

## Introduction

La biotechnologie est une science multidisciplinaire qui associe les potentialités d'une entité vivante ou une partie de cette entité à différentes techniques et procédés dans un but économique. Actuellement la biotechnologie est considérée parmi les technologies les plus émergentes, en raison des grands progrès de la biologie moléculaire ces dernières années.

Selon la FAO, la biotechnologie a deux définitions complémentaires:

« L'utilisation de procédés biologiques ou d'organismes vivants pour la production de matières et de services bénéfiques à l'humanité. La biotechnologie implique l'utilisation de techniques qui augmentent la valeur économique des végétaux et des animaux et développent des microorganismes afin d'agir dans l'environnement ».

« La biotechnologie implique la manipulation, sur des bases scientifiques, d'organismes vivants, particulièrement à l'échelle génétique, afin de produire des nouveaux produits tels que les hormones, les vaccins, les anticorps monoclonaux, etc»

Le caractère pluridisciplinaire de la biotechnologie ainsi que les vastes domaines d'application qui en découlent font qu'il est difficile de donner une définition unique et pratique à cette prometteuse discipline. De plus, cette définition change avec le temps en raison du développement rapide de nouvelles techniques et des découvertes dans le domaine de la biologie moléculaire, deux facteurs qui ouvrent constamment de nouvelles perspectives. Les définitions ne peuvent être que consensuelles.

# Chapitre 1 : Introduction

## 1- Définition

La définition des Biotechnologies n'est pas simple. Ce terme se compose de « bio » du grec *bio*, vie, et « technologie », dérivé du grec *tekhologia*, littéralement traite ou dissertation sur un art, notion qui a fait son apparition au XIXe siècle et qui désigne les études des outils et des techniques ( du grec *techné* , art naturel). Les biotechnologies se réfèrent donc aux techniques qui ont prise sur la vie, avec l'objectif de la modifier, de l'appriivoiser. En réalité, les BT font leur apparition au moment où l'homme cueilleur-chasseur a commencé à se sédentariser et à utiliser le vivant à son profit. Elles sont nées avec la culture et l'élevage, lorsque l'homme a finalement commencé à intervenir sur la nature et à remodeler l'environnement dans lequel il se développait. Il s'agit donc de techniques très anciennes, mais qui aujourd'hui possèdent une puissance transformatrice sans précédent.

## 2- Les origines des biotechnologies

La biotechnologie ne date pas d'hier, elle était déjà présente dans les sociétés primitives (élaboration de pain, de fromage, de vin, de bière, etc.). Le terme « biotechnologie », il a été inventé par Karl Ereky en 1919 pour décrire l'interaction entre la biologie et la technologie. Cependant, la biotechnologie n'est pas que biologie et technologie, il s'agit d'un effort multidisciplinaire mis en place par l'humanité depuis plus de 5 000 ans. Avec les débuts de la culture des plantes, de l'élevage des animaux, de l'élaboration de la bière ou du vin et de la production de fromage, c'était l'application des principes de la biotechnologie au sens large que l'on mettait en place.

### 2-1 Les domaines d'application de la biotechnologie

La biotechnologie est de nature pluridisciplinaire, Impliquant l'apport de : Ingénierie , Informatique , Biologie cellulaire et moléculaire , Microbiologie , Génétique, Physiologie , Biochimie , Immunologie, Virologie, Technologie de l'ADN recombinant, Etc...

### 2-2 Evolution des biotechnologies au fil du temps

- **8000-2000 av. J.-C** domestication humaine du blé et la première culture de la pomme de terre.

La biotechnologie utilise la levure pour lever du pain et pour fermenter la bière (Égypte).

- **500 av J.C** Premier antibiotique: Caillé de soja moisi (tofu) utilisé pour traiter les furoncles (Chine)

-1797 découverte du premier vaccin: Edward Jenner prend du pus d'une lésion de la variole de la vache, l'insère dans une incision sur le bras d'un garçon.

-1800: innovation des protéines, 1833:isolement du premier enzyme.

- 1857: Louis Pasteur propose que les microbes causent la fermentation. plus tard après il mène des expériences soutenues la théorie des « germes responsables de la maladie »  
Importance des ressources biologiques

Les ressources biologiques représentent un enjeu majeur pour au moins quatre raisons :

- Elles constituent un patrimoine, par leur richesse et leur diversité. Ce réservoir de gènes que constituent les collections doit être conservé et protégé.
- Elles sont un objet d'étude exigeant des conditions de recueil, de conservation et d'accessibilité rigoureuses.
- Elles soulèvent d'importantes questions juridiques, s'étendant au niveau international et ne peuvent évidemment pas être considérées comme une simple marchandise, particulièrement en ce qui concerne la traçabilité et la biodiversité.
- Elles sont à l'origine d'innovations biotechnologiques en matière agroalimentaire et de santé.

