité aux traces métalliques;*
- *Sa facilité de culture;*
- *Sa stabilité génétique;*
- *Ses rendements élevés;*
- *Sa capacité d'utilisation de matériel à bon marché et l'absence de métabolites indésirables.*



**Figure 4 :** Photographie de quelques *Aspergillus* : (1)-*Aspergillus fumigatus* (800), (2)-*Aspergillus flavus* (x1600), (3)- *Aspergillus niger* (x400) (4)-*Aspergillus versicolor* (x 4000) (5)- *Aspergillus nidulans* (x 4000) (6)-*Emercicella nidulans* (x 4000)  
Source : Chabasse et al., 2002

### **3.5. Conditions de production :**

Le potentiel d'hydrogène (pH), l'aération, la température, l'humidité et le type d'inoculum sont des conditions environnementales qui influencent la production d'acide citrique. Le pH du milieu est important à deux moments différents de la fermentation, pour différentes raisons. Tout d'abord, les spores ont besoin d'un pH supérieur à 5 pour germer alors que toutes les fermentations sont lancées à partir de spores. Ensuite, le pH pour la production d'acide citrique doit être faible ( $\text{pH} \leq 2$ ). Un pH trop bas réduit le risque de contamination de la fermentation par d'autres microorganismes et inhibe également la production d'acides organiques indésirables (acides gluconique et oxalique), ce qui rend la récupération de l'acide citrique plus facile.

L'aération est un facteur déterminant pour la fermentation de l'acide citrique. Un bon taux d'aération conduit à des rendements améliorés et à la réduction du temps de fermentation. Les variations du taux d'aération peuvent avoir un effet néfaste sur le rendement. Si le taux d'aération est trop élevé, la pression partielle de  $\text{CO}_2$  dissous dans le milieu peut devenir trop faible. Le dioxyde de carbone est important en tant que substrat pour la pyruvate carboxylase qui réapprovisionne l'oxaloacétate pour la synthèse du citrate. L'effet de l'oxygène dissous a été également étudié. Même de courtes périodes de faible tension d'oxygène dissous provoquent des changements irréversibles dans la production d'acide citrique .

En général, les niveaux d'humidité dans la fermentation en milieu solide(FMS) varient entre 30 et 85%. Les plus élevés conduisant à une agglomération des particules, à la limitation du transfert de gaz et à la concurrence des bactéries. La température est le facteur le plus important de tous les paramètres physiques pouvant affecter la performance de FMS, car elle affecte la croissance des microorganismes et la production d'enzymes ou de métabolites. Elle peut engendrer des effets importants, tels que la dénaturation des protéines, l'inhibition des enzymes, l'accélération ou la suppression de la production d'un métabolite en particulier, et surtout la mort des cellules. Les champignons peuvent se développer sur une large gamme de températures de 20 à 55°C, et la température optimale de croissance pourrait être différente de celle de la formation du produit.

Une limitation de la FMS réside dans son incapacité à évacuer la chaleur excédentaire produite par le métabolisme des microorganismes en raison de la faible conductivité thermique du milieu solide. Enfin, divers autres paramètres ont également été jugés critiques au cours de la FMS, telles que la vitesse d'agitation, la taille des particules du substrat et la charge de lit .

### **3.6. Utilisations de l'Acide citrique :**

*En générale, les principales industries qui utilisent l'acide citrique sont :*

#### **1. Industrie alimentaire :**

- Il est utilisé comme additif (boisson, confiture, etc...). Pour les boissons, il est utilisé en général comme rafraîchissante ou effervescente;
- Dans la fabrication des bonbons, dans la conservation des fruits, des glaces, des friandises en général, les sauces, les jus et sirops de fruit, etc ;
- Il peut être utilisé comme agent de nettoyage de l'acier inoxydable en raison de son pouvoir séquestrant.

#### **2. Industrie pharmaceutique :**

- L'acide citrique favorise indirectement la croissance des os en facilitant l'assimilation du calcium et en régulant la taille des cristaux de calcium dans les os;
- Il est utilisé autant que composant de solutions d'irrigation vésicale;
- L'acide citrique et ses sels empêchent la coagulation sanguine du sang conservé;
- Il est utilisé en médecine dentaire, comme solution de rinçage lors de traitements du canal radiculaire;
- Il est utilisé dans les poudres et comprimés effervescents, grâce à son effet effervescent avec le bicarbonate de sodium.

### I.1.2. Métabolites secondaires:

Contrairement aux métabolites primaires, qui sont présents dans la plupart des organismes vivants et sont produits par les principales voies métaboliques omniprésentes, les métabolites secondaires sont produits uniquement par des groupes particuliers d'organismes par des voies spécialisées. Leur structure chimique a tendance à être complexe et ils sont souvent produits uniquement pendant la phase de croissance spéciale, le plus souvent pendant la phase stationnaire.

**Tableau 4 :** Certains métabolites secondaires du métabolisme microbien et leur signification commerciale

Métabolites secondaires	Signification commerciale
Pénicilline, Céphalosporine, Streptomycine	Antibiotiques
Bléomycine, Mitomycine	Agents Anticancéreux
Lovastatine	Agent Hypocholestérol
Cyclosporine	Un Immunosuppresseur
D'avémectines	Agents Antiparasites

Ces métabolites peuvent avoir des propriétés antibiotiques, antifongiques, antivirales, anti-tumorales, anti-inflammatoires, immunosuppresseives et autres, et sont donc d'un grand intérêt dans les domaines médicaux, pharmaceutiques, agro-alimentaires et industriels. Ils sont produits par des voies de biosynthèse complexes, qui impliquent de nombreux gènes et enzymes. Les micro-organismes peuvent produire une grande variété de métabolites secondaires, allant de petites molécules organiques simples à des composés très complexes, tels que les polykétides, les peptides cycliques, les terpènes et les alcaloïdes. Ils ont été largement étudiés pour leur potentiel thérapeutique. De nombreux antibiotiques, tels que la pénicilline, la tétracycline et la vancomycine, sont des métabolites secondaires produits par des micro-organismes. D'autres métabolites secondaires microbiens ont des propriétés antitumorales, anti-inflammatoires, immunosuppresseives et autres, et sont utilisés dans la fabrication de médicaments.

En outre, les métabolites secondaires microbiens sont également utilisés dans d'autres domaines, tels que l'agriculture pour la protection des cultures, la production de pigments naturels pour la coloration des aliments et des textiles, et la production d'enzymes pour les applications industrielles.

La découverte et la production de nouveaux métabolites secondaires microbiens offrent des opportunités passionnantes pour le développement de nouvelles thérapies et de nouveaux produits industriels.

**Exemples des métabolites secondaires microbiens selon leurs activités biologiques :**

□ **Les antibiotiques :**

Les antibiotiques sont des métabolites secondaires produits par des micro-organismes, principalement des bactéries et des champignons. Ils sont utilisés pour traiter les infections bactériennes chez les humains et les animaux, ainsi que pour prévenir les infections dans les soins de santé et dans l'agriculture. La découverte des antibiotiques a révolutionné la médecine moderne en offrant une méthode efficace pour lutter contre les infections bactériennes, qui étaient auparavant une cause majeure de mortalité et de morbidité. Les antibiotiques sont des composés naturels produits par des micro-organismes dans des environnements compétitifs pour les ressources. Les micro-organismes produisent des antibiotiques pour éliminer leurs concurrents et assurer leur survie. Ils sont produits par des voies de biosynthèse complexes impliquant de nombreux gènes et enzymes. Les antibiotiques sont souvent des molécules très spécifiques qui ciblent des mécanismes spécifiques chez les bactéries, tels que la paroi cellulaire, la synthèse des protéines et l'ADN.

Cependant, l'utilisation excessive et inappropriée des antibiotiques a conduit à l'émergence de résistances bactériennes, qui représentent aujourd'hui un défi majeur pour la santé publique. Les bactéries peuvent développer des mécanismes de résistance aux antibiotiques par mutation ou acquisition de gènes de résistance par transfert horizontal de gènes. La découverte de nouveaux antibiotiques dépendra en grande partie de l'exploration de nouveaux environnements microbiens et de la compréhension des voies de biosynthèse des métabolites.



Voici quelques exemples d'antibiotiques microbiens :

1. **La pénicilline** : C'est l'un des premiers antibiotiques découverts. Elle est produite par le champignon *Penicillium chrysogenum*. La pénicilline agit en inhibant la synthèse de la paroi cellulaire des bactéries, ce qui conduit à leur mort.
2. **La streptomycine** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces griseus*. La streptomycine agit en perturbant la synthèse des protéines des bactéries, ce qui conduit à leur mort.
3. **La tétracycline** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces aureofaciens*. La tétracycline agit en inhibant la synthèse des protéines des bactéries, ce qui conduit à leur mort.
4. **L'érythromycine** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces erythreus*. L'érythromycine agit en inhibant la synthèse des protéines des bactéries, ce qui conduit à leur mort.
5. **La vancomycine** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces orientalis*. La vancomycine agit en inhibant la synthèse de la paroi cellulaire des bactéries, ce qui conduit à leur mort.
6. **La bacitracine** : Elle est produite par la bactérie *Bacillus subtilis*. La bacitracine agit en inhibant la synthèse de la paroi cellulaire des bactéries, ce qui conduit à leur mort.

❑ **Les antifongiques :**

Les antifongiques sont des métabolites secondaires produits par des micro-organismes tels que les bactéries, les champignons et les actinomycètes. Ils sont utilisés pour lutter contre les infections fongiques chez les humains, les animaux et les plantes. Ils sont produits par des voies de biosynthèse similaires à celles des antibiotiques. Les micro-organismes produisent des antifongiques pour éliminer les champignons concurrents dans leur environnement naturel. Les antifongiques sont souvent des composés complexes et spécifiques qui ciblent des mécanismes particuliers chez les champignons, tels que la membrane cellulaire, la synthèse des ergostérols, la chitine et la paroi cellulaire. Ils sont utilisés dans les domaines médicaux, vétérinaires et agricoles pour traiter les infections fongiques chez les humains et les animaux, ainsi que pour protéger les cultures agricoles des maladies fongiques. Les antifongiques peuvent être utilisés sous forme de médicaments, de pesticides ou d'additifs alimentaires.

Cependant, comme pour les antibiotiques, l'utilisation excessive et inappropriée des antifongiques peut conduire à l'émergence de résistances fongiques. Les champignons peuvent développer des mécanismes de résistance aux antifongiques par mutation ou acquisition de gènes de résistance par transfert horizontal de gènes.

*Voici quelques exemples d'antifongiques microbiens :*

1. **L'amphotéricine B** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces nodosus*. L'amphotéricine B est un antifongique polyène qui se lie aux ergostérols présents dans la membrane des champignons, ce qui conduit à leur mort.
2. **La natamycine** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces natalensis*. La natamycine est un antifongique qui inhibe la croissance des champignons en perturbant leur membrane cellulaire.
3. **La griséofulvine** : Elle est produite par le champignon *Penicillium griseofulvum*. La griséofulvine est un antifongique qui agit en perturbant la formation de la paroi cellulaire des champignons, ce qui conduit à leur mort.
4. **Le ciclopirox olamine** : Il est produit par la bactérie *Streptomyces sp.* Le ciclopirox olamine est un antifongique qui agit en inhibant la synthèse des acides gras des champignons, ce qui conduit à leur mort.
5. **La caspofungine** : Elle est produite par la bactérie *Glarea lozoyensis*. La caspofungine est un antifongique qui agit en inhibant la synthèse de la paroi cellulaire des champignons, ce qui conduit à leur mort.

❑ **Antivirales :**

Les antiviraux sont des substances qui ont la capacité d'inhiber la réplication des virus. Certains métabolites secondaires produits par des micro-organismes ont des propriétés antivirales et sont utilisés dans la recherche pour développer de nouveaux médicaments antiviraux. Les virus sont très différents des bactéries et des champignons, ce qui rend la découverte d'antiviraux plus difficile. Les antiviraux doivent être conçus pour cibler des mécanismes spécifiques des virus, tels que leur ADN,

leur ARN ou leurs protéines. Ils sont produits par des micro-organismes dans des environnements compétitifs pour les ressources. Les micro-organismes produisent des métabolites secondaires antiviraux pour éliminer les virus concurrents et assurer leur survie.

Les métabolites secondaires antiviraux ont une variété de structures et de mécanismes d'action. Par exemple, la ribavirine, un antiviral utilisé pour traiter l'hépatite C et d'autres infections virales, ressemble à l'adénosine, un nucléotide présent dans l'ADN et l'ARN. La ribavirine inhibe la réplication virale en perturbant la synthèse de l'ARN viral. Ils sont utilisés dans la recherche pour développer de nouveaux médicaments antiviraux.

Cependant, comme pour les antibiotiques et les antifongiques, l'utilisation excessive et inappropriée des antiviraux peut conduire à l'émergence de résistances virales. Les virus peuvent développer des mécanismes de résistance aux antiviraux par mutation ou acquisition de gènes de résistance par transfert horizontal de gènes.

*Voici quelques exemples d'antivirales microbiens :*

1. **L'interféron** : Il est produit par les cellules du système immunitaire en réponse à une infection virale. L'interféron active le système immunitaire pour lutter contre l'infection virale.
2. **La zidovudine** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces avermitilis*. La zidovudine est un antiviral utilisé dans le traitement du VIH.
3. **La ribavirine** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces species*. La ribavirine est un antiviral utilisé dans le traitement de l'hépatite C et d'autres infections virales.
4. **La tégobuvir** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces sp.* La tégobuvir est un antiviral utilisé dans le traitement de l'hépatite C.
5. **La trichostatine A** : Elle est produite par le champignon *Streptomyces hygroscopicus*. La trichostatine A est un antiviral qui inhibe la réplication du virus de l'herpès simplex.

❑ **Les anti-tumorales :**

Les métabolites secondaires produits par des micro-organismes ont également des propriétés anti-tumorales et sont utilisés dans la recherche pour développer de nouveaux médicaments anticancéreux. Les cellules cancéreuses sont des cellules qui se multiplient de manière incontrôlée et forment des tumeurs. Les métabolites secondaires anti-tumorales sont des substances qui inhibent la croissance et la prolifération des cellules cancéreuses, induisant ainsi leur mort. Ils sont produits par des micro-organismes dans des environnements compétitifs pour les ressources. Les micro-organismes produisent des métabolites secondaires anti-tumorales pour éliminer les cellules cancéreuses concurrentes et assurer leur survie. Les anti-tumorales ont une variété de structures et de mécanismes d'action. Par exemple, la doxorubicine, un médicament anticancéreux utilisé pour traiter plusieurs types de cancer, est produite par une souche de bactéries appelée *Streptomyces peucetius*. La doxorubicine interrompt le processus de réplication de l'ADN dans les cellules cancéreuses.

Cependant, comme pour les autres types de médicaments, l'utilisation excessive et inappropriée des médicaments anticancéreux peut conduire à des effets secondaires graves et à la résistance tumorale. Les cellules cancéreuses peuvent développer des mécanismes de résistance aux métabolites secondaires anti-tumorales par mutation ou acquisition de gènes de résistance par transfert horizontal de gènes.

Voici quelques exemples d'anti-tumorales microbiens :

1. **La doxorubicine** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces peucetius*. La doxorubicine est un antibiotique anthracycline qui agit en inhibant la réplication de l'ADN dans les cellules cancéreuses.
2. **La bleomycine** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces verticillus*. La bleomycine est un antibiotique glycopeptide qui agit en induisant des cassures dans l'ADN des cellules cancéreuses.

3. **La mitomycine C** : Elle est produite par la bactérie *Streptomyces caespitosus*. La mitomycine C est un antibiotique qui agit en inhibant la réplication de l'ADN dans les cellules cancéreuses.
4. **La paclitaxel** : Elle est produite par l'arbre du Pacifique, *Taxus brevifolia*, et par la bactérie *Streptomyces* sp. La paclitaxel est un alcaloïde qui agit en inhibant la division cellulaire des cellules cancéreuses.
5. **La camptothécine** : Elle est produite par l'arbre *Camptotheca acuminata* et par la bactérie *Streptomyces* sp. La camptothécine est un alcaloïde qui agit en inhibant la topoisomérase I, une enzyme nécessaire à la réplication de l'ADN dans les cellules cancéreuses.

❑ **Les anti-inflammatoires :**

Les métabolites secondaires produits par des micro-organismes ont également des propriétés anti-inflammatoires et sont utilisés dans la recherche pour développer de nouveaux médicaments anti-inflammatoires.

L'inflammation est une réponse normale du système immunitaire à l'infection ou à la blessure. Cependant, une inflammation chronique peut être nocive pour l'organisme, contribuant au développement de maladies chroniques telles que l'arthrite, les maladies cardiovasculaires et le cancer. Les métabolites secondaires anti-inflammatoires sont des substances qui réduisent l'inflammation en inhibant la production de médiateurs inflammatoires tels que les cytokines, les prostaglandines et les leucotriènes. Ils sont produits par des micro-organismes dans des environnements compétitifs pour les ressources. Les micro-organismes produisent des métabolites secondaires anti-inflammatoires pour réduire l'inflammation et prévenir les dommages causés par l'inflammation chronique. Ces substances ont une variété de structures et de mécanismes d'action. Par exemple, la curcumine, un composé trouvé dans le curcuma, est un métabolite secondaire anti-inflammatoire puissant utilisé dans la médecine traditionnelle indienne depuis des siècles. La curcumine inhibe la production de cytokines inflammatoires et régule l'activité de certaines enzymes impliquées dans l'inflammation.