### 1.3 Les enjeux actuels des biotechnologies et bionanotechnologie

#### 1-3.1 Les enjeux actuels des biotechnologies

Les organismes génétiquement modifiés sont une innovation récente et en évolution rapide. Au moins autant que les technologies nucléaires ou celles de l'information en leur temps et bien plus que la plupart des autres –, les biotechnologies de la transgénèse sont aujourd'hui radicalement nouvelles : elles reposent sur des savoirs qui n'étaient même pas enseignés lorsque bien des responsables d'aujourd'hui étaient étudiants. Elles exigent donc de tous les acteurs, y compris des décideurs publics, une vitesse d'acculturation hors du commun. Difficulté supplémentaire, ces technologies évoluent souvent plus vite que les connaissances relatives à leurs impacts : lorsqu'on commence à se faire une idée relativement précise des bénéfices que procure une application nouvelle et des risques auxquels elle expose, la génération suivante d'applications est déjà arrivée.

Les progrès des techniques et des connaissances en génétique moléculaire ont permis de développer des applications qui concernent chacun d'entre nous. Aujourd'hui, l'Homme est en mesure d'analyser ou de modifier le patrimoine génétique de n'importe quelle cellule, organisme ou espèce. Cela concerne en particulier son propre génome.

---

**a- Les organismes génétiquement modifiés, ou OGM**

L'introduction d'un gène étranger dans un organisme receveur (transgénèse) ou bien la modification ciblée d'un gène naturellement présent permettent de faire acquérir à des cellules et donc à des organismes, des propriétés nouvelles. On qualifie ces organismes d'« organismes génétiquement modifiés » ou OGM.

**Obtenir des OGM**

- Le choix du gène à introduire (transgène) ou à modifier est motivé par la connaissance de son rôle et de l'effet escompté au niveau de l'OGM.
- Le transgène a été préalablement cloné, ce qui permet de construire *in vitro* un vecteur moléculaire capable de transformer des cellules et d'y faire exprimer la séquence codante transgénique.
- Pour transformer des cellules, on leur injecte la « construction moléculaire » soit par micromanipulation, soit en utilisant un champ électrique intense, soit en utilisant un vecteur plasmidique ou viral.
- La reconstitution d'un organisme entier à partir des cellules transformées fournit un OGM capable de transmettre le transgène si celui-ci est présent dans les cellules germinales (cas des animaux) ou même somatiques (cas des végétaux).
- On reconstitue un OGM végétal à partir d'un cal issu de cellules transformées. La production de *Drosophile* transgénique se fait par transformation directe de l'embryon par une construction moléculaire. Une façon de produire un Mammifère transgénique est d'agréger des cellules transformées à un très jeune embryon obtenu *in vitro* puis à réimplanter cet embryon dans une « mère porteuse ».

**De multiples applications**

- Le domaine végétal oriente les utilisations des OGM vers deux directions : amélioration des qualités agronomiques (résistance à des agents infectieux ou à des ravageurs) et synthèse de molécules intéressantes pour l'Homme (« alicament »).
- Le domaine animal porte principalement sur des applications médicales, même si des effets sont actuellement recherchés chez des animaux d'élevage.
- Le domaine, plus traditionnel, de la microbiologie s'appuie aussi sur les OGM pour la production de protéines, souvent humaines, utiles à l'Homme : hormone de croissance, insuline, interféron.

---

**Un débat de société**

- Les modifications génétiques inquiètent de nombreuses personnes qui voient dans les OGM des risques de dispersion par transfert de gènes et une menace sur la biodiversité et l'environnement. Les consommateurs peuvent aussi appréhender de consommer des OGM ou des animaux nourris avec des OGM.
- Les soucis des chercheurs (mais aussi des décideurs politiques, des industriels et des législateurs) d'informer le public tend peu à peu à réduire ces craintes, mais le débat reste ouvert.

**b- Prévision et diagnostic en génétique humaine****La trisomie 21**

- Le risque qu'un fœtus soit atteint de trisomie 21 augmente considérablement avec l'âge maternel. C'est pourquoi une amniocentèse suivie d'un caryotype est systématiquement proposé à la femme enceinte à partir de 38 ans.
- De plus, toutes les femmes, quel que soit leur âge, se voient proposer un dosage sérique de protéines dont les concentrations peuvent être anormales en cas de trisomie 21.
- Si le risque que le fœtus soit atteint de cette anomalie chromosomique est élevé, une amniocentèse suivie d'un caryotype est proposée.
- Néanmoins, l'échographie reste la technique la plus efficace (mais plus tardive) pour détecter les anomalies fœtales. Dans ce cas, un diagnostic sera proposé aux parents.

**Les maladies géniques**

Dans le cas de maladies géniques, il n'est possible de calculer le risque pour un couple d'avoir un enfant atteint que dans certaines conditions :

- Pour une maladie autosomique récessive comme la mucoviscidose, lorsqu'il y a déjà eu naissance d'un enfant atteint, le risque est égal à  $\frac{1}{4}$ .
- Pour une maladie liée au sexe (myopathie de Duchenne ou hémophilie), lorsqu'il y a naissance d'un premier garçon atteint ou lorsqu'il y a suspicion de l'état conducteur de la mère par la connaissance de la généalogie, le risque est nul pour une fille et égal à  $\frac{1}{2}$  pour le garçon.
- Pour une maladie autosomique dominante, l'un des deux parents étant atteint, le risque est égal à  $\frac{1}{2}$ .

**Les diagnostics**

- Un diagnostic prénatal peut être réalisé si le risque d'une maladie génétique est élevé.
- Les chromosomes ou l'ADN fœtal proviennent de cellules amniotiques en suspension dans le liquide ponctionné par amniocentèse (vers les 16<sup>e</sup> ou 17<sup>e</sup> semaines de grossesses) ou de cellules du trophoblaste obtenues par biopsie (vers les 11<sup>e</sup> ou 12<sup>e</sup> semaines).
- Un diagnostic pré-symptomatique peut être réalisé sur l'enfant ou l'adulte, notamment pour les maladies qui se manifestent plus tardivement au cours de la vie comme la chorée de Huntington.

**c- La thérapie génique somatique**

Cette nouvelle technique consiste à modifier l'information génétique des cellules d'un tissu afin de corriger les effets d'un allèle pathologique.

**Les techniques**

- Le plus souvent, l'allèle pathologique est un allèle déficient. Le principe consiste alors à introduire un allèle fonctionnel dans des cellules cibles, judicieusement choisies : celles des tissus impliqués dans la pathologie. L'allèle « correcteur » s'y exprime et atténue ou supprime l'état pathologique.
- L'allèle correcteur peut être transféré dans des cellules qui ont été prélevées sur le patient et mises en culture. Une fois transformées et sélectionnées, ces cellules sont réintroduites dans l'organisme : c'est la thérapie génique *ex vivo*.
- L'allèle correcteur peut être transféré directement dans l'organisme, on appelle cette technique la thérapie génique *in vivo*. L'ADN est injecté dans les tissus du patient grâce à des vecteurs conçus pour permettre à l'allèle fonctionnel de s'intégrer dans le génome des cellules et de s'y exprimer. Des vecteurs comme les virus ou les liposomes sont à l'étude mais aucune application n'a encore été testée avec un succès total.

**Les problèmes rencontrés**

- Une des difficultés de la thérapie génique est d'obtenir un vecteur permettant un transfert efficace et stable sans toxicité pour le patient. Une autre difficulté majeure est l'identification et l'accessibilité des cellules cibles.

- La thérapie génique somatique pose moins de problèmes éthiques car la modification du génome n'affecte que le patient, et non sa descendance... donc sans effet sur l'espèce. Au contraire, la thérapie germinale entraîne des modifications des cellules reproductrices. Elle est réalisée sur les animaux mais n'est pas autorisée chez l'Homme.

### 1.3.2 Les nanobiotechnologies

Aujourd'hui nous avons plusieurs méthodes pour travailler à l'échelle atomique, les chimistes construisent atome par atome les molécules. Richard Feynman lors sa présentation de son exposé, a insisté que la chimie est un moyen puissant pour la conception moléculaire. Les physiciens utilisent des microscopes atomiques pour piéger les atomes et les molécules avec des pinces optiques, les bionanotechnologues seront armés d'une collection de biomachinerie naturelle afin d'exécuter des tâches spécifique à l'échelle du nano.

La bionanotechnologie est le domaine le plus **performant** que tout autre domaine en nanotechnologie. Les outils nécessaires pour concevoir des bionanomachines peuvent être disponibles partout **avec un ordinateur et un plan, la porte est ouverte** contrairement à la nanotechnologie basée **sur le silicium** qui coute chère en matière de matériel et de matériau.

La modification des biomachines naturelles a ouvert la porte devant plusieurs préoccupations, en effet, en provoquant des changements spécifiques sur des protéines naturelles, en liant entre des plans d'un ensemble de protéines, créant des **molécules hybrides** à fonctions combinées. En utilisant ces propriétés, on peut machiner des bactéries pour produire une quantité considérable de mutants ou de chimères.

### 1.4- Définition des Biotechnologies vertes, blanches et rouges

Les applications de la biotechnologie sont très diverses, et concernent notre quotidien. De nombreux auteurs classent ces applications selon des domaines auxquels ils donnent des couleurs (Tableau 1)

**Tableau 1 : Principales applications de la biotechnologie utilisant le code des couleurs**

D O M A I N E S	A P P L I C A T I O N S
<b>Biotechnologie rouge / Médecine</b>	<b>Production de vaccins et d'antibiotiques</b> <b>-Techniques de diagnostic moléculaire</b> <b>-Industrie pharmaceutique et cosmétique</b>
<b>Biotechnologie verte / Agriculture</b>	<b>-Production de variétés végétales modifiées</b> <b>-Production de races animales modifiées</b> <b>-Production de biofertilisants et de biopesticides</b> <b>-Agroalimentaire</b>
<b>Biotechnologie Jaune / Environnement</b>	<b>-Entretien de la biodiversité</b> <b>-Dépollution</b>
<b>Biotechnologie blanche / Industrie</b>	<b>-Procédés industriels (conception et production de nouveaux matériaux à usage quotidien comme les matières plastiques, textiles ...) non polluants.</b> <b>-Développement de nouvelles sources d'énergie durables comme les biocarburants.</b>
<b>Biotechnologie bleue / Mer</b>	<b>-Exploitation des ressources maritimes pour créer de nouveaux produits.</b> <b>-Production de biomatériaux et agents pharmacologiques régénératifs.</b>