Il existe de nombreux exemples de métabolites secondaires microbiens ayant des propriétés anti-inflammatoires. Voici quelques exemples :

1. **Les acides gras oméga-3** : Ces acides gras sont produits par des micro-organismes tels que les algues et les bactéries marines. Ils ont des propriétés anti-inflammatoires qui aident à réduire les symptômes de l'inflammation chronique.
2. **Les polyphénols** : Ces composés sont produits par des bactéries et des champignons et sont présents dans de nombreux aliments végétaux. Ils ont des propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes qui aident à réduire les dommages oxydatifs et l'inflammation.
3. **Les lipopolysaccharides (LPS)** : Ces composés sont produits par des bactéries intestinales et ont des propriétés anti-inflammatoires. Ils aident à réguler l'activité du système immunitaire en réduisant la production de cytokines pro-inflammatoires.
4. **Les microcystines** : Ces toxines sont produites par des cyanobactéries et ont des propriétés anti-inflammatoires. Elles agissent en inhibant l'activité des enzymes pro-inflammatoires dans le corps.
5. **Les triterpènes** : Ces composés sont produits par des champignons et des bactéries et ont des propriétés anti-inflammatoires. Ils aident à réduire l'inflammation en inhibant la production de cytokines pro-inflammatoires.
6. **Les polysaccharides** : Ces composés sont produits par des bactéries et des champignons et ont des propriétés anti-inflammatoires. Ils agissent en modulant l'activité du système immunitaire et en réduisant la production de cytokines pro-inflammatoires.

❑ **Les antioxydants :**

Les antioxydants sont des métabolites secondaires produits par des micro-organismes qui protègent les cellules contre les dommages oxydatifs causés par les radicaux libres. Les radicaux libres sont des molécules instables qui peuvent endommager les cellules et les tissus en volant des électrons d'autres molécules, créant ainsi une réaction en chaîne de dommages oxydatifs. Les antioxydants sont produits par des micro-organismes pour se protéger contre les radicaux libres générés par leur propre métabolisme ou par l'environnement. Ils peuvent également aider les micro-organismes à

survivre dans des conditions environnementales difficiles, telles que des niveaux élevés de rayonnement UV, d'oxygène ou de métaux lourds. Les antioxydants produits par des micro-organismes ont des structures chimiques variées et comprennent des composés tels que les caroténoïdes, les tocophérols, les flavonoïdes et les phénols. Ces composés ont des propriétés antioxydantes car ils peuvent neutraliser les radicaux libres en leur fournissant des électrons supplémentaires, sans devenir eux-mêmes des radicaux libres.

Les métabolites antioxydants sont également utilisés en médecine pour aider à réduire les dommages oxydatifs dans le corps et prévenir les maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, le cancer et les maladies neurodégénératives. Les aliments riches en métabolites antioxydants, tels que les fruits et légumes colorés, sont considérés comme bénéfiques pour la santé en raison de leur capacité à réduire les dommages oxydatifs dans le corps.

*Voici quelques exemples :*

1. **Les caroténoïdes** : Ces pigments sont produits par des bactéries, des champignons et des algues. Ils ont des propriétés antioxydantes qui aident à prévenir les dommages cellulaires causés par les radicaux libres.
2. **Les phénols** : Ces composés sont produits par des bactéries et des champignons. Ils ont des propriétés antioxydantes qui aident à protéger les cellules contre les dommages oxydatifs.
3. **Les tocophérols** : Ces composés sont produits par des bactéries et des champignons. Ils ont des propriétés antioxydantes qui aident à protéger les lipides contre l'oxydation.
4. **Les flavonoïdes** : Ces composés sont produits par des bactéries et des champignons. Ils ont des propriétés antioxydantes qui aident à protéger les cellules contre les dommages oxydatifs.
5. **Les acides phénoliques** : Ces composés sont produits par des bactéries et des champignons. Ils ont des propriétés antioxydantes qui aident à protéger les cellules contre les dommages oxydatifs.

6. **Les anthocyanes** : Ces pigments sont produits par des bactéries et des champignons. Ils ont des propriétés antioxydantes qui aident à protéger les cellules contre les dommages oxydatifs.

### **I.1.3. Métabolites issus de bioconversion :**

Les métabolites issus de bioconversion sont des molécules produites lors de processus de transformation biologique de certaines substances. Ces processus de bioconversion sont souvent effectués par des micro-organismes tels que des bactéries, des champignons ou des levures.

Les métabolites issus de bioconversion ont un large éventail d'applications dans des domaines tels que la médecine, l'agriculture et l'industrie alimentaire. Par exemple, certains métabolites produits par des micro-organismes peuvent avoir des propriétés antibactériennes ou antifongiques et peuvent donc être utilisés pour lutter contre les infections. D'autres métabolites peuvent être utilisés comme additifs alimentaires pour améliorer la saveur, l'odeur ou la texture des aliments.

De nombreux médicaments couramment utilisés, tels que les antibiotiques, les antifongiques et les immunosuppresseurs, sont également des métabolites issus de bioconversion. Ces métabolites sont souvent plus sûrs et plus efficaces que les médicaments de synthèse, car ils sont produits de manière naturelle.

### **I.1.4. Biomasse :**

La production commerciale de biomasse microbienne peut être divisée en deux grands processus : la production de levures destinées à l'industrie boulangère et la production de cellules microbiennes destinées à l'alimentation humaine ou animale (protéine monocellulaire). La levure de boulanger est produite à grande échelle depuis le début des années 1900 et la levure a été produite comme aliment humain en Allemagne pendant la Première Guerre mondiale. Cependant, ce n'est que dans les années 1960 que la production de biomasse microbienne comme source de protéines alimentaires a été explorée en profondeur. À la suite de ces travaux, brièvement passés en revue au chapitre 2, quelques procédés continus à grande échelle pour la production d'aliments pour animaux ont été mis en place dans les années 1970. Ces procédés étaient basés sur des matières premières d'hydrocarbures, qui ne pouvaient pas concurrencer d'autres aliments pour animaux à haute teneur



en protéines, ce qui a entraîné leur fermeture à la fin des années 1980. Cependant, la disparition de la fermentation de la biomasse des aliments pour animaux a été compensée en établissant un procédé de production de biomasse fongique pour l'alimentation humaine. Ce processus était basé sur une plate-forme économique plus stable et a été un succès économique significatif.

## **1.2. Bio-fonctionnalité :**

### **1.2. 1. Pouvoir acidifiant :**

Le pouvoir acidifiant fait référence à la capacité d'un aliment ou d'une boisson à augmenter l'acidité du sang lorsqu'il est métabolisé par le corps. Les aliments et les boissons peuvent être classés en fonction de leur pouvoir acidifiant ou alcalinisant, également connu sous le nom de potentiel d'acidification alimentaire (PA).

Les aliments qui ont un pouvoir acidifiant élevé contiennent des acides organiques tels que l'acide sulfurique, l'acide phosphorique et l'acide chlorhydrique, qui produisent des ions hydrogène (H<sup>+</sup>) lorsqu'ils sont métabolisés par le corps. Ces ions H<sup>+</sup> peuvent abaisser le pH du sang et provoquer une acidose métabolique, qui est une condition médicale potentiellement dangereuse caractérisée par une acidité excessive du sang.

### **1.2. 2. Pouvoir aromatisant :**

Le pouvoir aromatisant est la capacité d'une substance à donner de la saveur et de l'arôme à un aliment ou une boisson. Les substances qui ont un pouvoir aromatisant sont souvent utilisées comme ingrédients dans les aliments et les boissons pour améliorer leur goût et leur odeur. Les substances aromatisantes peuvent être d'origine naturelle ou synthétique. Les exemples d'arômes naturels comprennent les extraits de fruits, les huiles essentielles et les épices. Les arômes synthétiques, quant à eux, sont produits en laboratoire à partir de composés chimiques. Les arômes peuvent être ajoutés à une variété d'aliments et de boissons, y compris les boissons gazeuses, les confiseries, les produits de boulangerie, les produits laitiers, les plats cuisinés, les sauces et les collations. Les arômes peuvent également être utilisés pour masquer des goûts ou des odeurs indésirables dans les aliments.

Les arômes sont réglementés par les gouvernements afin de garantir qu'ils sont sans danger pour la consommation humaine. Les producteurs d'arômes doivent se conformer à des normes strictes pour garantir la sécurité de leurs produits.

### **1.2. 3. Pouvoir gazogène :**

Le pouvoir gazogène est la capacité d'une substance à produire du gaz lorsqu'elle est métabolisée par le corps. Les aliments et les boissons peuvent être classés en fonction de leur pouvoir gazogène, également connu sous le nom de potentiel de production de gaz (PPG). Les aliments qui ont un pouvoir gazogène élevé contiennent des hydrates de carbone qui ne sont pas facilement digestibles par l'organisme. Lorsque ces hydrates de carbone atteignent le gros intestin, ils sont fermentés par les bactéries présentes dans le microbiote intestinal, produisant ainsi des gaz tels que le méthane, le dioxyde de carbone et l'hydrogène. Ces gaz peuvent entraîner des ballonnements, des flatulences et d'autres troubles gastro-intestinaux chez certaines personnes. Les aliments qui ont un pouvoir gazogène faible, en revanche, sont plus facilement digestibles et produisent moins de gaz lorsqu'ils sont métabolisés par l'organisme.

Il convient de noter que le pouvoir gazogène des aliments peut varier considérablement d'une personne à l'autre en fonction de la composition individuelle du microbiote intestinal. Par conséquent, les aliments qui ont un pouvoir gazogène élevé pour une personne peuvent ne pas avoir le même effet sur une autre personne.

### **1.2. 4. Pouvoir texturant :**

Le pouvoir texturant est un élément crucial de l'industrie alimentaire qui affecte la texture, l'apparence et la sensation en bouche des aliments transformés.

Le pouvoir texturant est composé d'une série d'additifs alimentaires, qui modifient les propriétés physiques de la nourriture en réduisant ou en augmentant la viscosité, la densité, ou la cohésion.

Le pouvoir texturant est utilisé pour créer des textures dans les aliments qui ne seraient normalement pas présentes. Les substances qui constituent le pouvoir texturant sont classées selon leur origine et leur fonction. Nous pouvons traiter la texture des aliments en utilisant une gamme d'additifs différents selon l'aliment concerné.

**A. Les différents types de pouvoirs texturants :**

***Les émulsifiants :***

- Amélioration de la texture des crèmes et sauces
- Facilitation de l'incorporation de l'eau et des huiles

***Les agents gélifiants :***

- Gélification solide ou semi-solide
- Stabilisation de l'eau et des matières grasses

***Les agents d'enrobage :***

- Amélioration de la texture de la croûte des aliments panés
- Protection de la surface des aliments contre des facteurs extérieurs

**B. Le pouvoir texturant dans l'industrie alimentaire :**

- Utilisé pour améliorer la texture des produits laitiers
- Amélioration de la texture du pain et des pâtisseries
- Augmentation de la sensation de satiété
- Permettent une réduction des coûts de production
- Réduction des importations de gluten
- Amélioration de la saveur et de la texture

**I.2. 5. Pouvoir antagoniste :**

Le pouvoir antagoniste est un concept clé en pharmacologie. Les médicaments antagonistes sont des substances qui se lient aux récepteurs cellulaires sans déclencher de réponse physiologique. Ils s'opposent ainsi aux effets des agonistes, qui activent les récepteurs. Le pouvoir antagoniste est impliqué dans de nombreux processus essentiels pour la santé humaine.

Le pouvoir antagoniste est la mesure de la capacité d'une substance à s'opposer aux effets d'une autre substance. En pharmacologie, cela se réfère aux médicaments antagonistes, qui bloquent l'action des agonistes en se liant aux récepteurs cellulaires sans activer de réponse.

### **1.2.6. Propriétés probiotiques :**

Les probiotiques sont des microorganismes vivants qui peuvent être bénéfiques pour la santé. Ils sont présents dans les aliments fermentés et les suppléments alimentaires. Ils ont été populaires dans les régimes alimentaires depuis des siècles dans le monde entier.

#### **A. Les bienfaits pour la santé des probiotiques :**

##### **Améliore la santé intestinale :**

Les probiotiques aident à maintenir un microbiome intestinal sain. Cela réduit les symptômes de ballonnements et de gaz et peut améliorer la digestion.

##### **Renforce le système immunitaire :**

Les probiotiques peuvent stimuler le système immunitaire en réduisant le risque d'infections bactériennes et virales courantes.

##### **Améliore la santé globale :**

Les probiotiques peuvent réduire l'inflammation, stimuler la production de vitamines, réduire l'anxiété et améliorer la santé mentale globale.

##### **Prévention des infections :**

Certains types de probiotiques peuvent aider à prévenir les infections en empêchant les bactéries pathogènes de se fixer à la muqueuse intestinale.

##### **Réduction de l'inflammation :**

Les probiotiques peuvent aider à réduire l'inflammation dans le corps en régulant les réponses immunitaires.

##### **Amélioration de la santé mentale :**

Il existe des preuves émergentes suggérant que les probiotiques peuvent jouer un rôle dans l'amélioration de la santé mentale en réduisant l'anxiété et la dépression.

#### **B. Propriétés des probiotiques :**

Il est important de noter que les effets des probiotiques peuvent varier en fonction de la souche bactérienne spécifique, de la dose et de l'état de santé individuel. Le tableau ci-dessous présente quelques exemples de fonctionnement de quelques probiotiques .

**Tableau 5 :** Exemples de probiotiques et leurs fonctionnements

<b>Les probiotiques :</b>	<b>Fonctionnement :</b>
<b>Bifidobacterium lactis</b>	Renforce le système immunitaire
<b>Lactobacillus acidophilus</b>	Améliore la digestion des produits laitiers
<b>Streptococcus thermophilus</b>	Stimule la production de vitamines B
<b>Lactobacillus rhamnosus GG</b>	Réduit les symptômes du syndrome du côlon irritable

---

**C. Sources alimentaires de probiotiques :**

- Le yaourt fait maison aux baies est une excellente source de probiotiques.
- Le choucroute et le kimchi sont des aliments fermentés sains riches en probiotiques.
- Les cornichons, les olives et les légumes marinés contiennent des probiotiques et sont des options de collations saines.

# ***Chapitre 2 :***

---

## ***Application technologiques***



## Introduction :

Les métabolites primaires sont des composés organiques essentiels au métabolisme des plantes et des animaux. Ils sont produits par les voies métaboliques de base impliquées dans la production d'énergie et la synthèse des biomolécules. Contrairement aux métabolites secondaires, ils sont présents dans toutes les cellules et tissus.

Les métabolites primaires ont des fonctions biologiques variées, allant de la production d'énergie à la construction de nouvelles cellules. Ils sont également impliqués dans la régulation des processus métaboliques et dans la réponse aux stress environnementaux.

**Tableau 6** : Exemples de métabolites primaires et leurs fonctions

Métabolite primaire	Fonction
Glucose	Produire de l'énergie
Fructose	Produire de l'énergie
Acides aminés	Synthèse de protéines
Lipides	Synthèse de membranes cellulaires
Nucléotides	Synthèse d'ADN et d'ARN
Acides gras	Stockage d'énergie
Pigments	Protection contre les dommages oxydatifs

## II.1. Application de métabolites primaires:

### II.1. 1. La fermentation lactique:

La fermentation lactique est une réaction chimique entre des bactéries et du lait. Les ferments se développent au profit du lactose (glucide du lait) et ils provoquent ainsi la formation d'acide lactique qui fait lentement coaguler la caséine. La fermentation est arrêtée par la mise au réfrigérateur.

En présence de lactase, enzyme sécrétée par les bactéries lactiques, le lactose est hydrolysé en glucose et galactose, puis le glucose est transformé à son tour en acide lactique selon les équations suivantes :

Cette réaction est favorisée à une température de 45°C. Plus on laisse le lait fermenter longtemps plus le pH diminue, car la quantité d'acide lactique augmente et la solution devient donc plus acide.

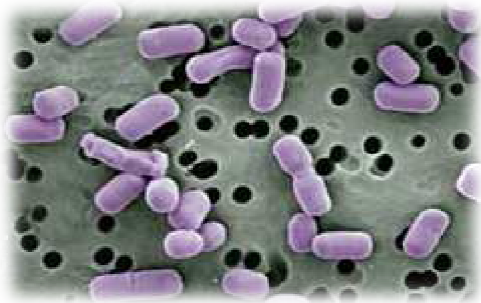


### Transformation des glucides du lait : Changements chimiques

Le lactose est présent exclusivement dans le lait et dans les produits laitiers. Son taux est de 45 g/L dans le lait de vache. Il est composé de deux molécules : une de glucose et une de galactose. Pour pouvoir être absorbé par le système digestif, il doit être scindé en deux par une enzyme, la lactase.

Le lactose est le produit nutritif des bactéries lactiques qui le transformeront en acide lactique. Une fois le milieu acidifié, les protéines du lait coagulent : c'est le caillé.

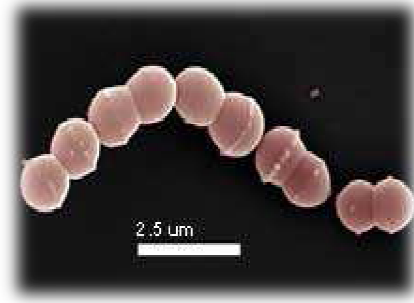
Les bactéries lactiques sont également responsables de la production de composés aromatiques qui contribuent à l'arôme des produits. Ces molécules sont des acides non volatils (acides lactique, pyruvique) et volatils (acides formique, acétique, butyrique) ou des composés carbonylés (acétaldéhyde, acétoïne, diacétyl).



*Lactobacillus bulgaricus*



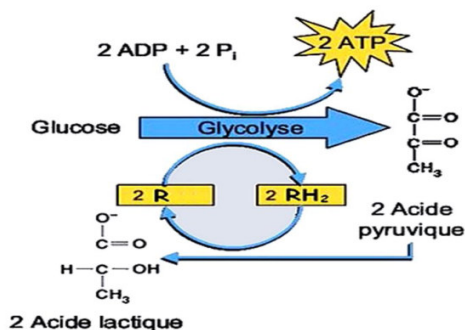
**Apporte au yaourt son acidité**



*Streptococcus thermophilus*



**Développe les arômes**



**Figure 5 : Bactéries lactiques et leur rôle dans la fermentation**



## II.1. 2. Fromage :

### 1. Histoire du fromage :

Il y a sept mille ans, les sacs utilisés pour transporter le lait étaient faites de l'estomac de certains animaux. On avait remarqué que le lait se transformait en une substance à moitié solide. Nous savons maintenant que c'est **la présure** produite dans l'estomac des animaux qui cause le caillage du lait. De nos jours, la présure — préparée maintenant en laboratoire — est encore un des ingrédients de nombreux fromages.