#### 1.4.1 Les biotechnologies vertes

Les termes biotechnologie verte (BV) et biotechnologie des plantes sont des synonymes qui désignent, dans leur sens le plus large, l'utilisation de méthodes modernes telles que la culture de tissus et la sélection assistée par marqueur (SAM) pour l'amélioration des plantes. Dans un sens plus étroit, ces termes renvoient à l'emploi



de la biotechnologie pour modifier le patrimoine génétique d'une plante cultivée. C'est précisément sur ce domaine, le plus controversé de la BV, que se concentrent ces directives. (planche 1 Amélioration du chou)

Les biotechnologies vertes s'appliquent aux domaines de l'**agriculture** et de l'**agroalimentaire**.

#### **a) La biotechnologie verte aujourd'hui et demain dans les pays en développement**

Aujourd'hui, la culture de plantes génétiquement modifiées (PGM) dans les pays en voie de développement se limite principalement à des variétés de soja, de maïs de canola et de coton, dotées de gènes tolérants aux herbicides et résistants aux maladies.

De nombreux pays voient la modification génétique de plantes de culture comme un moyen de réaliser leurs objectifs de développement agricole, pour autant que cette technologie contribue à réduire la faim et la malnutrition et à promouvoir les capacités techniques locales.

#### **b) Avantages et inconvénients**

Les avantages sont l'**amélioration d'espèces végétales d'intérêt économique**, l'amélioration de la **productivité** de l'agriculture et la fabrication de nouveaux produits par les plantes, comme par exemple des **molécules thérapeutiques** ou des **sources renouvelables d'énergie**. L'ingénierie génétique végétale peut entre autres procurer aux plantes des propriétés de **résistance** à la sécheresse, aux pesticides, aux herbicides ou à des insectes nuisibles et améliorer leur système racinaire.

Les organismes génétiquement modifiés (OGM) sont devenus le point de mire d'un **débat social, politique et scientifique** qui entraîne de nombreuses interrogations : avec leur résistance accrue aux maladies et aux stress environnementaux, les OGM vont-ils **perturber l'écosystème** ? Leur contact sera-t-il **bénin ou polluant**? La **biodiversité** sera-t-elle mise en péril et les **variétés traditionnelles** seront-elles supplantées par les variétés génétiquement modifiées ?

### **1.4.2 Les Biotechnologies Rouges**

Les biotechnologies rouges concernent les domaines de la santé (humaine et vétérinaire), du médicament, du diagnostic, de l'ingénierie tissulaire ainsi que le développement de procédés génétiques ou moléculaires ayant une finalité thérapeutique.

C'est dans cette catégorie que les efforts les plus importants ont été entrepris. On a estimé, en 2010, 80 % des nouveaux médicaments seront issus, directement ou indirectement, des biotechnologies modernes, ce qui explique l'engouement des industriels et des financiers, en particulier aux États-Unis. C'est aussi dans cette catégorie

que les biotechnologies utilisant les cellules souches embryonnaires, les techniques du clonage et les outils de diagnostic génétique posent de redoutables questions d'éthique et imposent des limites d'emploi.

#### - **Outil de la Biotechnologie Rouge**

Grâce aux outils du génie génétique et à la connaissance du génome humain, on obtient de nombreuses informations permettant d'identifier des cibles moléculaires nouvelles qui sont d'une grande importance dans l'approche thérapeutique des pathologies humaines ou animales. On peut estimer entre 5 000 et 10 000 le nombre de ces cibles potentielles, alors que, aujourd'hui, seules moins de 500 d'entre elles sont exploitées. Repérer dans cette abondance les plus pertinentes représente un véritable défi. L'usine cellulaire, qu'elle soit bactérienne ou eucaryote, se révèle d'une remarquable efficacité, capable de fabriquer de manière plus ou moins fidèle, des molécules ou des substances qu'aucun chimiste ne pourrait synthétiser.

### **1.4.3 Les biotechnologies Blanches**

les biotechnologies blanches (aussi appelées biotechnologies de l'industrie ou biotechnologies industrielles) constituent une catégorie particulière de biotechnologies. Elles sont relatives aux procédés industriels. Leur ambition est de produire durablement des substances biochimiques, des biomatériaux et des biocarburants à l'échelle industrielle et à partir de ressources renouvelables.

#### **a) Les biotechnologies blanches, des biotechnologies anciennes**

Dans l'Antiquité déjà, on utilisait des levures pour l'élaboration de bières et les enzymes contenues dans des excréments d'animaux pour le tannage des peaux. Plus récemment, le génie biochimique a permis d'exploiter des micro-organismes pour produire des composés chimiques ou biologiques. Par ailleurs, les découvertes en génétique n'ont fait qu'accélérer les développements.

#### **b) Exemple de biotechnologies industrielles : la biocatalyse**

Parmi les procédés mis en œuvre par les biotechnologies blanches figurent l'utilisation d'enzymes des protéines produites par tous les organismes vivants comme catalyseurs de réaction chimiques. Contrairement aux catalyseurs chimiques, les enzymes sont relativement peu énergivores et agissent dans le respect de l'environnement, notamment dans le secteur de la fabrication du papier ou de la production de détergents.

### c) **Biotechnologies blanches et fermentation**

Certains micro-organismes, comme les levures ou les bactéries, sont capables de transformer des substances organiques (sucres, huiles, etc.) en une large gamme de produits. Ainsi, par exemple, certaines bactéries utilisent le sucre du maïs comme combustible pour réaliser leurs processus cellulaires. Il en découle un sous-produit polymère, un bioplastique, en somme.

#### **1.5 Les produits type de la Biotechnologie**

Les biotechnologies permettent de créer globalement les mêmes choses que les autres technologies (mécanique à l'échelle humaine, micro et nanotechnologies) : des **matériaux**, des **systèmes** (mécaniques, optiques, hydrauliques...) et des **technologies de l'information et de la communication** (unités de traitement, de communication, de mémoire ou d'interface).

##### **1.5.1 Des matériaux**

On pense évidemment à des matériaux biologiques et même la **création d'espèces vivantes** nouvelles, mais les protéines peuvent également créer des matériaux non biologiques (c'est déjà ce qui se passe dans l'ostéogénèse lors de la création de la matrice minérale de l'os en calcium). La production des matériaux biologiques et d'organismes vivants sont parmi les premières applications des biotechnologies :

- Les médicaments et la santé
- L'alimentation humaine et animale
- L'agriculture et l'élevage
- Les cosmétiques
- Le luxe biotech : restauration d'œuvres d'art (par exemple les Nymphéas de Monet restaurées par des enzymes)
- Les enzymes et les autres intermédiaires chimiques
- L'énergie : réduction de la consommation et production de biomasse pour produire de la bioénergie
- L'environnement : réduction ou retraitement des déchets, assainissement de l'air ou de l'eau
- Les matières premières (matériaux passifs)

## **1.5.2 Des systèmes mécaniques, optiques...**

On sait déjà par exemple réaliser des robots marcheurs bipèdes avec des brins d'ADN, la bioluminescence s'intéresse à des propriétés optiques particulières du vivant...

## **1.5.3 Des Technologies de l'information et de la Communication (TIC)**

Les laboratoires travaillent sur de la **mémoire ADN** mais également à l'utilisation de l'assemblage de chaînes de nucléotides de l'ADN pour faire des calculs parallèles (type voyageur de commerce) à l'aide de la traduction de l'ARN en protéine en fonction des substances présentes dans la cellule (fonctions logiques du type : si A et >B ou C sont présents alors l'ARN est traduit) .

## **Quelques exemples des produits types des biotechnologies**

### **1- La production d'une huile de tournesol alimentaire**

Le tournesol est considéré comme la première plante annuelle cultivée spécifiquement pour son huile. La production mondiale est d'environ 27 millions de tonnes et la France se place au premier rang des producteurs européens avec une production de 1.9 millions de tonnes. La nécessité de produire des huiles à des fins alimentaires préservant la santé justifie nos recherches entreprises dans ce secteur important.

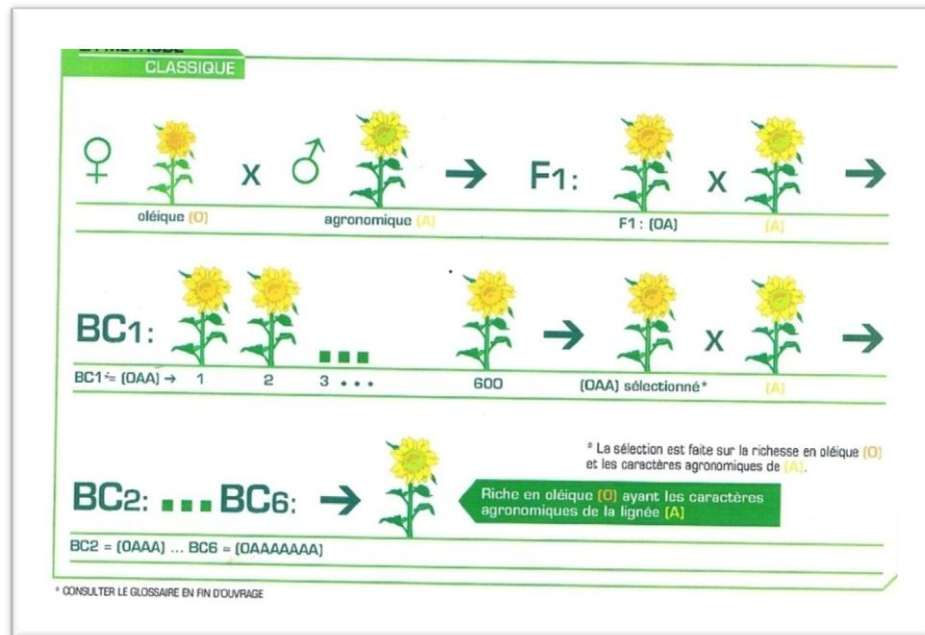
#### **1-1 Qu'est-ce qu'une huile de bonne qualité ?**