### 2. Définitions:

Le fromage est un aliment moulé, obtenu à partir de la coagulation du lait. Il est riche en calcium. On le fabrique à partir de lait de vache principalement, mais aussi de brebis, de chèvre, de bufflonne.

« Le fromage est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi-dure, dure ou extra-dure, qui peut être enrobé et dans lequel le rapport lactosérum/caséine ne dépasse pas celui du lait, et qui est obtenu : par coagulation complète ou partielle du lait grâce à l'action de présure; tout en respectant le principe selon lequel la fabrication du fromage entraîne la concentration des protéines du lait ou par l'emploi de techniques de fabrication entraînant la coagulation des protéines du lait ».

### 3. Les différents types des fromages :

Les fromages sont regroupés d'abord en trois catégories selon le type de coagulation :

**Tableau 7** : Classification des fromages selon de le type de coagulation

Fromage de type lactique	Fromage de type présure	Fromage de type mixte
Obtenus par <b>coagulation biologique</b> appelé aussi coagulation lactique ou coagulation par acidification. -Ce sont des fromages à pâte fraîche. -ils sont fabriqués à une température qui va de 16 à 23°C. -Ce type de fromage demande pour sa fabrication 3 à 10 ml de présure pour 100 L de lait.	Obtenus par <b>coagulation chimique</b> appelé aussi coagulation par l'action des enzymes (la présure). -Ce sont des fromages à pâte pressée, à pâte ferme cuite et à pâte ferme non cuite. -ils sont fabriqués à une température qui va de 34 à 40°C. -Ce type de fromage demande pour sa fabrication 25 à 35 ml de présure pour 100 L de lai	Obtenus par <b>coagulation chimique et par coagulation biologique</b> . de manière équivalente. -Ce sont des fromages à pâte molle. -Ils sont fabriqués à une température de 28 à 37°C. -Ce type de fromage demande pour sa fabrication 15 à 25 ml de présure pour 100 L de lait.

## **II.2. Application de métabolites secondaires:**

Les métabolites secondaires sont des molécules produites par les organismes vivants qui ne sont pas directement impliquées dans leur croissance et leur développement. Dans cette partie, nous allons explorer les sources, les rôles biologiques et les différentes applications des métabolites secondaires.

### **II.2.1. Sources de métabolites secondaires :**

Les métabolites secondaires sont produits par les plantes, les animaux, les bactéries et les champignons. Les plantes sont considérées comme la source la plus importante de métabolites secondaires avec environ 200 000 composés identifiés. Les bactéries sont également une source importante de métabolites secondaires, en particulier les Streptomyces, qui produisent environ deux tiers de tous les antibiotiques connus.

### **II.2.2. Rôles biologiques des métabolites secondaires :**

Les métabolites secondaires sont des molécules produites par les organismes vivants, en particulier les plantes et les micro-organismes, qui ne sont pas directement impliquées dans les fonctions métaboliques de base, telles que la croissance et la reproduction. Voici quelques rôles biologiques importants des métabolites secondaires :

#### **A. Défense**

Les métabolites secondaires sont souvent utilisés par les organismes pour se protéger contre les prédateurs et les maladies. Par exemple, les alcaloïdes présents dans les plantes peuvent être toxiques pour les herbivores ou agir comme des insecticides naturels.

#### **A. Communication et Interactions entre espèces :**

Les métabolites secondaires peuvent jouer un rôle dans la communication entre les organismes, en particulier chez les animaux. Par exemple, la phéromone produite par les insectes peut être utilisée pour attirer un partenaire ou pour marquer un territoire. Et certains métabolites secondaires sont utilisés pour attirer ou repousser les insectes pollinisateurs ou les animaux qui dispersent les graines.

#### **B. Métabolisme**

Les métabolites secondaires peuvent également être impliqués dans des processus métaboliques critiques pour la survie des organismes. Par exemple, la chlorophylle est un métabolite secondaire essentiel pour la photosynthèse chez les plantes.

---

**C. Protection contre les conditions environnementales défavorables :**

Certains métabolites secondaires, tels que les pigments, peuvent aider à protéger les organismes contre les rayonnements UV nocifs et d'autres conditions environnementales défavorables.

**D. Médicaments et produits pharmaceutiques :**

De nombreux métabolites secondaires ont des propriétés médicinales et sont utilisés pour traiter une variété de maladies, telles que la morphine pour la douleur et la quinine pour le traitement du paludisme.

**E. Produits chimiques industriels :**

Certains métabolites secondaires, tels que les terpènes, sont utilisés dans la fabrication de produits chimiques industriels tels que les parfums, les additifs alimentaires et les carburants.

**II.2.3. Applications médicales des métabolites secondaires :**

**Tableau 8 :** Exemples des applications médicales des métabolites secondaires

Métabolite secondaire	Application médicale
Pénicilline	Antibiotique utilisé pour traiter les infections bactériennes.
Taxol	Médicament utilisé dans le traitement du cancer.
Morphine	Analésique utilisé pour soulager la douleur.
Artemisinine	Utilisé pour traiter le paludisme.

**II.2.4. Exemple d'application médicale de métabolite secondaire: Production d'ATB**

**1. Généralités**

**1.1. Définition**

On appelle Antibiotique, toute substance élaborée par un microorganisme capable de tuer (effet bactéricide) ou d'inhiber (effet bactériostatique) la multiplication d'autres micro-organismes.

**1.2. Mécanisme d'action :**

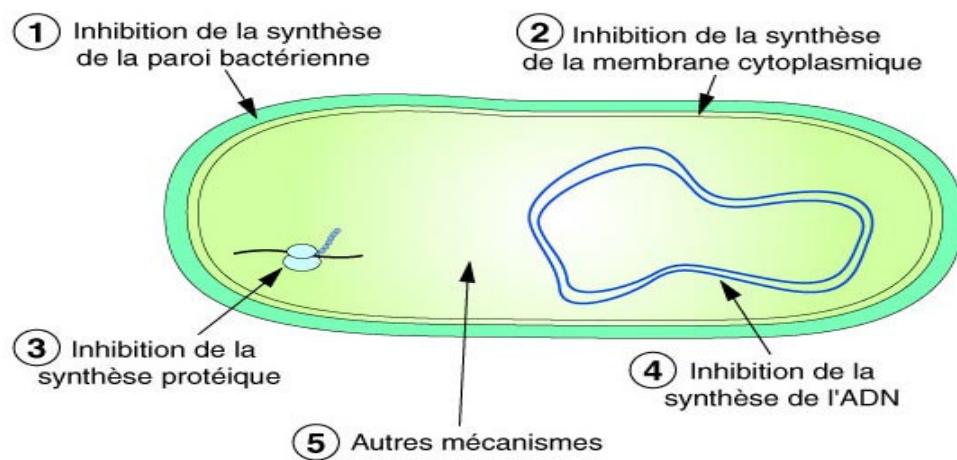
Les antibiotiques agissent à un niveau précis des structures bactériennes dénommé « site d'action ».

**Les 4 cibles principales sont :**

- ✓ La paroi : inhibition de la synthèse de la paroi bactérienne
- ✓ La membrane cytoplasmique
- ✓ Le chromosome
- ✓ Le ribosome

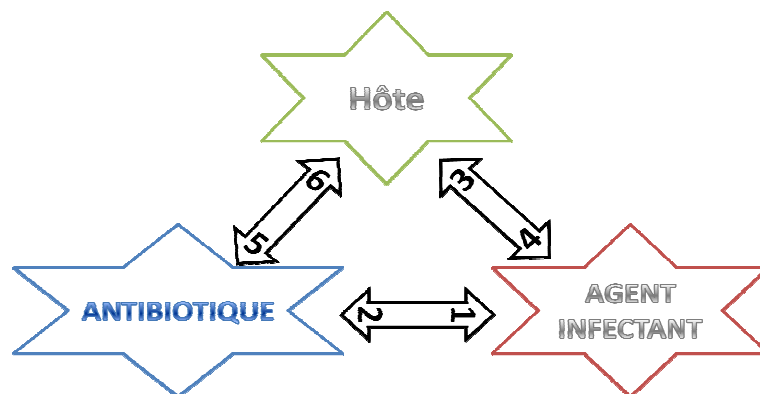
Dans certaines situations cliniques, l'association de 2 antibiotiques ayant des sites d'action distincts sur la bactérie permet d'obtenir une meilleure efficacité thérapeutique.

❑ **Schéma du mode d'action des ATB :**



**Figure 6 :** Mode d'action des ATB sur la bactérie

❑ **Les rapports entre malade, bactérie et antibiotique :**



1 : Mode d'action de l'antibiotique. (Pharmacodynamie).

2 : Résistance de l'agent infectant à l'antibiotique.

3 : Pouvoir pathogène de l'agent infectant.

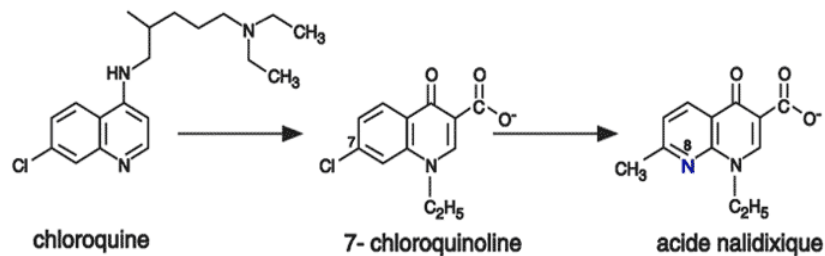
4 : Défenses de l'hôte contre l'agent infectant.

5 : Pharmacocinétique. (Absorption, distribution, transformation et élimination)

6 : Toxicité.

### 1.3. Origine des antibiotiques :

- Bactéries du sol : *Streptomyces* - *Actinomyces* (2/3), *Bacillus*, *Pseudomonas*
- Les moisissures: *Penicillium* et *Aspergillus*, genres appartenant à l'ordre des actinomycètes
- Rarement issues de pure synthèse : ex. quinolones à partir de (1962)



**NB :** Actuellement, les antibiotiques sont très souvent obtenus par semi-synthèse.

### 1.4. La classification des antibiotiques:

Cette classification repose sur des **propriétés physico-chimiques** communes à chacune de ces molécules. A l'intérieur de chaque famille, les **propriétés pharmacologiques** et **antibiotiques** peuvent varier d'un dérivé à l'autre.

1. **Les bêta-lactamines**
2. **Les amino-glycosides**
3. **Les phénicolés**
4. **Les tétracyclines**
5. **Les macrolides et apparentés**
6. **les rifamines**
7. **Les polypeptidiques**
8. **Des substances diverses**
9. **Les sulfamides**
10. **Les antibiométriques**

## 2. Fabrication des antibiotiques

Aujourd'hui, la fabrication des antibiotiques se caractérise par trois conditions. Ces trois conditions doivent être respectées pour pouvoir produire l'antibiotique à grande échelle.

1. L'antibiotique doit couvrir un large spectre d'action.
2. On doit s'assurer de sa pharmacocinétique, c'est-à-dire absence d'effets secondaires néfastes sur l'organisme, ou que le rapport bénéfice / risque soit positif.
3. On doit s'assurer que sa fabrication est rentable (Intérêt économique).

### 2.1. Préparation de l'inoculum

L'inoculum est l'ensemble de la biomasse nécessaire pour ensemercer un fermenteur de production de grande capacité. Sa préparation est basée sur la mise en culture de souches génétiquement modifiées, il convient donc de bien conserver les souches et de bien les propager.

*NB : La propagation consiste en une série de cultures appelée « pré culture » dans des milieux de volume croissant.*



### 2.2. Mise en œuvre de la culture de production

#### ❑ Mode de culture :

Les procédés de production font appel au mode de culture discontinu ou au mode semi-continu (Voir Partie 3 de ce chapitre).

- ❖ **En mode discontinu:** La production se poursuit jusqu'à épuisement du milieu en précurseur de biosynthèse ou jusqu'à l'apparition de conditions physiologiques défavorables.

- ❖ **En mode semi continu:** La production peut se poursuivre par apport progressif de ces sources de précurseurs ce qui impose un contrôle rigoureux de la concentration des éléments nécessaires.

#### ❑ **Composition et préparation du milieu**

- Le milieu de production doit permettre d'assurer une importante croissance pour conduire à une concentration élevée en cellule au moment de la production.
- Il doit assurer ensuite la maintenance de la vitalité des cellules et la production optimisée de l'antibiotique.
- Il doit de ce fait fournir des sources d'énergie et assurer les conditions physico-chimiques désirées (pH, T°, oxygénation).
- Phase de Croissance : Des sources d'énergie rapidement catabolisables assurant une croissance rapide, par exemple: glucose
- Phase de production : Des sources d'énergie et de carbone lentement catabolisables (lactose, pour la production de la pénicilline ; dextrine ou amidon pour la production de Macrolides).

### **2.3. Extraction et purification**

A l'issus de la fermentation, l'antibiotique est présent à des concentrations relativement faibles dans un mélange polyphasique complexe comprenant la biomasse, les éléments du milieu et de nombreux métabolites.

Les étapes d'extraction et de purification représentent une part importante devant la diversité des organismes producteurs, des milieux de production et des propriétés physicochimiques des antibiotiques :

- 1. Séparation liquide-solide :** Cette étape de séparation se fait par décantation, filtration ou surtout centrifugation.
- 2. Extraction primaire:** Une extraction par un solvant approprié est effectuée après traitement par un acide ou une base afin d'obtenir une forme ionique de l'antibiotique.
- 3. Purification:** Elle fait appel à des techniques plus raffinées que pour l'extraction de façon à éliminer spécifiquement les impuretés en jouant sur leurs propriétés comparées à celles de l'antibiotique.

Elle se fait soit par:

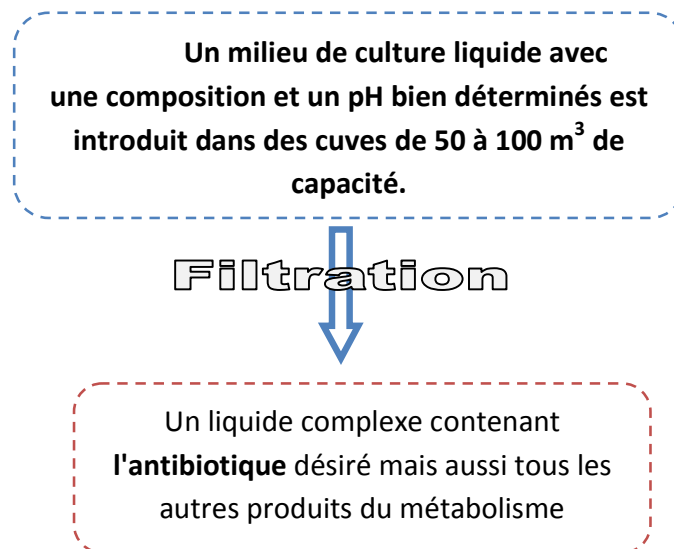
- ❖ *Extraction liquide-liquide*
- ❖ *Membrane de type ultra ou nanofiltration ou de gel filtration.*
- ❖ *Séparations chromatographiques*

**Exemple: Production de la pénicilline**

Deux étapes pour la production de la pénicilline:

1. **La fermentation du champignon (penicillium ):**

(A partir de cette étape, nous obtenons la pénicilline naturelle)



Ensuite, l'antibiotique ainsi obtenu qui est convenablement desséché à basse température, doit être soumis aux essais imposés par le **codex** : diverses réactions et divers titrages, opérés grâce à des techniques chimiques ou biologiques, visant à enlever les **impuretés** notamment les substances **pyrogènes** et les **histamines**.



## 2. La seconde étape : l'hémisynthèse:

A pour objectif de développer différentes pénicillines afin de remplacer certains antibiotiques antérieurs devenus inefficaces à la suite de développement de résistances ou d'élargir le spectre d'action de certaines pénicillines.

**NB :** La modification chimique d'un précurseur biologique de la pénicilline a permis la synthèse d'un grand nombre de pénicillines semi-synthétiques.

### 4.3. Les facteurs influençant la production des antibiotiques :

#### 1. La composition du milieu :

Les milieux doivent permettre de fournir sans limitation les précurseurs nécessaires aux synthèses des antibiotiques tout en évitant ces phénomènes de répression et d'inhibition.

#### 2. Les conditions de culture:

<b>PH</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• De faibles variations de PH peuvent avoir des effets marqués sur la productivité de la souche.</li></ul>
<b>La température</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Les températures optimales pour la production sont situées dans des zones souvent étroites</li></ul>
<b>L'aération</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toutes les productions des antibiotiques se déroulent dans les conditions aérobies</li></ul>

**NB :** La production de céphalosporine augmente alors que celle de la pénicilline N diminue si la concentration en oxygène est élevée.

#### 4.4. Amélioration du rendement par modification des souches :

Les stratégies d'améliorations ont pour objectifs **l'augmentation** de la concentration finale du produit, et la **réduction** de la production *des métabolites indésirables*.

Pour l'amélioration, ils sont utilisés:

##### La mutagénèse aléatoire

- La mutagénèse induit des modifications génétiques au sein du génome sans la localisation de ces derniers puisse à priori être connues .
- Se réalise par action des agents mutagènes de nature physique ou chimique (rayonnement UV,  $\gamma$ , X )

##### Le génie métabolique

- C'est l'amélioration des potentialités d'une cellule par la manipulation de fonctions enzymatiques bien ciblées, grâce à l'emploi de la technologie de l'ADN recombiné.

#### II.2.4. Applications industrielle des métabolites secondaires :

##### A. Colorants :

Les métabolites secondaires peuvent être utilisés pour produire des colorants naturels et durables. Par exemple, l'indigo est extrait des plantes et utilisé pour teindre les tissus.

##### B. Arômes et parfums :

Les métabolites secondaires peuvent également être utilisés pour produire des arômes naturels et des parfums. Les terpènes, présents dans les plantes et les fruits, sont souvent utilisés pour leur parfum agréable.

##### C. Biocarburants :

Les métabolites secondaires peuvent être utilisés pour produire des biocarburants durables. Par exemple, certains types de bactéries produisent des biocarburants à partir de métabolites secondaires tels que la cellulose.

### **II.2.5. Stratégies de découverte de nouveaux métabolites secondaires :**

Le criblage d'échantillons naturels, tels que des plantes, des bactéries et des champignons, est une méthode courante de découverte de nouveaux métabolites secondaires. Les techniques d'analyse avancées telles que la chromatographie liquide à haute performance couplée à la spectrométrie de masse peuvent être utilisées pour séparer les composés et identifier les nouvelles structures. Des méthodes de génie génétique peuvent également être utilisées pour identifier de nouveaux métabolites secondaires.

### **II.2.6. Limitations et défis de l'application de métabolites secondaires :**

#### **A. Coût élevé**

Il peut être coûteux et difficile d'isoler et de caractériser de nouveaux métabolites secondaires à partir d'un échantillon naturel.

#### **B. Différences entre les souches**

La quantité et la diversité des métabolites secondaires produits peuvent varier considérablement d'une souche à l'autre, ce qui peut rendre leur étude difficile.

#### **C. Échec de la découverte**

Le criblage d'échantillons naturels peut ne pas aboutir à la découverte de nouveaux métabolites, ou peut conduire à la redécouverte de composés déjà connus.

### **II.3. Application de métabolites de bioconversion :**

#### **II.3.1. La bioconversion: définition et principes fondamentaux**

La bioconversion est un processus de transformation qui utilise des micro-organismes pour convertir les matières premières en produits désirables. Elle est basée sur les enzymes, les cultures microbiennes et les facteurs environnementaux tels que le pH et la température. Cette technique permet d'obtenir des produits hautement spécifiques à moindre coût et de manière durable.

#### **II.3.2. Les métabolites: types et caractéristiques**

##### **A. Primaires**

Les métabolites primaires sont produits par les cellules pour assurer leur croissance et leur développement. Ils comprennent les acides aminés, les sucres, les acides gras et les nucléotides.

##### **B. Secondaires**

Ce sont des métabolites produits par les organismes pour leur propre survie. Ils ont des applications industrielles importantes, comme les médicaments, les pesticides et les colorants naturels.

### C. Tertiaires

Les métabolites tertiaires sont des composés synthétiques modifiés par l'homme à partir des métabolites secondaires.

#### II.3.3. Les avantages de l'application de métabolites de bioconversion :

##### A. Rendement élevé

Les processus de bioconversion permettent d'obtenir des rendements élevés de produits désirables grâce à l'utilisation de micro-organismes et d'enzymes spécifiques.

##### B. Écologique

Ce processus est non toxique pour l'environnement car il utilise des organismes vivants pour effectuer les réactions chimiques.

##### C. Plus rentable

La bioconversion est un processus économique, car elle permet d'économiser de l'énergie, des coûts de production et fournit des produits naturels de haute qualité à moindre coût.

#### II.3.4. Processus de bioconversion: étapes et méthodes :

La bioconversion implique plusieurs étapes, y compris la recherche et la sélection de micro-organismes appropriés, l'optimisation des conditions de culture, la fermentation et la purification du produit final. Elle peut être effectuée à petite ou grande échelle et utilise une variété d'outils et de technologies telles que la biologie moléculaire, la métabolomique et la protéomique.

#### II.3.5. Applications de la bioconversion dans l'industrie alimentaire :

Les bioconversions sont utilisés dans la production d'aliments fermentés et dans le développement de cultures agricoles résistantes aux maladies.

**Tableau 8 :** Exemples des applications alimentaires des bioconversions

Type de produit	Microorganismes utilisés	Résultats
Fromages	Lactobacillus, Streptococcus	Processus de fermentation contrôlé pour plus de saveur et de texture.
Aliments fonctionnels	Bifidobacterium, Lactobacillus	Les bactéries bénéfiques colonisent l'intestin et sont associées à de nombreux bénéfices pour la santé.
Substituts de viande	Rhizopus oligosporus, Aspergillus oryzae	Des champignons utilisés pour produire des analogues de viande savoureux et nutritifs.

### **II.3.6. Applications de la bioconversion dans l'industrie pharmaceutique :**

#### **A. Production de médicaments**

Les métabolites secondaires peuvent être utilisés pour produire des médicaments comme la pénicilline, les antimicrobiens et les antifongiques naturels.

#### **B. Production de vaccins**

Les micro-organismes peuvent être modifiés pour produire des molécules complexes comme les vaccins, augmentant leur efficacité et leur sécurité.

#### **C. Contrôle qualité**

La bioconversion peut être utilisée pour identifier les contaminants dans les médicaments ainsi que pour caractériser et purifier les molécules.

### **II.3.7. Perspectives futures et défis pour l'application de métabolites de bioconversion :**

Alors que les scientifiques continuent de découvrir des micro-organismes et des métabolites de plus en plus exotiques, il y a encore des défis à relever pour rendre les processus de bioconversion plus rentables et plus efficaces. Néanmoins, les avantages sont clairs et la perspective d'un avenir plus respectueux de l'environnement et plus sain est prometteuse.

## **II.4. Biotechnologie dans le monde et en Algérie :**

La biotechnologie est un domaine de la science qui vise à développer des produits et services en utilisant des organismes vivants ou leurs composantes. Cette discipline connaît une croissance rapide à travers le monde, offrant des opportunités tant pour les individus que pour les entreprises.

### **II.4. 1. État de l'art de la biotechnologie dans le monde :**

La biotechnologie est un domaine en constante évolution qui offre des solutions innovantes et des traitements pour de nombreuses maladies telles que la maladie d'Alzheimer, les maladies cardiovasculaires, les troubles auto-immunes et les cancers. Les principales tendances actuelles dans ce domaine sont la génomique, la médecine régénérative, la biologie synthétique, et la biotechnologie environnementale.

### **II.4. 2. Applications pratiques de la biotechnologie :**

#### **A. Santé humaine**

Les vaccins, les médicaments, et les thérapies géniques sont développés grâce à la biotechnologie.

### **B. Agriculture**

Les techniques de biotechnologie peuvent améliorer les rendements, la qualité des plantes, et réduire les pertes dues aux maladies et aux ravageurs.

### **C. Environnement**

La biotechnologie permet de dépolluer les sols et les eaux, de lutter contre le changement climatique et de produire des biocarburants.

## **II.4. 3. Perspectives d'avenir et développement de la biotechnologie mondiale :**

### **A. Génétique de précision**

La biotechnologie permettra de créer des médicaments personnalisés adaptés à chaque individu.

### **B. Intelligence Artificielle**

Les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent aider les chercheurs à découvrir de nouvelles applications biotechnologiques.

### **C. Essor des "biobanques"**

Les banques de données génétiques deviennent de plus en plus importantes pour la recherche et le développement de nouvelles thérapies.

## **II.4. 4. La place de l'Algérie dans la biotechnologie :**

L'Algérie est un pays d'Afrique du Nord avec une forte tradition dans les sciences et la médecine, mais elle a du mal à se faire une place dans le domaine de la biotechnologie. Les raisons comprennent le manque d'investissement, le manque d'expertise et une mauvaise politique de propriété intellectuelle.

## **II.4. 5. Initiatives et réalisations biotechnologiques en Algérie :**

### ***Laboratoires de recherche en biotechnologie***

Plusieurs universités algériennes ont établi des centres de recherche en biotechnologie, tels que le Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBT).

**Production de médicaments génériques**

L'Algérie est l'un des rares pays africains à produire des médicaments génériques.

**Exploitation de micro-organismes**

L'Algérie a une richesse en micro-organismes qui peuvent être exploités pour la production de biopesticides, d'enzymes, et d'autres produits.

**II.4. 6. Défis et opportunités pour la biotechnologie en Algérie :**

L'Algérie a un potentiel important pour la biotechnologie, mais il est essentiel de surmonter les défis tels que le manque de financement, le manque de personnel qualifié et le manque d'infrastructures. Les opportunités comprennent la production de médicaments, les produits pharmaceutiques, les biocarburants, et les applications environnementales.

**II.4. 7. Axes d'amélioration pour développer la biotechnologie en Algérie :**

Le tableau 3 ci-dessous représente les axes de développement de la filière en Algérie.

**Le tableau 9 : Axes d'amélioration de la biotechnologie en Algérie**

<b>Investissement</b>	Plus d'investissement dans la recherche et le développement de la biotechnologie.
<b>Formation</b>	Amélioration de la qualité de la formation pour produire plus de scientifiques et d'experts en biotechnologie.
<b>Politique de Propriété Intellectuelle (PPI)</b>	Une politique de PPI claire pour encourager les investissements étrangers, les innovations et la commercialisation des produits.

# ***Chapitre 3 :***

---

## ***OGM Microbiens***





**Introduction :**

Les organismes génétiquement modifiés microbiens (OGM microbiens) sont des micro-organismes tels que les bactéries et les levures qui ont été modifiés génétiquement pour produire des produits utiles dans diverses applications telles que la production de médicaments, de carburants et d'aliments. Cependant, pour garantir l'innocuité environnementale et sanitaire des OGM microbiens, une caractérisation approfondie est nécessaire.

**III.1. Définition :**

Les OGM microbiennes sont des organismes vivants dont le matériel génétique a été modifié à l'aide de techniques de génie génétique pour atteindre un objectif spécifique.

**III.2. Les différentes applications des OGM microbiennes :**

**Environnement**

Les OGM microbiennes sont utilisés pour dégrader les résidus pétroliers et dépolluer les eaux usées. Ils permettent également de réduire l'utilisation de produits chimiques dans l'agriculture en améliorant la qualité du sol.

**Industrie**

Les OGM microbiennes sont utilisés pour produire des produits chimiques, des enzymes et des protéines à des coûts moins élevés que les procédés de synthèse chimique classiques. Ils sont également utilisés dans la production de biocarburants.

**Médecine**

Les OGM microbiennes sont utilisés pour produire des médicaments comme l'insuline et des vaccins. Ils peuvent également être utilisés pour développer de nouveaux traitements et thérapies géniques.

### **III.3. Caractérisation:**

#### **III.3. 1. Les différentes techniques de caractérisation des OGM microbiennes**

##### **❑ L'analyse bio-informatique**

La bio-informatique est une technique qui permet de comparer les séquences génétiques pour identifier les changements induits par la modification génétique.

##### **❑ L'analyse physiologique**

L'analyse physiologique permet de mesurer les fonctions cellulaires des OGM microbiens pour identifier les différences avec les souches parentales.

##### **❑ L'analyse métabolomique**

L'analyse métabolomique est un ensemble de techniques analytiques qui permettent de détecter les métabolites produits par les OGM microbiens pour identifier les modifications biochimiques.

#### **III.3. 2. L'identification moléculaire des OGM microbiennes**

La technique PCR (réaction en chaîne de la polymérase) est largement utilisée pour identifier les séquences génétiques spécifiques des OGM microbiens. Elle permet de détecter la présence de gènes modifiés dans le génome des micro-organismes et de quantifier leur expression.

#### **III.3. 3. L'analyse fonctionnelle des OGM microbiennes**

L'analyse fonctionnelle évalue les changements dans les fonctions cellulaires des OGM microbiens. Par exemple, l'activité enzymatique, le métabolisme et la synthèse de protéines peuvent être comparés entre les souches parentales et les OGM microbiens modifiés.

#### **III.3. 4. La transgénèse et la sélection des transformants**

La transgénèse est une technique pour insérer un ou plusieurs gènes étrangers dans le génome des micro-organismes. Les transformants sont sélectionnés pour leur capacité à produire le produit désiré et pour leur stabilité génétique et phénotypique.

### III.3. 5. La stabilité génétique et phénotypique des OGM microbiennes

#### □ Stabilité génétique

La stabilité génétique est vérifiée pour s'assurer que les OGM microbiens modifiés ne perdent pas les gènes insérés ou développent des mutations.

#### □ Stabilité phénotypique

La stabilité phénotypique est vérifiée pour garantir que les traits modifiés des OGM microbiens sont conservés.

### III.4. Impact des OGM microbiennes sur l'environnement :

Les OGM microbiennes peuvent avoir un impact positif ou négatif sur l'environnement. Par exemple, ils peuvent être utilisés pour dépolluer les sites contaminés, mais peuvent également interférer avec les écosystèmes locaux s'ils se propagent hors de leur milieu naturel.

Il est donc important de réglementer l'utilisation des OGM microbiennes afin de minimiser les risques environnementaux.

### III.5. Les avantages et inconvénients des OGM microbiennes :

**Tableau 10** : avantages et inconvénients des OGM microbiennes

Avantages	Inconvénients
<i>Production de médicaments moins chers et plus accessibles</i>	<i>Risque de propagation dans l'environnement</i>
<i>Réduction de la consommation d'eau et d'énergie dans la production industrielle</i>	<i>Possibilité d'effets inattendus sur la santé humaine ou animale</i>
<i>Production de biocarburants plus respectueux de l'environnement</i>	<i>Manque de transparence dans la réglementation et les tests de sécurité</i>

### III.6. Evaluation et autorisation:

#### III.6.1. Les réglementations encadrant les OGM microbiennes :

Les réglementations varient selon les pays et les applications. Dans l'Union européenne, les OGM microbiennes sont réglementés par la directive 2009/41/CE, qui impose des tests de sécurité avant leur autorisation. Aux États-Unis, les OGM microbiennes sont réglementés par l'EPA, la FDA et l'USDA.

#### III.6.2. Les enjeux réglementaires de la caractérisation des OGM microbiennes

Enjeu réglementaire	Objectif
<i>Évaluation des risques environnementaux</i>	<i>Évaluer les risques environnementaux potentiels de l'utilisation des OGM microbiens modifiés.</i>
<i>Évaluation de la sécurité alimentaire</i>	<i>Évaluer la sécurité alimentaire potentielle des produits dérivés des OGM microbiens modifiés.</i>
<i>Évaluation de la compatibilité avec d'autres objectifs de politique publique, tels que le développement durable et la lutte contre le changement climatique</i>	<i>Évaluer si l'utilisation des OGM microbiens modifiés est compatible avec les objectifs de développement durable et de lutte contre le changement climatique</i>

#### III.7. Les controverses entourant les OGM microbiennes :

##### ❑ *Manque de transparence*

Les réglementations sur les OGM microbiennes manquent souvent de transparence et de communication avec le public.

##### ❑ *Effets inattendus sur la santé et l'environnement*

Les OGM microbiennes peuvent avoir des effets inattendus sur la santé humaine et animale ainsi que sur les écosystèmes locaux.

□ *Organismes brevetés*

Les entreprises peuvent breveter les OGM microbiennes qu'elles créent, ce qui peut causer des problèmes éthiques et juridiques.

**III.8. Perspectives d'avenir et développements récents des OGM microbiennes :**

□ *Innovations en génie génétique*

De nouvelles techniques de génie génétique permettent une modification plus précise et ciblée des OGM microbiennes.

□ *Nouvelles applications pour les biothérapies*

Les OGM microbiennes sont de plus en plus utilisés pour produire des biothérapies personnalisées pour les maladies rares.

□ *Développement de produits plus respectueux de l'environnement*

Les OGM microbiennes sont utilisés pour produire des produits écologiques comme les emballages biodégradables ou les produits de nettoyage naturels.

**Conclusion**

↪ *L'importance de la caractérisation des OGM microbiennes*

La caractérisation approfondie des OGM microbiens est essentielle pour garantir leur innocuité environnementale et sanitaire et pour permettre leur utilisation dans différentes applications.

↪ *Les techniques de caractérisation des OGM microbiennes*

Les techniques de caractérisation des OGM microbiennes sont variées et vont de l'analyse moléculaire à l'analyse fonctionnelle en passant par l'évaluation de la stabilité génétique et phénotypique.

# ***Chapitre 4 :***

---

## ***Risques des OGM & AGM***



#### **IV.1. Risques des OGM:**

##### **□ Introduction :**

Les Organismes Génétiquement Modifiés (OGM) sont des organismes dont le matériel génétique a été modifié par des techniques de génie génétique. Bien que les OGM présentent des avantages, tels que la résistance aux maladies et la production accrue de cultures, il existe également des risques associés à leur utilisation.

##### **□ Risques :**

1. **Risques environnementaux** : Les OGM peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement en perturbant les écosystèmes et en réduisant la diversité biologique. Les plantes génétiquement modifiées peuvent également entraîner la contamination génétique d'espèces indigènes, ce qui peut modifier les traits naturels des espèces existantes et perturber l'équilibre écologique.
2. **Risques sanitaires** : Il y a des préoccupations concernant la sécurité alimentaire des OGM. Bien qu'il n'y ait pas encore de preuves concluantes quant aux effets à long terme sur la santé, certaines études ont montré que les aliments génétiquement modifiés peuvent provoquer des réactions allergiques, des troubles gastro-intestinaux et d'autres problèmes de santé chez certaines personnes.
3. **Risques économiques** : Les grandes entreprises de biotechnologie contrôlent souvent les brevets sur les semences génétiquement modifiées, ce qui peut causer des problèmes pour les agriculteurs qui dépendent de ces semences. Les agriculteurs peuvent également être obligés d'acheter de nouveaux produits pour maintenir la résistance de leurs cultures aux maladies et aux ravageurs.
4. **Risques éthiques** : Les OGM soulèvent des questions éthiques, notamment la propriété intellectuelle, les droits des agriculteurs et des consommateurs, ainsi que les effets potentiels sur la biodiversité et les écosystèmes.

## **IV.2. Risques des AGM:**

### **Introduction :**

L'application de la biotechnologie aux aliments expressément pour améliorer les caractéristiques nutritionnelles et de santé recèle un grand potentiel, comme en témoignent de nombreuses réalisations en matière de recherche. Les améliorations alimentaires couvrent un large éventail, y compris des profils d'acides gras améliorés pour des huiles alimentaires plus saines pour le cœur, une teneur et une qualité en protéines améliorées pour une meilleure nutrition humaine et animale, des niveaux accrus de vitamines et de minéraux pour surmonter les carences nutritionnelles généralisées dans le monde et la réduction des anti- substances nutritionnelles qui diminuent la qualité des aliments et peuvent être toxiques. Des efforts sont à l'horizon pour augmenter la concentration de divers antioxydants et substances fonctionnelles telles que les phytostérols et les bactéries probiotiques. Les améliorations de la digestibilité des aliments pour animaux grâce à la réduction de l'acide phytique, du gossypol et des glycoalcaloïdes ont également le potentiel d'améliorer la sécurité des aliments destinés à l'homme. Bien que la biotechnologie ait fait des progrès dans la réduction des protéines allergènes dans certains aliments, la complexité des réponses allergènes, les différences de sensibilité entre les personnes et la présence de plusieurs allergènes dans un même aliment rendent ce défi particulièrement redoutable. Il semble que les huiles alimentaires avec des profils d'acides gras améliorés sont les plus proches d'atteindre la commercialisation, une fois l'autorisation réglementaire obtenue.