Comme toutes les huiles végétales, l'huile de tournesol renferme des acides gras dont l'acide oléique. La composition de l'huile chez les variétés classiques dépend principalement du génotype. On parle de « **génotype oléique** » de tournesol lorsque la teneur en acide oléique dans l'huile dépasse 75%. L'acide oléique possède des qualités nutritionnelles contribuant au bon équilibre de l'alimentation. L'huile de tournesol oléique entre dans la composition des huiles de table. Une huile riche en acide oléique est moins susceptible à la dégradation par oxydation, elle est d'aussi bonne qualité que l'huile d'olive. De plus sa bonne stabilité la rend plus propre à la cuisson, et justifie qu'on la recommande pour les fritures.

#### **1-2 L'amélioration de la qualité de l'huile de tournesol**

Le point de départ de cette amélioration consiste d'un croisement entre les génotypes oléiques et des variétés d'intérêt agronomique à faible teneur. Il existe deux méthodes principales :

**La méthode classique** : qui consiste à sélectionner des génotypes riches en acide oléique (O) et à les croiser avec des génotypes d'intérêt agronomique (A) (**Figure 1**). L'hybride F1 est croisé avec A afin de former la première génération de « Back cross »(BC1). Les plantes BC1 sélectionnées pour les caractères de A et riches en oléique sont croisées à nouveau par « A » pour former les BC2. Après 5 générations de BC on obtiendra une nouvelle lignée « A » enrichie en acide oléique. Cette méthode est basée sur la sélection par analyse chimique et sur observation des caractères agronomiques.



**Figure 1 : Méthode classique de l'amélioration du tournesol**

**La méthode biotechnologie assistée par marqueur** : elle est basée sur le marquage moléculaire, venant soutenir la méthode classique de sélection. En utilisant cette méthode, on peut sélectionner plus facilement les recombinaisons pour accumuler dans un même génotype des gènes ou segments chromosomiques favorables. Elle permet donc de surmonter des problèmes rencontrés avec la méthode classique, de gagner en temps et en précision (**Figure 2**)