### **IV.2.1. Catégories d'AGM :**

Les quatre catégories d'aliments produits par la biotechnologie moderne :

- 1. Cultures génétiquement modifiées (GM) :** Ce sont des cultures qui ont été génétiquement modifiées pour exprimer des traits spécifiques, tels que la résistance aux ravageurs, aux herbicides ou au stress environnemental. Des exemples de cultures GM comprennent le maïs, le soja, le coton et le canola.



2. **Animaux transgéniques** : ce sont des animaux qui ont été génétiquement modifiés pour exprimer des traits spécifiques, tels qu'un taux de croissance accru, une résistance aux maladies ou une qualité de viande améliorée. Des exemples d'animaux transgéniques comprennent le saumon, les porcs et les vaches.
3. **Viande de culture** : Il s'agit de viande produite par la culture de cellules animales en laboratoire plutôt que par l'élevage et l'abattage d'animaux. Cette technologie a le potentiel de réduire l'impact environnemental de la production de viande et d'améliorer le bien-être des animaux.
4. **Aliments biofortifiés** : il s'agit d'aliments qui ont été génétiquement modifiés pour augmenter leur valeur nutritionnelle, par exemple en augmentant leurs niveaux de vitamines, de minéraux ou d'autres nutriments essentiels. Des exemples d'aliments biofortifiés comprennent le riz, le maïs et le blé.

#### **IV.2.2. Exemples des AGM commercialisés sur le marché :**

Il existe plusieurs aliments génétiquement modifiés (AGM) commercialisés dans le monde, notamment :

1. **Maïs** : Le maïs génétiquement modifié est l'un des aliments les plus couramment modifiés. Il est souvent utilisé pour résister à des herbicides ou pour produire une toxine qui tue les insectes nuisibles.
2. **Soja** : Le soja génétiquement modifié est également très courant. Il est souvent utilisé pour résister aux herbicides et pour produire une huile de soja de meilleure qualité.
3. **Canola** : Le canola génétiquement modifié est souvent utilisé pour résister aux herbicides et pour produire des huiles de canola de meilleure qualité.
4. **Coton** : Le coton génétiquement modifié est souvent modifié pour résister aux insectes nuisibles.
5. **Tomate** : La tomate génétiquement modifiée est souvent modifiée pour une meilleure conservation.
6. **Papaye** : La papaye génétiquement modifiée est souvent modifiée pour résister à un virus qui affecte les cultures.

7. **Pomme de terre** : La pomme de terre génétiquement modifiée est souvent modifiée pour résister aux insectes nuisibles et aux maladies.
8. **Saumon** : Le saumon génétiquement modifié est modifié pour atteindre une taille de marché plus rapidement.

**NB** : Il convient de noter que la commercialisation et l'étiquetage des aliments génétiquement modifiés varient selon les pays et les régions du monde. Certains pays interdisent la culture ou l'importation d'aliments génétiquement modifiés, tandis que d'autres imposent des étiquettes ou des normes de sécurité spécifiques pour les aliments génétiquement modifiés.

#### **IV.2.3. Processus de fabrication des aliments génétiquement modifiés :**

Les AGM sont créés à l'aide de plusieurs techniques de génie génétique. Voici les principales étapes du processus de leur fabrication :

1. **Identification du gène cible** : Le premier pas est d'identifier le gène qui code pour la caractéristique souhaitée, comme la résistance à un herbicide.
2. **Isolation du gène** : Le gène est ensuite isolé à partir de l'organisme qui l'exprime naturellement. Par exemple, le gène de résistance à l'herbicide pourrait être isolé à partir d'une bactérie.
3. **Modification du gène** : Le gène est ensuite modifié en laboratoire pour le rendre plus efficace ou pour le faire exprimer dans un autre organisme. Cela peut impliquer la suppression de certaines parties du gène, l'ajout de promoteurs ou de terminaisons d'ADN, ou l'insertion d'un gène de résistance aux antibiotiques pour faciliter la sélection des cellules modifiées.
4. **Introduction du gène dans l'organisme cible** : Le gène modifié est ensuite introduit dans l'organisme cible, généralement par le biais de vecteurs tels que des virus, des plasmides ou des billes d'or. Les cellules qui ont intégré le gène sont ensuite sélectionnées à l'aide de techniques de sélection cellulaire, comme la résistance aux antibiotiques.

5. **Expression du gène** : Les cellules qui ont intégré le gène modifié expriment maintenant la caractéristique souhaitée, comme la résistance à l'herbicide. Les plantes ou les animaux qui ont été produits à partir de ces cellules sont alors propagés ou élevés pour créer des populations de plantes ou d'animaux génétiquement modifiés.

#### **IV.2.4. Les avantages perçus des aliments génétiquement modifiés :**

##### **Résistance aux maladies**

Les aliments GM résistent mieux aux maladies et aux ravageurs, ce qui diminue les besoins en pesticides et les coûts de production.

##### **Amélioration de la qualité nutritionnelle**

Les aliments GM peuvent être modifiés pour être plus nutritifs et plus sains.

##### **Accroissement de la production**

Les aliments GM peuvent produire des rendements plus élevés par acre, ce qui augmente l'approvisionnement alimentaire mondial.

#### **IV.2.4. Les risques des AGM :**

##### **A. Les classes des AGM en termes de risques:**

Les aliments produits au moyen de la biotechnologie moderne peuvent être classés comme suit:

- 1. Aliments constitués d'organismes vivants ou viables ou qui en contiennent, **mais** par exemple.*
- 2. Aliments tirés d'**OGM** ou contenant des ingrédients qui en dérivent, comme la **farine**, les aliments protéinés ou de **l'huile** de soja génétiquement modifié.*
- 3. Aliments contenant tels ou tels ingrédients ou additifs produits par des micro-organismes génétiquement modifiés (**MGM**), par ex. des colorants, des **vitamines** ou des acides aminés essentiels.*
- 4. Aliments contenant des ingrédients traités par des **enzymes** qui proviennent de MGM, par ex. le sirop de maïs à haute teneur en fructose produit à partir de l'amidon par action d'une glucose-isomérase tirée d'un micro-organisme génétiquement modifié.*

**B. Catégories des risques :**

Les AGM sont des aliments qui ont été modifiés génétiquement par des techniques de génie génétique pour améliorer leurs caractéristiques, telles que la résistance aux maladies ou la capacité de produire de plus grandes quantités de nourriture. Bien que les aliments GM aient été approuvés pour la consommation humaine par de nombreux gouvernements et organisations internationales, il existe encore des préoccupations quant à leur sécurité pour la santé humaine. Voici quelques risques potentiels associés aux AGM :

- **Risques d'allergies :** Les AGM peuvent contenir des protéines nouvellement introduites qui peuvent causer des réactions allergiques chez certaines personnes. Une protéine est susceptible d'être allergène dès qu'elle est consommée, bien qu'il puisse être difficile d'évaluer et de prédire le potentiel d'allergénicité d'une molécule. Des études sur la résistance des protéines dans le milieu gastrique ont été menées. Selon certaines études, la protéine est décomposée en quelques secondes (15 secondes) dans le cas de la protéine utilisée pour créer le soja transgénique "Round up Ready" de Monsanto. Pour réduire le risque d'allergénicité, cependant, des précautions doivent être prises au niveau du transgène. Il est probable que la plante transgénique exprimera la protéine exogène avec son potentiel allergène si le transgène code pour un allergène reconnu. L'utilisation de gènes provenant d'organismes dont les allergènes sont connus est interdite dans les laboratoires examinant ces risques allergiques.
- **Risques pour la santé :** Il y a des inquiétudes quant aux effets à long terme des AGM sur la santé humaine, car il n'y a pas encore assez de données pour déterminer leur sécurité à long terme. Il est possible qu'un ou plusieurs gènes inactifs à l'état normal s'expriment lorsqu'un nouveau gène est ajouté à un organisme vivant (sur la molécule d'ADN). L'effet pléiotropique est le terme utilisé pour décrire ce phénomène. Des toxines peuvent être produites à la suite de cette expression induite par le transgène, ou leur production peut déjà être légèrement augmentée. Nous savons cependant que certaines toxines sont produites en quantités non toxiques et existent dans la nature, comme la solanine présente dans les pommes de terre, la

tomatine dans les tomates et l'acide érucique dans le colza. Personne n'est en mesure de prévoir les effets de ce risque, si minime soit-il.

- **Risques environnementaux** : Les AGM peuvent être toxiques pour les insectes et les animaux qui ne sont pas censés être ciblés, ce qui peut perturber l'écosystème et la biodiversité. De plus, les AGM peuvent être résistants aux herbicides, ce qui peut encourager les agriculteurs à utiliser davantage de pesticides.
- **La résistance aux antibiotiques** : L'insertion d'un gène dans une cellule hôte nécessite le marquage du gène transféré par un gène de résistance à un antibiotique, et cela, parce que le gène introduit ne se retrouve pas ou ne s'exprime pas dans le génome de toutes les cellules hôtes. Les spécialistes font donc l'ajout de gènes qui confèrent la résistance à un antibiotique afin de permettre la sélection des cellules modifiées. Ces gènes de résistance se présentent sous une forme fractionnée et auraient peut-être pour risque d'être transférés à un organisme de la flore intestinale. De plus, certaines bactéries, par transformation, seraient capables d'intégrer le génome d'un autre organisme.

**Conclusion :**

Les aliments génétiquement modifiés peuvent fournir des avantages nutritionnels, économiques et écologiques. Cependant, les risques pour la santé, l'environnement et les économies locales doivent être pris en compte avant de faire des choix alimentaires. Il est important de soutenir la recherche et la réglementation pour garantir la sécurité et la durabilité des aliments GM à l'avenir.

# ***Chapitre 5 :***

---

## ***Autres biotechnologies non alimentaire***



**Introduction :**

Les biotechnologies non alimentaires sont des techniques utilisées dans des domaines autres que l'agriculture et l'alimentation pour produire des produits et des matériaux utiles à la société. Voici quelques exemples de biotechnologies non alimentaires :

1. **La bioremédiation** : la bioremédiation utilise des micro-organismes pour dégrader les polluants environnementaux, tels que les hydrocarbures, les métaux lourds et les produits chimiques toxiques.
2. **Les biocarburants** : les biocarburants sont des carburants produits à partir de matières premières renouvelables telles que les plantes, les algues et les déchets agricoles.
3. **Les biomatériaux** : les biomatériaux sont des matériaux produits à partir de matières premières renouvelables telles que les polymères biologiques, les protéines et les sucres, qui peuvent être utilisés dans la fabrication de produits tels que les emballages, les textiles et les produits de soins de santé.
4. **Les biopesticides** : les biopesticides sont des pesticides produits à partir de micro-organismes tels que les bactéries, les champignons et les virus qui peuvent être utilisés pour lutter contre les ravageurs agricoles.
5. **Les produits pharmaceutiques** : de nombreux produits pharmaceutiques, tels que les anticorps et les hormones, sont produits à partir de micro-organismes génétiquement modifiés ou de cellules animales cultivées en laboratoire.

Ces exemples illustrent la diversité des applications des biotechnologies non alimentaires et leur potentiel à fournir des solutions durables et respectueuses de l'environnement dans une variété de domaines. Dans ce chapitre, nous allons traiter trois exemples des applications non alimentaires ; il s'agit de biopesticides, biocarburant et biogaz.

## **V.1. Biopesticides:**

### **Introduction :**

Les insectes sont les principaux ravageurs des cultures. Des pertes énormes se produisent lorsqu'ils attaquent diverses parties de la plante, transmettant souvent diverses maladies au cours du processus. Même après la récolte, les insectes attaquent les aliments végétaux ou animaux stockés. Les insectes sont également vecteurs de diverses maladies animales et humaines. Au cours de la dernière décennie environ, il y a eu une évolution de la seule utilisation de la lutte chimique vers une lutte intégrée qui emploie d'autres méthodes en plus de la lutte chimique. Les raisons en sont la non-spécificité des insecticides chimiques entraînant la destruction des ravageurs ainsi que de leurs prédateurs naturels, la résistance aux insecticides chimiques et le souci de l'environnement et de la santé humaine, car les insecticides pénètrent dans l'eau potable à partir du sol et sont potentiellement toxiques ou cancérigène. En outre, le coût des insecticides chimiques fabriqués à partir d'hydrocarbures pétroliers augmentera avec l'augmentation du coût des hydrocarbures pétroliers.

### **V.1. 1. Alternatives aux insecticides chimiques :**

**(a) Prédateurs** : Parmi les vertébrés, l'un des plus connus est l'utilisation de poissons, en particulier *Gambusia affinis*, pour manger les larves de moustiques. Les prédateurs invertébrés comprennent d'autres insectes plus gros, par ex. les guêpes, tandis que les prédateurs des plantes comprennent *Utricularia* (un millepertuis).

**(b) Manipulations génétiques** : Celles-ci comprennent la production (par des produits chimiques ou par irradiation) d'un grand nombre de mâles stériles, dont l'accouplement n'aboutit pas à des œufs fertiles.

**(c) L'utilisation d'hormones ou d'analogues hormonaux** : Les phéromones sont des composés synthétiques qui agissent comme attractifs sexuels. Les insectes attirés sont détruits.

**(d) L'utilisation d'agents pathogènes** : Les agents pathogènes des insectes se trouvent parmi les bactéries, les champignons, les protozoaires, les virus et les nématodes. L'idée d'utiliser des agents



pathogènes pour lutter contre les insectes est venue d'études sur les maladies du ver à soie *Bombyx mori*.

### **V.1. 2. Contrôle biologique des insectes:**

La lutte biologique a été étudiée ou pratiquée dans une large mesure en relation avec l'agriculture, la production alimentaire et la foresterie. Son étude et son utilisation dans la lutte contre les insectes vecteurs de maladies tels que les moustiques ont été faibles en comparaison. En 1976, la Banque Mondiale en collaboration avec le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) et l'Organisation Mondiale de la Santé ont met en oeuvre un programme spécial de recherche et de formation concernant les maladies tropicales. Les maladies étaient le paludisme, la trypanosomiase, la filariose, la leishmaniose, la schistosomiase et la lèpre. Parmi ceux-ci, les quatre premiers sont transmis par des insectes vecteurs. Ces organismes comprenaient des bactéries, des champignons, des nématodes et des poissons, tandis que les cibles étaient principalement les moustiques, vecteurs du paludisme et de la fièvre jaune, et les mouches noires (*Simulium* spp.), vecteurs de l'oncocerciose. Cependant, pour la lutte biologique agricole, certains virus pathogènes pour les insectes sont également utilisés.

### **V.1. 3. Production des biopesticides :**

Les insecticides microbiologiques sont produits de l'une des trois manières suivantes : fermentation immergée, fermentation en surface ou semi-solide et production *in vivo*. Les deux premiers sont pour les pathogènes facultatifs et le troisième pour les pathogènes obligatoires.

#### **1. Fermentations submergées**

Ceux-ci ont été utilisés pour la production de *Bacillus* spp. (hors production de *B. popillae* qui est produite *in vivo*) et, dans une moindre mesure, les champignons.

**Milieu de culture:** En fermentation pour *Bacillus thuringiensis*, le principe actif recherché est la toxine delta présente dans les cristaux. Les milieux pour la fermentation submergée ont été composés par divers chercheurs dans un certain nombre de brevets. Dans une de ces préparations, la croissance initiale dans un flacon agité s'est produite dans un bouillon nutritif; dans le second,

mélasse de betterave (1%), corn steep liqueur (0,85%) et CaCO<sub>3</sub> (0,1%) ont été utilisés dans un fermenteur. Un milieu de production typique serait la mélasse de betterave (1,86%), le pharmamedia (1,4%) et le CaCO<sub>3</sub> (0,1%). Les autres milieux de production contiennent de l'amidon de maïs (6,8%), du saccharose (0,64%), de la caséine (9,94%), du maïs liqueur de macération (4,7 %), extrait de levure (0,6 %) et tampon phosphate (0,6 %). Un troisième milieu contenait de la farine de soja (15 %), du dextrose (5 %), de l'amidon de maïs (5 %), du MgSO<sub>4</sub> (0,3 %), du FeSO<sub>4</sub> (0,02 %), du ZnSO<sub>4</sub> (0,02 %) et du CaCO<sub>3</sub> (1,0 %). Ces milieux ont été utilisés pour les souches de *B. thuringiensis*.

**Extraction** : A la fin de la fermentation, les composants actifs du bouillon sont récupérés par centrifugation, filtration sous vide avec adjuvant de filtration ou par précipitation. La précipitation a été effectuée avec du CaCl<sub>2</sub> et la méthode à l'acétone donne des produits de très haute qualité. Le bouillon de fermentation peut facilement être dilué et utilisé directement.

## **2. Culture de surface :**

Les techniques de culture en surface sont utilisées pour les champignons et pour les sporulants. Les organismes après croissance en flacon agité sont cultivés dans un réservoir de semences d'où le bouillon est transféré dans des bacs plats à fond perforé. Le milieu semi-solide est un mélange d'un sous-produit agricole tel que du son, un produit inerte tel que le kieselguhr, de la farine de soja, du dextrose et des sels minéraux. L'utilisation de ce médium augmente la surface et donc l'aération du fait de la faible épaisseur de son étalement dans les bacs. De l'air chaud passe à travers les perforations pour sécher le matériau. Il est broyé, dosé et composé à n'importe quelle force requise avec un matériau inerte. Des cultures submergées dans lesquelles les hyphes sont utilisées ont été réalisées avec de bons résultats aux États-Unis en utilisant *Hirsutella thompsonii*.

## **3. Culture in vivo :**

Des méthodes de culture in vivo sont utilisées pour produire des virus chenilles, des protozoaires de moustiques et des *Bacillus popillae*. La méthode est à forte intensité de main-d'œuvre et pourrait être facilement appliquée pour des candidats dans les pays en développement où l'expertise pour la production de cultures submergées fait généralement défaut. Une fois que l'organisme a été obtenu en quantité suffisante pour durer plusieurs années, il est lyophilisé et stocké à basse température. Les virus sont introduits dans les aliments des larves et les larves mortes sont broyées, centrifugées

pour éliminer les grosses particules, et le reste est séché. La quantité de virus dans chaque larve est variable mais la teneur en virus d'une à cent chenilles devrait être suffisante pour traiter un acre dans le cas des teignes du coton. Habituellement, des installations séparées sont utilisées pour l'élevage des chenilles, pour les infecter et pour l'extraction des particules virales. La préparation est ensuite testée biologiquement et mélangée avec un support approprié.

#### **V.1. 4. Formulation et utilisation des biopesticides :**

La formulation des bioinsecticides est extrêmement importante. Un insecticide qui s'est révélé très puissant dans des conditions expérimentales de laboratoire peut s'avérer inutile sur le terrain, à moins que la formulation n'ait été correctement faite. Les micro-organismes eux-mêmes n'étant pas brevetables, les industriels produisant des bioinsecticides dépendent pour leurs bénéfices de l'efficacité de leur formulation (c'est-à-dire du matériau inerte qui assure une présentation adéquate du larvicide à l'insecte cible). Le matériau inerte est appelé support ou diluant. Les supports ou diluants sont les solides ou les liquides dans lesquels le principe actif est dilué. Lorsque le support est un liquide et que le principe actif y est dissous, l'application est un spray. Il existe ainsi deux types de formulation : (a) les poudres, (b) les liquides fluides. Lequel des deux est fabriqué dépend dans une large mesure de la méthode de production et de l'utilisation prévue de l'insecticide.

#### **V.1. 5. Tests de sécurité des biopesticides :**

De nombreuses personnes qui apprennent pour la première fois l'utilisation de micro-organismes pour lutter contre les insectes nuisibles et les vecteurs de maladies expriment des craintes quant à l'effet de ces entomopathogènes ou de leurs composants efficaces (par exemple, les cristaux de *B. thuringiensis*). Pour cette raison, des tests sur les animaux, y compris l'alimentation par la bouche, l'inhalation, les inoculations intrapéritonéales, intradermiques et intraveineuses, et les tests de tératogénicité et de cancérogénicité sont effectués. Des tests effectués sur les entomopathogènes agricoles suivants aux États-Unis, en Russie et au Japon ont montré qu'ils ne sont pas toxiques pour l'homme, les autres animaux ou les plantes : bactéries (*Bacillus popillae*, *B. thuringiensis*, *B. moritai*), trois protozoaires (*Nosema locustae*, *N. algerae*, *N. troqodermae*) et deux champignons (*Beauveria bassiana*, *Hirsutella thompsonii*).

## **V.2. Biocarburants:**

### **Introduction**

La plupart des régions du monde produisent traditionnellement des boissons alcoolisées à partir de substrats disponibles localement. Des fermentations alcooliques similaires sont maintenant utilisées dans certains pays pour produire de l'éthanol de qualité carburant ou comme matière première chimique. La production mondiale annuelle d'éthanol est de plus de 30 milliards de litres, dont environ 70 % sont produits par fermentation, le reste étant principalement fabriqué par l'hydratation catalytique de l'éthylène. Près de 12 % de l'éthanol de fermentation sont des boissons alcoolisées, 20 % sont destinés à divers usages industriels et les 68 % restants sont de l'éthanol carburant.

Avec un prétraitement approprié, diverses formes de biomasse peuvent servir de substrats pour la fermentation alcoolique. Depuis 1975, le programme national brésilien sur l'alcool - l'effort le plus déterminé à ce jour pour remplacer l'essence par de l'alcool - utilise du saccharose, obtenu directement à partir de la canne à sucre, comme substrat de fermentation. Plus de 50 milliards de litres d'éthanol ont été produits au cours de la première décennie de fonctionnement du programme ; en 1989, le Brésil produisait 12 milliards de litres d'éthanol par an, permettant à 4,2 millions de voitures de rouler avec de l'éthanol hydraté (95 % d'éthanol, 5 % d'eau) et 5 millions avec un mélange de 78 % d'essence et de 22 % d'éthanol. En 1996, la production brésilienne s'élevait à 13,9 milliards de litres d'éthanol, soit l'équivalent énergétique de 136 000 barils de pétrole par jour. En tant que carburant de transport, l'éthanol présente un certain nombre d'avantages par rapport à l'essence. En particulier, il brûle plus proprement et avec une plus grande efficacité.

#### **V.2. 1. Définition :**

Les biocarburants sont des carburants de substitution obtenus à partir de la biomasse (matière première d'origine végétale, animale ou issue de déchets). Ils sont généralement incorporés dans les carburants d'origine fossile. Il existe deux grandes filières de production des biocarburants : la filière des biocarburants « essence » et celle des biocarburants « gazole ».

### **V.2. 2. Origines et applications industrielles de l'éthanol**

L'étymologie du mot « alcool » viendrait du mot arabe « *al-kuhl* » qui désignait à l'origine une poudre très fine de stibine (SbH<sub>3</sub>) connue sous l'appellation de sulfure d'antimoine qui est un gaz toxique incolore caractérisé par une odeur identique à celle de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>).

Au Moyen Âge, le philosophe et médecin perse Abu Bakr Muhammad ibn Zakarîya al-Râzi (865 à 925), réussit à obtenir de l'alcool pur, par distillation du vin pour des fins d'usage médicinal.

Aujourd'hui, les applications industrielles utilisant l'éthanol sont nombreuses:

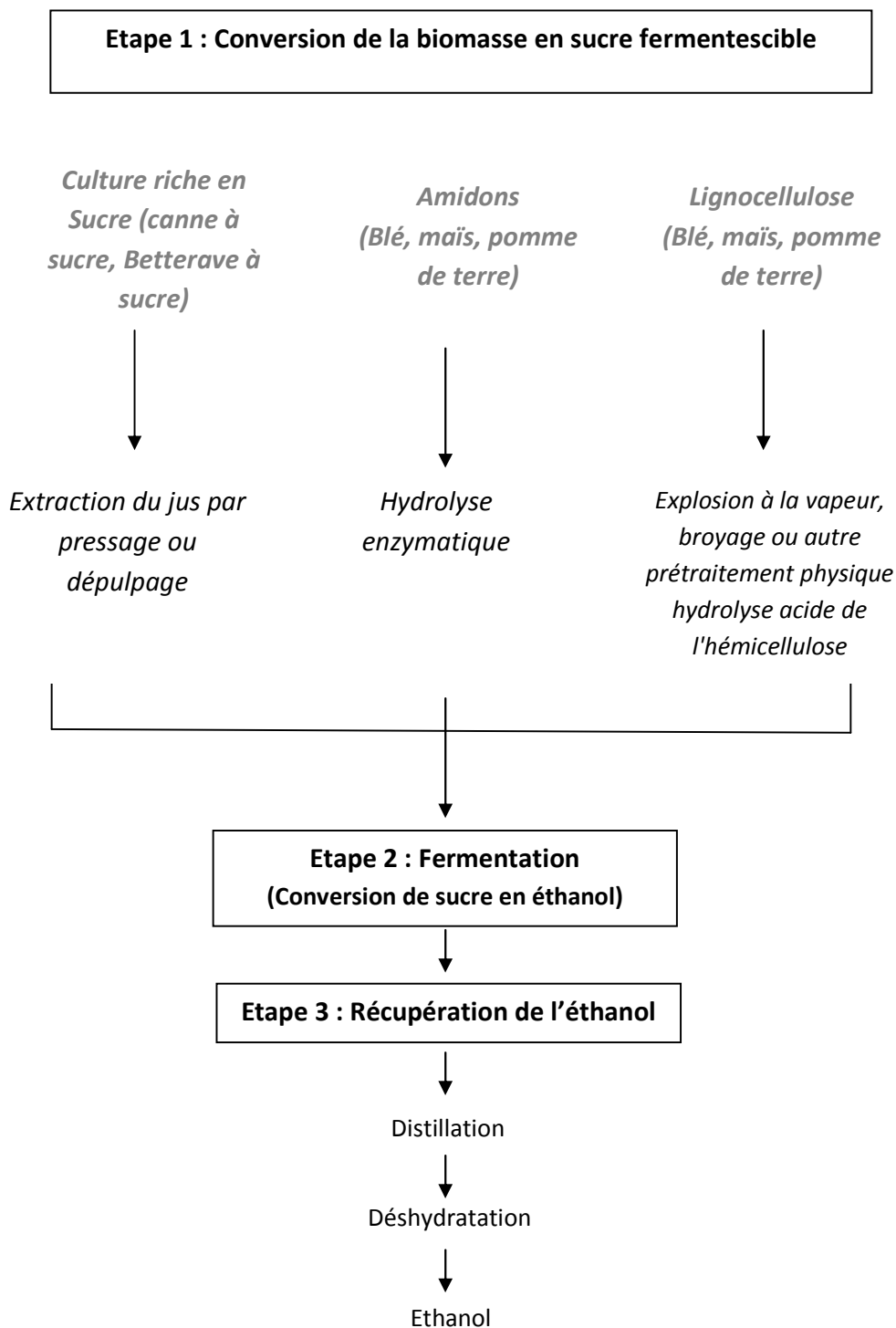
Au-delà du fait que l'éthanol serve à l'éclairage et au chauffage, il constitue le principe actif de base des boissons alcoolisées, il entre dans la synthèse de produits chimiques tels que les peintures, les vernis, les encres, les matières plastiques, les adhésifs, les cosmétiques et les produits pharmaceutiques.

Réputé pour ses qualités de solvant, il est également utilisé dans l'industrie du nettoyage contre les graisses et les matières plastiques. L'éthanol est également utilisé comme matière première pour la synthèse de solutions d'insecticides. En pharmacologie, il est utilisé pour ses propriétés de désinfectant et d'agent antiseptique.

Depuis les années 70, l'application industrielle de l'éthanol s'est étendue à l'industrie des carburants au point de vouloir en faire, dans des pays comme le Brésil, la principale source d'énergie pour les moteurs à essence. Son utilisation en tant que carburant remonte à l'année 1876 lorsque le premier moteur à combustion utilisant de l'essence à l'éthanol a vu le jour grâce au scientifique allemand Nicolaus August Otto.

### **V.2. 3. Etapes de conversion de la matière première en bioéthanol :**

La figure 5 présente un organigramme décrivant la conversion de diverses matières premières en alcool. Dans la première étape, les substrats polymères sont décomposés en monosaccharides par des techniques physiques, chimiques ou enzymatiques, selon le cas. Dans la deuxième étape, la fermentation microbienne (généralement des levures) convertit les sucres en alcool. Dans la troisième étape, l'alcool est récupéré par distillation (sous la forme d'un mélange à ébullition constante de 95,6 % d'éthanol et de 4,4 % d'eau, en volume). D'autres procédures de distillation sont nécessaires pour obtenir de l'éthanol anhydre.



**Figure 7 :** Organigramme de la conversion de diverses matières premières en alcool

#### **V.2. 4. Procédé de fabrication du bioéthanol :**

Le procédé industriel le plus commun recourt à des traitements physique, thermique, chimique et biochimique, qui visent ultimement à permettre la fermentation du glucose provenant de l'amidon des grains ou des tubercules et à produire l'alcool éthylique (éthanol).

**1. Broyage :** le broyage des grains (maïs, blé) se fait à l'aide d'un broyeur à marteaux afin de produire une farine à granulométrie fine.

**2. Liquéfaction :** l'eau et une première enzyme (alpha-amylase) sont ajoutées à la farine. Le mélange est porté à haute température (120 à 150 °C) dans un cuiseur pour des fins de pasteurisation et pour liquéfier l'amidon du grain.

**3. Saccharification :** après refroidissement, une seconde enzyme (glucamylase) est ajoutée afin de convertir l'amidon en glucose qui est un sucre fermentescible.

**4. Fermentation :** l'ajout de levures entraîne la fermentation des sucres. Cette réaction se produit soit en continu dans plusieurs fermenteurs séquentiels ou en discontinu, pendant une période de l'ordre de 48 heures. Les produits résultant de cette réaction sont l'éthanol et le dioxyde de carbone.

**5. Distillation :** la liqueur fermentée ou bière contient entre 8 et 15 % d'alcool. L'éthanol est séparé de la liqueur par un système de distillation à plusieurs colonnes qui fournit un alcool pur à 96 %.

**6. Déshydratation :** pour les besoins de commercialisation, l'éthanol est déshydraté par un tamis moléculaire.

##### **V.2. 4.1. Production de l'éthanol à partir des plantes amylacées :**

Les plantes amylacées qui regroupent les céréales telles que les grains de maïs ou encore de blé contiennent des sucres polymérisés sous forme d'amidon.

Le procédé de fabrication de l'éthanol diffère selon la source de sucre utilisé. En ce qui concerne les plantes notamment la betterave et la canne à sucre, les molécules simples de glucose et saccharose sont extraites par simple diffusion. Le jus de betterave et de canne à sucre fermenté passe par simple distillation pour obtenir de l'éthanol (Figure 8).

**V.2. 4.2. Production de l'éthanol à partir de la filière de la cellulose :**

Les plantes sucrières et amylacées ne sont pas les seules sources de sucre biologique à partir desquelles l'éthanol peut être produit. La biomasse lignocellulosique (partie verte des plantes) est une matière première qui fait appel à des procédés de fabrication différents compte tenu de la structure des molécules qui la composent (Figure 9).

La biomasse lignocellulosique est composée de trois principales fractions. La première, de l'ordre de 35 à 50 %, est la cellulose qui est un polymère de glucose. La seconde, appelée fraction hémicellulosique, de l'ordre de 20 à 30 %, est aussi un polysaccharide, essentiellement constitué de pentoses (dont le xylose et l'arabinose) et de glucose. La troisième est la lignine (15 à 25 %), polymère de structure complexe à base de groupements phényles.

**Tableau 11 :** Certaines levures et bactéries qui produisent des quantités importantes d'éthanol, et les principaux glucides utilisés comme substrats

Levures Et Bactéries	Substrat
<b>Levure</b>	
<i>Saccharomyces</i> spp.	Glucose, fructose, galactose, maltose,
<i>S. cerevisiae</i>	maltotriose, xylulose
<i>S. carlsbergensis</i>	Glucose, fructose, galactose, maltose,
	maltotriose, xylulose
<i>S. rouxii</i> (osmophilic)	Glucose, fructose, maltose, sucrose
<i>Kluyveromyces</i> spp. <i>K. fragilis</i>	Glucose, galactose, lactose
<i>K. lactis</i>	Glucose, galactose, lactose
<i>Candida</i> spp. <i>C. pseudotropicalis</i>	Glucose, galactose, lactose
<i>C. tropicalis</i>	Glucose, xylose, xylulose
<b>Bactéries</b>	
<i>Zymomonas mobilis</i>	Glucose, fructose, sucrose
<i>Clostridium</i> spp. <i>C. thermocellum</i> (thermophilic)	Glucose, cellobiose, cellulose
<i>C. thermohydrosulfuricum</i> (thermophilic)	Glucose, xylose, sucrose, cellobiose, amidon
<i>Thermoanaerobium brockii</i> (thermophilic)	Glucose, sucrose, maltose, lactose, cellobiose, amidon
<i>Thermobacterioides acetoethylicus</i> (thermophilic)	Glucose, sucrose, cellobiose



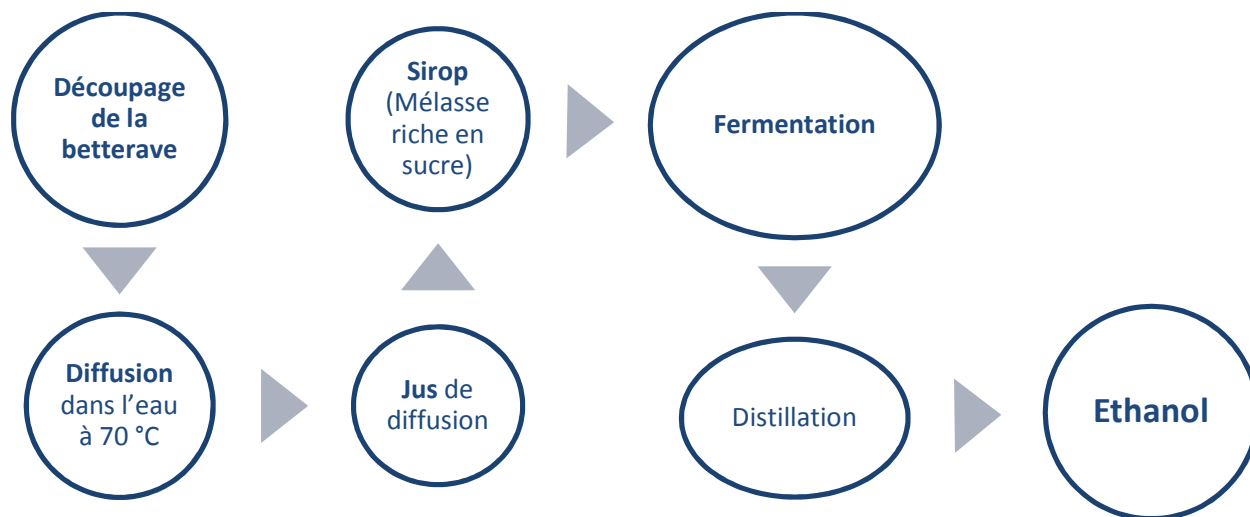


Figure 8 : Production de l'éthanol à partir des plantes amylacées

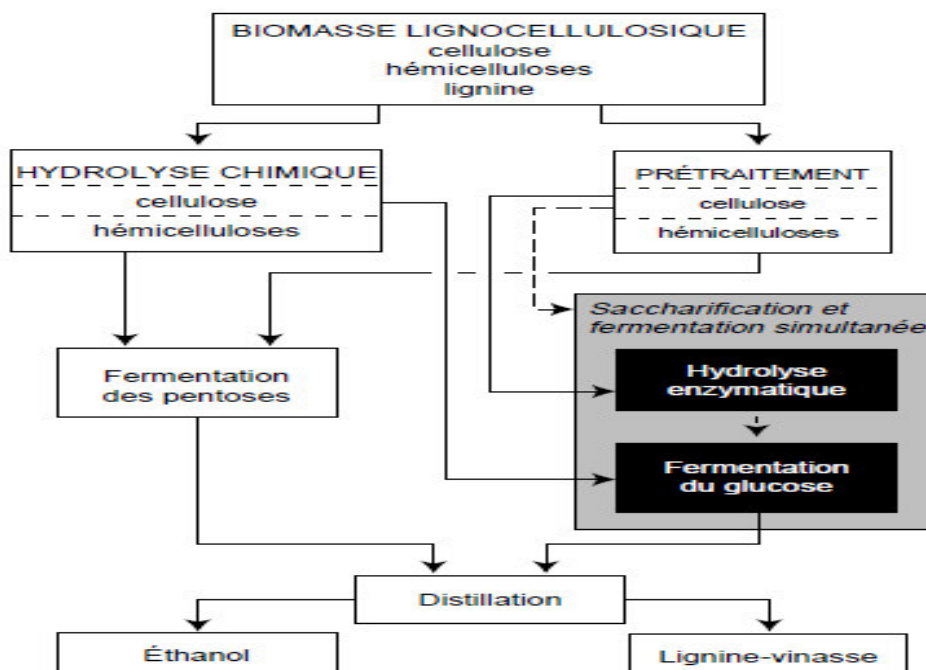


Figure 9 : Production de l'éthanol à partir de la biomasse lignocellulosique

**V.2. 5. L'utilisation de l'éthanol :**

Bien que l'éthanol soit un solvant organique utilisé dans les processus d'extraction des matériaux ; il puisse être utilisé à l'état pur comme carburant substitut à l'essence dérivée du pétrole, il est généralement utilisé en mélange à des niveaux de concentration variables.