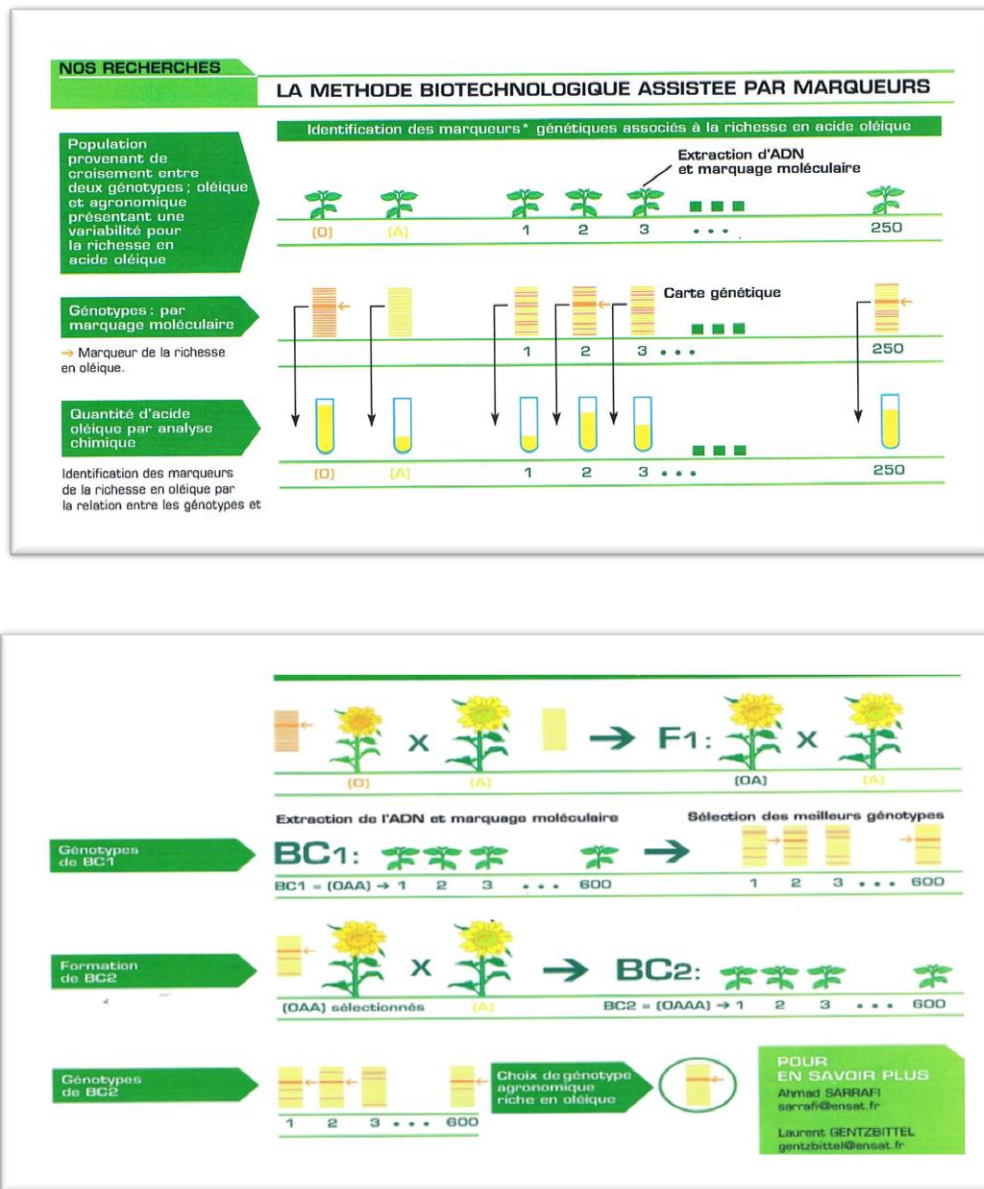


Figure 2 : Méthode biotechnologie assistée par marqueur

## 2- Combustibles et produits organiques comme alternative au pétrole

Le pétrole est une matière première non renouvelable, ce qui signifie que son usage incontrôlé ou croissant est limité. La biotechnologie utilisant quant à elle des matières renouvelables, son usage contrôlé peut s'étendre à l'infini. En cas d'épuisement du pétrole, la biotechnologie peut donc apporter deux solutions :

- d'une part, de nouveaux combustibles et,
- d'autre part, une source alternative de produits organiques.

L'utilisation des déchets de la fabrication du sucre de canne pour obtenir de l'alcool est un exemple de procédé entraînant des économies d'énergie.

Le méthane, issu de la fermentation des déchets agricoles (biogaz), est un autre combustible potentiel issu de la biotechnologie. Il s'agit là d'une biotechnologie facilement adaptable à des sociétés agricoles ne disposant pas de grandes ressources.

Le combustible biotechnologique le plus sophistiqué et peut-être le plus recherché est l'hydrogène dérivé de la biophotolyse de l'eau. Cette technologie est basée sur l'association de la capacité photosynthétique de la chlorophylle des cellules végétales et l'activité d'hydrogénase d'un enzyme d'origine bactérienne. Les grands avantages de ce combustible dérivé de l'eau est qu'il ne produit pas de pollution lorsqu'il brûle et que son réactif original se régénère. Malheureusement, cette technique est encore à l'étude.

### **1.7 Les défis d'innovation des biotechnologies**

Depuis le début des années 80, les biotechnologies sont considérées comme des domaines stratégiques, tant dans les pays développés que dans les pays en développement. Les perspectives fantastiques qu'elles peuvent offrir, dans l'agriculture et l'agroalimentaire en particulier, ont justifié d'importants efforts de recherche de la part des institutions publiques et des industriels. Pourtant, les biotechnologies ne se sont pas développées aussi vite qu'annoncé et les produits qui en sont issus sont encore peu nombreux. Les scientifiques et les industriels, chacun dans sa spécialité, ont en effet sous-estimé les contraintes à la diffusion des innovations dans le domaine des biotechnologies et du génie génétique en particulier. De plus, les progrès scientifiques ne sont plus perçus aujourd'hui, du moins dans les pays développés, comme des garanties automatiques de progrès social et économique. Il importe donc d'inverser les raisonnements et de partir des grands enjeux socio-économiques, et non des technologies, pour définir les objectifs de la recherche agronomique. Dans un tel contexte, les biotechnologies, dont les potentialités sont immenses, il faut le réaffirmer, s'intégreront dans des perspectives claires au service d'un type de développement souhaité, dont :

- **L'adaptation de l'agriculture aux défis du changement climatique pour :**
  - Lutter contre les insectes, maladies et virus qui vont se multiplier.
  - Développer des plantes tolérantes à la sécheresse, ou consommant moins d'eau.
  - Augmenter la production par hectare déjà cultivé pour ne pas empiéter sur des « zones riches » en biodiversité (forêt, prairie).
- **Augmenter l'assurance d'une production constante et saine**

En proposant des semences améliorées de qualité, avec ou sans OGM, pour aider les agriculteurs à être moins tributaires des aléas économiques (prix, marchés) ou climatiques.