Les mélanges d'éthanol et d'essence sont identifiés par l'abréviation « Exx », où « xx » indique le pourcentage d'éthanol inclus dans le mélange. Un carburant E20 contient donc 20 % d'éthanol et 80 % d'essence alors qu'un carburant E100 correspond à de l'éthanol pur. Plusieurs types de mélange sont commercialisés dont les plus fréquents sont le E5, le E10, le E85 et le E100.

### **V.3. Biogaz:**

#### **Introduction :**

Le biogaz est un gaz renouvelable produit par la fermentation anaérobie de matières organiques telles que les déchets agricoles et alimentaires, les boues d'épuration, les déchets verts et les cultures énergétiques. Le biogaz issu de la méthanisation est un mélange de biométhane (environ deux tiers), de gaz carbonique (un tiers). Il contient également à des valeurs variables du N<sub>2</sub>, du H<sub>2</sub>, des composés soufrés, des COVSi et du H<sub>2</sub>O. Il s'agit d'un gaz combustible provenant de la dégradation de la matière organique par fermentation, d'où le préfixe "bio". Contrairement au gaz naturel, qui est un gaz fossile, le biométhane est renouvelable, il peut être présent sous différentes formes :

- Il est naturellement présent dans différents environnements riches en matières organiques, partiellement ou complètement privés d'air, comme les rizières et les marais d'où l'appellation "gaz de marais".
- Provoqué, lors de la fermentation anaérobie des ordures ménagères dans les alvéoles des installations de stockage des déchets non dangereux (ISDND).
- Intensifié et forcé lors de la méthanisation des boues des stations d'épuration, des déchets des centres d'enfouissement des déchets organiques, les lisiers de porcs ou des papeteries.

La méthanisation permet de traiter à la fois des déchets liquides et solides. Elle est appliquée aujourd'hui aux effluents de l'industrie chimique, aux eaux résiduaires urbaines et des agro-industries, aux déjections animales, aux ordures ménagères et aux boues d'épuration (Figure 10).

La composition du biogaz change de façon remarquable selon les sources et types de matières organiques dégradées ainsi que les conditions de leur digestion (Figure 11). Précisément, le biogaz extrait des décharges d'ordures, où il est naturellement produit, est composé de 35 à 65 % de méthane, 15% à 50 % de gaz carbonique, 4% à 40 % d'azote et 0% à 5 % d'oxygène. Le CO<sub>2</sub> est un coproduit normal des réactions qui conduisent à la formation du méthane. Dans certaines conditions, les réactions peuvent aussi accumuler de l'hydrogène et certains gaz mineurs comme le sulfure d'hydrogène, produit de dégradation des protéines présentes dans le substrat.



Figure 10 : Système de récupération de biogaz sur une ISDND de classe 2 (Source : Wikipedia).

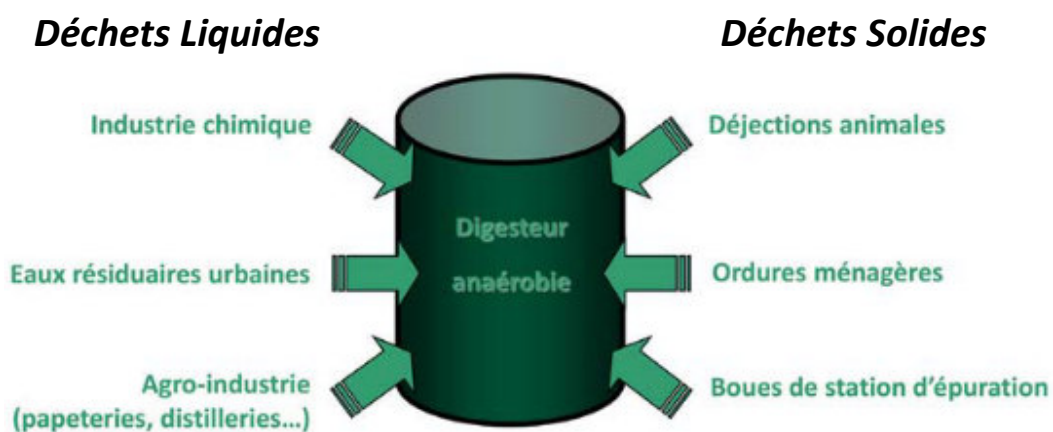


Figure 11 : Les différentes matières premières de la méthanisation biologique

### **V.3.1. Fermentation anaérobie industrielle :**

#### **A. Les réactions microbiologiques :**

Dans un méthaniseur, on distingue trois catégories de réactions microbiologiques:

1. La décomposition de grosses molécules, telles que les sucres à longue chaîne, les protéines et les lipides complexes, en monomères que les bactéries peuvent consommer directement. Ces réactions d'hydrolyse se produisent à la suite de l'action combinée de l'eau avec des enzymes hydrolytiques libérées lors du traitement par des bactéries, des cellules animales ou végétales, ou les deux.
2. D'abord, les bactéries acidogènes, transforment l'hydrolysats en un mélange d'acides (les acides gras volatils : acétique, propionique, butyrique, lactique, etc.), en composés neutres (ex : éthanol) et en hydrogène et gaz carbonique.
3. Les divers acides et les autres produits issus de l'étape précédente sont transformés ensuite par un deuxième groupe de bactéries en éléments précurseurs du méthane : acide acétique, (CO<sub>2</sub>) et (H<sub>2</sub>). Un transfert efficace de l'hydrogène des bactéries acétogènes aux bactéries méthanogènes est indispensable pour assurer le bon déroulement de l'ensemble du processus de méthanisation.
4. Puis, les précurseurs formés lors des étapes précédentes sont utilisés par les bactéries méthanogènes pour produire du méthane. Selon le processus anaérobie utilisé, ces étapes biochimiques et microbiologiques peuvent se produire simultanément ou séquentiellement, mais à des rythmes variables. C'est un processus complètement organique qui fait partie du cycle biogéochimique du carbone.

Les conditions physiques et biochimiques de la réaction influencent fortement l'équilibre entre les différentes réactions, ce qui en fait un processus relativement instable. Par exemple, un changement important dans la composition de la biomasse après son ajout au fermenteur rendra fréquemment le milieu trop acide, empêchant la réaction de se poursuivre pendant une période prolongée avant de pouvoir reprendre.

Différentes bactéries agissent à différentes températures et peuvent décomposer la matière organique. Les bactéries méthanogènes se divisent en trois groupes principaux :

- ❑ Bactéries psychrophiles qui agissent à température ambiante (15-25 °C). Ce sont les responsables de la méthanisation naturelle, se produisant notamment dans les marais ;
- ❑ Bactéries mésophiles (30-40 °C), les plus couramment utilisées ;
- ❑ Bactéries thermophiles qui agissent à des températures plus élevées (50-65 °C). Leur utilisation commence à se développer, notamment dans les installations importantes.

Parce que plusieurs espèces sont encore difficiles à isoler et à cultiver séparément, notre compréhension de ces différents types bactériens est encore assez incomplète. La métagénomique, méthode qui analyse l'ADN des populations bactériennes présentes à différents stades, devrait permettre de mieux comprendre les interactions et les fonctions de chacune de ces espèces.

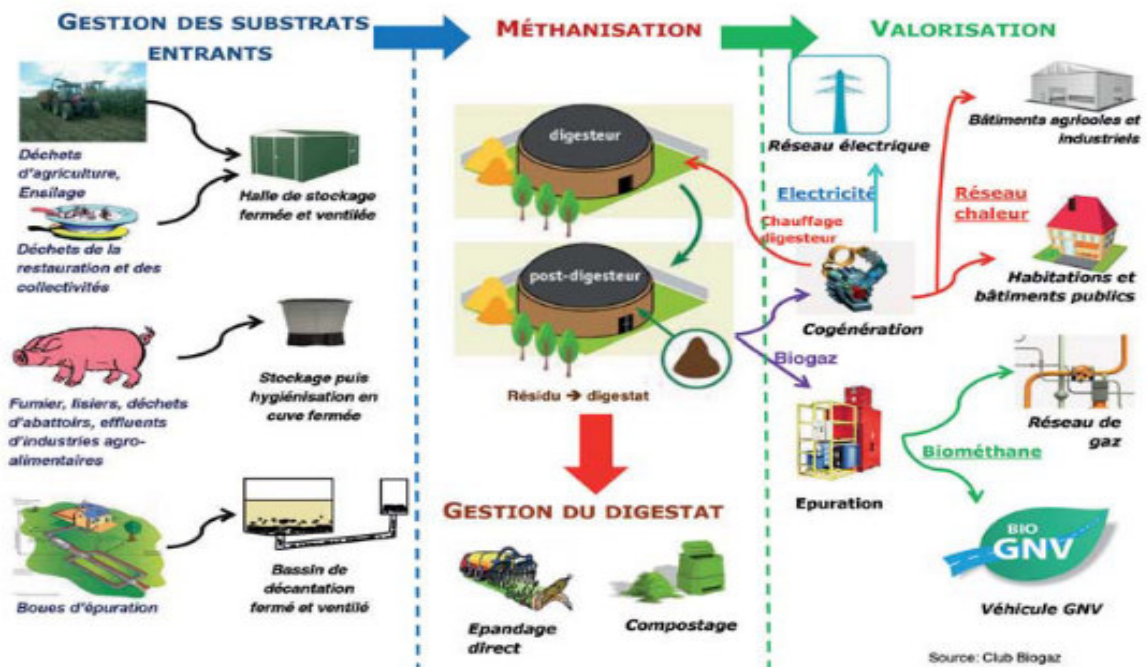


Figure 12 : Schéma général des installations de méthanisation (Source : Wikipedia).

## **B. Les différents types de digesteurs**

Les digesteurs utilisés dépendent du contenu en matière sèche à traiter.

### **1. Le système à culture libre ou infiniment mélangé**

La technologie la plus ancienne et la plus populaire. La recirculation de gaz ou de liquide, associée à la recirculation de la biomasse (procédé de contact), permet de maintenir régulièrement l'homogénéité du contenu du digesteur. De fonctionnement mésophile, ce type de digesteur fonctionne typiquement autour de 35°C. Il a subi un certain nombre d'avancées récemment, en particulier dans la conception de l'agitateur.

### **2. Le système UASB (*Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*) ou lit de boues anaérobies à flux ascendant**

En utilisant la capacité du réacteur à autofloculer la biomasse par sédimentation des granulés, les flux bactériens s'équilibrent dans le réacteur avec le flux ascendant de l'effluent à traiter. La vitesse de fermentation étant inversement proportionnelle à la masse de bactéries présentes, elle est contrainte par le fait que ces bactéries ne peuvent adhérer qu'aux parois du réacteur.

### **3. Le système à culture ou lit fixé**

Les bactéries se fixent sur un support inerte et statique en matière minérale ou synthétique à l'intérieur du réacteur, puis l'hydrolysate percole à travers le support. La technologie permet également une augmentation significative du volume du mélange bactérien, ce qui augmente la productivité du réacteur. Cependant, il est parfois nécessaire de remplacer le milieu rempli de bactéries. Cette technologie est encore en cours de développement.

### **4. Le système à lit fluidisé**

Les bactéries sont ancrées à des supports mobiles constitués de minuscules particules granuleuses poreuses, semblables à du sable, et sont contrôlées par le flux ascendant régulier et rapide de l'effluent. Grâce à cette adaptation de la technologie antérieure, de nouvelles bactéries fraîches peuvent être introduites en continu, ce qui augmente la productivité.

### **C. Méthanisation :**

La méthanisation est la transformation de la matière organique en biogaz composé principalement de méthane et de gaz carbonique et d'un sous produit appelé digestat. Il s'agit d'un phénomène naturel qui se réalise dans tous les milieux contenant de la matière organique. Cette transformation est un ensemble de réactions appelé également "digestion anaérobie" ou "fermentation anaérobie". Elle est assurée par un consortium microbien fonctionnant en conditions d'anaérobiose et dans des conditions physico-chimiques variées. Cette réaction a donc lieu dans les marais, les rizières, les boues, les fonds des lacs ainsi que dans les intestins des animaux et des insectes.

Puisque les sous-produits de chaque étape servent de substrat à la suivante, la minéralisation du flux de carbone se produit en quatre étapes distinctes, chacune impliquant une population bactérienne différente :

#### **1. Etape de l'hydrolyse:**

Au cours de cette étape les macromolécules comme les protéines, les polysaccharides, les lipides, la cellulase etc.... sont dégradés progressivement en composés plus simples (sucres, acides aminés, acides gras, glycérol etc....). Cette étape est assurée par des bactéries hydrolytiques qui forment un groupe phylogénétiquement hétérogène regroupant plusieurs espèces anaérobies strictes ou aéro-anaérobies facultatives, mésophiles ou thermophiles avec une vitesse de croissance de quelques heures en compétition pour les nutriments et les sources de carbones, ces espèces sécrètent des enzymes extracellulaires comme des amylases, des cellulases, des hydrolases etc... Qui mènent à la libération de molécules à faible poids moléculaire pouvant pénétrer dans les cellules où elles seront dégradées par de diverses voies biochimiques.

Dans le cas de la digestion anaérobie des boues, l'étape de l'hydrolyse demeure une étape limitante et lente du fait de sa composition en matières solides. La vitesse réactionnelle est aussi relative à la nature du substrat à dégrader (glucides, protéines, lipides etc...)

Le tableau qui résume les principales espèces bactériennes responsables des différentes réactions d'hydrolyse selon le type du substrat est présenté dans le tableau 12.



*Chapitre 5 : Autres biotechnologies non alimentaire*

**Tableau 12 :** Principales espèces bactériennes responsables de la dégradation des substrats de l'étape de l'hydrolyse

Substrat	Espèces	
<b>Condition mésophiles</b>		
<b>Cellulose</b>	<i>Acetivibrio cellulolyticus</i>	<i>Acetivibrio cellulosolvens</i>
	<i>Bacteroides succinogenes</i>	<i>Bacteroides cellulosolvens</i>
	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	<i>Cillobacterium cellulosolvens</i>
	<i>Ruminococcus albus</i>	<i>Ruminococcus flavifaciens</i>
	<i>Clostridium aldrichii</i>	<i>Clostridium celerecerscens</i>
	<i>Clostridium cellulobioparum</i>	<i>Clostridium cellulofermentens</i>
	<i>Clostridium cellulolyticum</i>	<i>Clostridium cellulovorans</i>
	<i>Clostridium chartatabidum</i>	<i>Clostridium josui</i>
	<i>Clostridium lochheadii</i>	<i>Clostridium lernocellum</i>
	<i>Clostridium longisporum</i>	<i>Clostridium papyrosolvens</i>
	<i>Clostridium paradoxum</i>	<i>Clostridium polysaccharolyticum</i>
<i>Clostridium populeti</i>	<i>Clostridium termitidis</i>	
<b>Hémicelluloses</b>	<i>Bacteroides ruminicola</i>	
<b>Pectines</b>	<i>Clostridium butyricum</i>	<i>Clostridium felsineum</i>
	<i>Clostridium multifermentans</i>	<i>Lachnospira multiparus</i>
<b>Amidon</b>	<i>Bacillus spp</i>	<i>Bacteroides spp</i>
	<i>Clostridium butyricum</i>	<i>Clostridium spp</i>
	<i>Lactobacillus spp</i>	<i>Micrococcus spp</i>
	<i>Pseudomonas spp</i>	<i>Succinomonas amylolytica</i>
<b>Lipides</b>	<i>Anaerovibrio lipolytica</i>	<i>Bacillus spp</i>
	<i>Syntrophomonas spp</i>	
<b>Protéines</b>	<i>Bacillus spp</i>	<i>Bifidobactérium spp</i>
	<i>Clostridium</i>	<i>Peptococcus anaerobius</i>
	<i>Staphylococcus spp</i>	
<b>Conditions thermophiles</b>		
<b>Cellulose</b>	<i>Anaerocellum thermophilum</i>	<i>Clostridium cellulosi</i>
	<i>Clostridium stercorarium</i>	<i>Clostridium thermocellum</i>
	<i>Clostridium thermocopriae</i>	<i>Clostridium thermopapyrolyticum</i>
<b>Hémicellulose</b>	<i>Clostridium thermobutyricum</i>	<i>Clostridium thermocellum</i>
	<i>Clostridium thermocopriae</i>	
<b>Pectines</b>	<i>Acetomicrobium faecalis</i>	<i>Clostridium thermocellum</i>
	<i>Clostridium thermohydrosulfuricum</i>	<i>Clostridium thermolacticum</i>
	<i>Clostridium thermosaccharolyticum</i>	<i>Clostridium thermosulfurogenes</i>
<b>Amidon</b>	<i>Acetomicrobium flavidum</i>	<i>Clostridium fervidus</i>
	<i>Clostridium stercorarium</i>	<i>Clostridium thermobutyricum</i>
	<i>Clostridium thermocopriae</i>	<i>Clostridium thermohydrosulfuricum</i>
	<i>Clostridium thermolacticum</i>	<i>Clostridium thermopalmarium</i>
	<i>Clostridium thermosaccharolyticum</i>	<i>Thermonaerobacter ethanolicus</i>
	<i>Thermonaerobacter finni</i>	<i>Thermonaerobacter brockii</i>
	<i>Thermonaerobacter acetoethylicus</i>	
<b>Protéines</b>	<i>Coprothermobacter proteolyticus</i>	

**2. Etape de l'acidogénèse:**

Les composés produits lors de l'étape de l'hydrolyse sont transformés par l'action de bactéries acidogènes en un mélange de composés contenant des acides organiques, des alcools, de l'hydrogène (H<sub>2</sub>), d'hydroxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), d'ammoniac etc....

**3. Etape de l'acétogénèse:**

Lors de l'étape de l'acétogénèse deux voies sont possibles:

- **Voie hétérofermentaire:** Durant cette étape, il y'a production d'hydrogène de dioxyde de carbone et d'autres acides tels que le pyruvate, le butyrate et le propionate.
- **Voie homofermentaire:** il s'agit de la voie où l'acétate est exclusivement produit, soit à partir des produits finaux des fermentation (formate et H<sub>2</sub> pour les réduire en CO<sub>2</sub>) soit à partir de molécules organiques.

Les différentes espèces responsables de cette étape sont résumées dans le tableau 13.

**Tableau 13 :** Principales espèces bactériennes responsables de la dégradation des substrats de l'étape de l'acétogénèse

Métabolites	Espèces	
Acétate	<i>Acetivibrio spp</i> <i>Acetoanaerobium noterae</i> <i>Acetofilamentum rigidum</i> <i>Acidominobacter</i> <i>hydrogenoformans</i> <i>Clostridium acidiurici</i> <i>Clostridium formicoaceticum</i> <i>Clostridium magnum</i> <i>Eubacterium limosum</i>	<i>Acetobacterium spp</i> <i>Acetobacterium flavidum</i> <i>Acetobacterium ruminis</i> <i>Clostridium aceticum</i> <i>Clostridium ijungdahlii</i> <i>Clostridium mayombei</i> <i>Pelobacter spp</i> <i>Sporomusa spp</i> <i>Syntrophococcus sucormutans</i>
Acétate, Butyrate	<i>Acidaminococcus fermentans</i> <i>Butyribacterium</i>	<i>Eubacterium spp</i> <i>methylophilum</i>
Acétate, Butyrate, Ethanol	<i>Clostridium spp</i>	
Acétate, Propionate	<i>Anaerovibrio lypolytica</i> <i>Propionibacterium spp</i> <i>Selenomonas spp</i>	<i>Anaerovibrio glycerini</i> <i>Propionispira arboris</i> <i>Veillonella spp</i>
Acétate, Ethanol, Lactate	<i>Lachnospira spp</i>	<i>Lactobacillus spp</i>
Acétate, Lactate	<i>Bifidobacterium spp</i>	
Acétate, Lactate, Formate	<i>Ruminococcus spp</i>	
Lactate	<i>Lactobacillus spp</i> <i>Streptococcus spp</i>	<i>Leptotrichia buccalis</i>
Succinate	<i>Anaerobiospirillum</i> <i>succinoproducens</i>	<i>Succinomonas amylolytica</i> <i>Succinovibrio dextrinosolvans</i>
Butyrate	<i>Butyrobivrio spp</i>	<i>Fusobacterium spp</i>
Acétate, Propionate, Butyrate, Valerate, Caproate	<i>Megasphaera elsdenii</i>	

#### 4. Etape de la méthanogénèse:

Durant cette étape les composés monocarbonés (l'hydrogène et le dioxyde de carbone) et l'acétate produits lors de la phase précédente, sont transformés en méthane CH<sub>4</sub> par deux voies de synthèse assurées chacune par un groupe d'archées méthanogènes anaérobies strictes, qui, avec les bactéries acétogènes forment une relation d'association obligatoire appelée syntrophie.

**Les méthanogènes acétoclastes :** Acétate+H<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>

**Les méthanogènes hydrogénotrophes :** CO<sub>2</sub> + 4H<sub>2</sub> → 2 H<sub>2</sub>O +CH<sub>4</sub>

NB: Il est à noter que dans les digesteurs anaérobies, 60% à 70% des réactions sont assurées par les méthanogènes acétoclastes.

#### D. Facteurs et procédés d'amélioration des performances de la digestion anaérobie :

##### 1. Facteurs influençant les performances de la méthanisation

La production du biométhane est le critère le plus simple et le plus représentatif de la performance de la méthanisation des boues. Il existe trois grands paramètres ayant une influence sur sa production.

##### 1.1. La température:

Les différents microorganismes responsables de ce processus ont des températures optimales différentes, il faudrait donc trouver une température qui doit correspondre au développement de toutes les bactéries impliquées. Il en résulte alors trois types de fermentation:

- **Fermentation mésophiles 35 - 40°C** : ce procédé est le plus couramment utilisé. En effet, la réduction de la matière volatile (MV) à des températures de 35-40°C est de 40-50%, et est de 57% quand la température est de 37±2°C.
- **Fermentation thermophile 50-60°C** : rarement utilisée en industrie mais plus efficace car les vitesses de réaction sont accélérées. Ce procédé permet d'accélérer l'étape de digestion anaérobie des matières solides soit l'étape de l'hydrolyse et d'éliminer les espèces pathogènes nuisibles.

- **Fermentation en deux phases:** il s'agit de favoriser les conditions optimales pour les 2 étapes clés de la fermentation:

*L'étape de l'hydrolyse en conditions thermophiles pour un temps de séjour de 2-3 jours.*

*L'étape de la méthanisation en conditions mésophiles pour un temps de séjour de 10-12 jours.*

### **1.2. Le temps de séjour:**

Également appelé temps de séjour théorique ou temps de passage, il représente la durée théorique du contact entre la biomasse et l'effluent.

### **1.3. La charge organique :**

La charge organique est la quantité totale des matières organiques en suspension ou en solutions des boues. L'objectif fixé de réduction de la teneur en MV des boues par digestion anaérobie mésophile est de 40 à 50% pour un temps de séjour de 20 jours. La charge organique optimale est de 0.8 à 1.8 kg Mv/m<sup>3</sup> /jrs.

### **1.4. Composition de substrat:**

1. La teneur en matière volatile; la production spécifique du biogaz dépend du rapport **DCO/MV**.
2. Absence d'oxygène (les méthanogènes sont sensibles à des pressions d'oxygène de 10 ppm), absence de nitrates, de sulfates et de substances inhibitrices (agent chlorés, antibiotique, métaux lourds...).
3. Concentration en acides gras volatiles AGV: inférieur à 2-3 g/l, en grande quantité (et principalement le composé le plus toxique, l'acide propionique) ils diminuent le pH et provoquent une inhibition de la phase de méthanisation.
4. Pression partielle en hydrogène.
5. Potentiel d'oxydo-réduction EH; la baisse de l'EH favorise la méthanogénèse, il a été démontré qu'une baisse de l'Eh à 200 - 300 mV augmenterait de 10 fois la production du méthane.
6. PH: 6,8 à 7,5 .

7. Les cofacteurs: le fer, le nickel, le magnésium, le calcium, le sodium et le cobalt. Il est impossible de détecter les valeurs exactes requises mais une carence entraîne des conséquences sur l'efficacité du déroulement du processus.

### **V.3.2. La purification du biogaz :**

Le gaz produit est encore un mélange ne contenant au mieux que 35 à 75 % de méthane, selon les technologies utilisées et les matières organiques soumises à dégradation. Que se soit par extraction des décharges ou par fermentation anaérobie. Par conséquent, le biogaz passe par un certain nombre de processus de purification.

En fonction de l'utilisation du méthane en bout de chaîne. Quelle que soit la méthode de valorisation du biogaz de décharge envisagée, l'eau qu'il contient doit être éliminée. En cas de récupération sous forme de chaleur générée par une chaudière dont les brûleurs peuvent tolérer la présence d'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ), on peut se contenter de ce bref prétraitement. La déshydratation appliquée à l'effluent gazeux au fur et à mesure de sa collecte en sortie du réseau de collecte doit être associée à une étape supplémentaire d'épuration si une valorisation électrique ou une cogénération, obtenue à l'aide de moteurs ou de turbines, est souhaitée.

L'opération de purification du biogaz consiste à éliminer la vapeur d'eau, les  $H_2S$ , les siloxanes,  $COVSi$  et le  $CO_2$  par applications de différents procédés dont :

- Adsorption
- Absorption
- Refroidissement
- Procédés biologique

#### **☐ Biogaz comme énergie de substitution :**

Le volume  $1\text{ m}^3$  d'un biogaz contenant 70% de  $CH_4$  et de 30% de  $CO_2$ , libère par combustion 6000 kcal ce qui équivaut énergiquement à (Laskri, 2016):

- 0.81 L d'essence
- 1.2 L d'alcool à brûler
- 0.7 L de mazout
- 0.9 Kg de charbon
- 1.5 Kg de bois
- 6.8 Kw/h d'électricité
- $0.66\text{ m}^3$  de gaz naturel

❑ **Valorisation énergétique :**

La valorisation énergétique du biogaz peut prendre différentes formes:

- Production d'électricité
- Valorisation par cogénération : Production simultanée d'électricité et de chaleur
- Piles à combustibles
- Valorisation en Bio GNV
- Injection dans les réseaux de gaz naturel

**V.3.2. Valorisation du biogaz en Algérie :**

L'Algérie dispose d'un énorme potentiel en matière première valorisable, en revanche, il n'existe aujourd'hui qu'une seule station pilote de production d'électricité à partir des déchets urbains, située au niveau du CET (Centre d'enfouissement technique) de Hassi Bounif dans la wilaya d'Oran. L'Algérie compte actuellement 171 stations d'épuration d'eau à travers le territoire national.

---

# ***Mode d'évaluation et Références***



## V. Documents de lecture :

Des documents de lecture accompagnent le support du cours. L'apprenant est invité à les lire afin de pouvoir synthétiser l'ensemble des connaissances déjà acquises pendant le cours.

Il s'agit de :

ROLF, D. (2005). Atlas de poche de Biotechnologie et de génie génétique, *Médecine- Sciences*, Paris

Nduka, O., (2007). Modern industrial microbiology and biotechnology. Sciences publisher, Vol 2, N.H., USA

Blackburn, C. de W. (ed.), Food spoilage microorganisms, Woodhead Publishing, Cambridge, UK 2006, 712pp.

Kosric, N., Blaszczyk, R. (1992). Industrial Effluent Processing. Encyclopedia of Microbiology. Vol 2, Academic Press. San Diego, USA. pp. 473-491.

Lindera, K.C. (2002). Activated Sludge – the Process. Encyclopedia of Environmental Microbiology Vol 1 Wiley-Interscience Publication. New York, USA. pp. 74–81.

## Sources d'informations sur Internet :

L'Internet est une ressource énorme et précieuse avec de nombreux sites d'intérêt pour les microbiologistes alimentaires. Ici, nous en avons répertorié quelques-uns, dont beaucoup vous mèneront à d'autres sites connexes.

- Food safety Resources on the Internet: <http://publ.ac.uk/link/f/foodsafety.htm>
- Food Standards Agency (UK): <http://www.food.gov.uk/>
- International Life Sciences Institute (ILSI) <http://europe.ilsa.org>
- Health Protection Agency (UK): <http://www.hpa.org.uk/>
- Department for the Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) (UK): <http://www.defra.gov.uk/>
- Center for Food Safety & Applied Nutrition, USA: <http://vm.cfsan.fda.gov/>
- Institute of Food Science and Technology, UK: <http://www.ifst.org/>

## VI. Recherches personnelles :

### *Exercice de recherche personnelle évalué :*

1. Les étudiants doivent choisir, parmi une liste proposée, un thème en relation au programme.



## *Mode d'évaluation et Références*

---

2. Les étudiants doivent mener des recherches pour rassembler une documentation suffisante qui leur permettra de rédiger un exposé sur le thème choisi.
3. Au cours de leur recherche, les étudiants doivent faire attention pour consigner toutes les références utilisées, et les mentionner dans l'exposé.
4. Les étudiants rédigeront un manuscrite, de 10 pages au maximum, et une présentation Powerpoint dans laquelle ils résumeront les résultats de leur recherche.
5. L'exposé doit être structuré de la manière suivante :
  - *Nom, Prénoms et numéro de l'étudiant*
  - *Titre de l'exposé*
  - *Plan de l'exposé*
  - *Corps de l'exposé composé des points afférents au sujet*
  - *Références bibliographiques utilisées*
6. L'exposé sera évalué selon le barème suivant :
  - Qualité de la présentation (4 pts)
  - Qualité de la rédaction (4 pts)
  - Qualité du contenu (10 pts)
  - Qualité du référencement bibliographique (2 pts)

### **VII. Modalités d'évaluation des apprentissages :**

↗ **Diagnostic :**

1. Basées sur interactions orales, et seront pas comptabilisées sur le bulletin.

↗ **Formatives :**

2. Contrôle continu (Orale et /ou écrit): 20% (noté sur 20)
3. Les recherches personnelles (exposés): 20% (noté sur 20)

↗ **Sommatives :**

4. Examen final écrit: 60% (noté sur 20)

↗ **Moyenne :**

***(Contrôle continu) + (exposé) + (examen final écrit x 3)***

---

**5**

### VIII. Bibliographie / Webographie:

-  Alexander N., Nikaido G., H., (2007). MICROBIAL BIOTECHNOLOGY - Fundamentals of Applied Microbiology, Second Edition, NY, USA
-  B.M. Lund, T.C. Baird-Parker and G.W. Gould (eds) (2000). The Microbiological safety and quality of food. Vol. 1. Aspen Publishers Inc. Gaithersburg, 972pp.
-  BADUEL P. (2003). Fermentations, principales applications industrielles, Aventis Pharma
-  Biomethanisation, produire de l'électricité et de la chaleur à partir de résidus agricoles, Valbiom, Octobre 2004
-  Blackburn, C. de W. (ed.), Food spoilage microorganisms, Woodhead Publishing, Cambridge, UK 2006, 712pp.
-  Kosric, N., Blaszczyk, R. (1992). Industrial Effluent Processing. Encyclopedia of Microbiology. Vol 2, Academic Press. San Diego, USA. pp. 473-491.
-  BOURGEOIS, C. M., MESCLE, J.F. et ZUCCA, J. (1996). Microbiologie alimentaire, *Lavoisier Tec & Doc*, Paris
-  BRANGER, A., Richer, M.-M., Roustel, S., (2012). *Microbiochimie et alimentation*. Educagri éditions, Chapitre 8 : Aliments et fermentations : ferments et stratégies, 180-185.
-  Centre d'Activités Régionales pour la Production Propre (2003). Applications de la Biotechnologie dans l'industrie, Plan d'Action pour la Méditerranée.
-  GRUSONJ.F.et MONOTF. (2007). Les biocarburants de seconde génération: état de l'art et perspectives, IFP
-  <http://www.biotech-ecolo.net/transformation-genetique-agrobacterium.html>. [Consulté le 3/02/22].
-  <http://www.gnis-pedagogie.org/biotechnologie-amelioration-transgenese-obtention-ogm.html>. [Consulté le 7/01/23].
-  Industrial (White) Biotechnology, an effective route to increase EU innovation and sustainable growth, DSM

## Mode d'évaluation et Références

- 📖 KACIMI, M. M., (2008). Analyse du secteur de l'éthanol selon les principes du développement durable. Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.), Université de Sherbrooke, Québec, Canada, mars 2008
- 📖 La biotechnologie industrielle : clé pour une chimie durable. (2003), la chimie et vous, Fedichem (essencia)
- 📖 LABBE, B., (2009). *Slideplayer : Micromycètes* [en ligne]. Disponible sur : <http://slideplayer.fr/slide/3154159/>. [Consulté le 16/01/17].
- 📖 Lindera, K.C. (2002). Activated Sludge – the Process. Encyclopedia of Environmental Microbiology Vol 1 Wiley-Interscience Publication. New York, USA. pp. 74–81.
- 📖 L'industrie des biotechnologies: contraintes et opportunités. (2003) Science & Decision, CNRS
- 📖 Ndangui, C.B., (2015). Production et caractérisation de farine de patate douce (*Ipomoeabatatas.Lam*) : optimisation de la technologie de panification. *Thèse de Doctorat*, Université de Lorraine et l'Université Marien Ngouabi, France, Avril 2015.
- 📖 Nduka, O., (2007). Modern industrial microbiology and biotechnology. Sciences publisher, Vol 2, N.H., USA
- 📖 Odumeru, J., A., (2012). *Food Biochemistry and Food Processing*. Wiley-Blackwell, Microbial Safety of Food and Food Products, 787-789.
- 📖 R.G. Board, D. Jones and B. Jarvis, (eds.), (1995). 'Microbial Fermentations: Beverages, Foods and Feeds', Society for Applied Bacteriology Symposium Series, Number 24, , 145pp.
- 📖 Raynal, G., *INRA : Moisissure sur orange due à Penicillium italicum et P. digitatum* [en ligne]. Disponible sur : <http://mediatheque.inra.fr/media/detail/163542/private>. [Consulté le 05/01/22].
- 📖 ROLF D. (2005). Atlas de poche de Biotechnologie et de génie génétique, *Médecine- Sciences*, Paris
- 📖 Steinkraus K.H. (1995). Handbook of Indigenous Fermented Foods. New York: Marcel Dekker
- 📖 Véronique, Z., Pascal G. (2004). Les germes pathogènes dans l'industrie agroalimentaire, "Salles propres", 31, pages 12-16.