Les OGM peuvent ainsi les aider à mieux prévoir leurs récoltes, assurer la régularité de la production d'une année sur l'autre, et aider ainsi à réduire les risques de volatilité des prix.

### **Des exemples d'utilisation des biotechnologies végétales pour répondre aux défis alimentaires**

- **L'utilité des plantes tolérantes aux herbicides:** une étude menée au Brésil montre que, les cultures de soja, maïs et coton OGM ont permis de diminuer l'utilisation d'eau, de carburant, d'intrants ainsi que les émissions de Co<sub>2</sub>. Plus spécifiquement, le soja tolérant aux herbicides couplé à des techniques de non labour ou de travail du sol réduit, a contribué à augmenter la productivité de cette culture en réduisant le temps de travail, et en diminuant le coût des traitements insecticides (de 24 à 32 %). Il a aussi favorisé les doubles récoltes sur une année, avec des variétés d'hiver et d'été.
- **L'utilisation d'additifs alimentaires OGM pour modifier L'écosystème dans la panse des ruminants :** des enzymes obtenues à partir de bactéries génétiquement modifiées sont autorisées depuis le 1er juillet 1999 en Europe et sont utilisées comme additifs dans les rations alimentaires pour le bétail. Elles améliorent la fermentation gastrique et limitent les émissions de gaz à effet de serre des bovins.
- **Le cas du riz doré Pour lutter contre la carence en vitamine A :** Le riz doré vise à compléter le riz en beta-carotène, précurseur de la vitamine A, nutriment essentiel pour l'alimentation infantile et adulte. Les dernières générations de riz doré produisent désormais 36 microgrammes de précurseurs de provitamines A par gramme de riz, soit 20 fois plus que les premières générations. Cette quantité semble désormais suffisante pour pallier des carences dans le cadre d'une consommation normale de riz. des variétés sont en cours de développement au Bangladesh, par exemple.



---

## Chapitre deux

### **Biotechnologies appliquées aux problématiques environnementales**

L'environnement est le milieu naturel dans lequel les êtres vivants évoluent. La gestion de l'environnement utilise depuis longtemps des procédés de biotechnologie au sens large du terme. Ainsi, en tant que programme de recherche et d'innovation, la vision du secteur émergent de la biotechnologie environnementale peut être considérée comme l'extension de celle de la biotechnologie.

#### **1- Le changement climatique et évolution des écosystèmes**

Les approches développées font appel à un large corpus de disciplines (écologie, biologie des populations, botanique, génétique, physiologie, informatique, etc.). Elles ont pour objectif d'étudier la dynamique des écosystèmes et leur réponse aux changements climatiques, en milieu naturel ou pseudo-naturel. Les approches se font aussi en milieu contrôlé, par exemple dans les enceintes confinées en serre ou en animalerie. Ces approches portent aussi sur les mécanismes d'adaptation des espèces à leur environnement aux points de vue génotypique, phénotypique ou biogéographique.. Les objets d'étude vont des microorganismes aux plantes et aux animaux, portent sur l'ensemble des écosystèmes (terrestres, aquatiques, sols), de l'équateur aux pôles avec une emphase sur les écosystèmes méditerranéens et tropicaux. Ceux-ci sont étudiés dans leurs relations avec les sociétés, afin d'en définir les modalités de gestion. Les espèces et communautés d'espèces sont appréhendées aussi bien au niveau de leur diversité, de leur structure, de leur organisation que de leur fonctionnement.

#### **2- Gestion des ressources microbiologiques, végétales et animales**

##### **2-1 la gestion des ressources microbiologiques**

Ils ont mis en évidence que les micro-organismes *procaryotes* (sans noyau), ubiquitaires dans l'environnement, jouent un rôle fondamental dans notre monde actuel et les cycles biogéochimiques globaux. Ainsi les objectifs prioritaires de la biotechnologie environnementale sont l'étude de l'écologie microbienne et la gestion des ressources microbiennes.

---

## **2-2 la gestion des ressources végétales**

La gestion des ressources végétales, incluant l'amélioration participative, joue actuellement un rôle important dans les communautés d'agriculture où les conditions sont défavorables en raison de fréquents problèmes environnementaux, climatiques et économiques. Ces pratiques peuvent contribuer à la construction d'un environnement agricole soutenable, avec l'augmentation des revenus et l'apport de bénéfices environnementaux et sociaux, créant ainsi les bases de la souveraineté alimentaire des communautés qui en viennent à acquérir leur autonomie en termes de production des semences.

## **2-3 La gestion des ressources animales**

Les ressources zoogénétiques constituent le patrimoine biologique de base pour le développement de l'élevage, et sont vitales pour la sécurité alimentaire et le développement rural durable. Pourtant, la valeur de ces ressources est mal comprise et leur gestion a été négligée. Ce phénomène a conduit à une érosion considérable de la diversité génétique, une tendance qui risque de s'accélérer face à un secteur de l'élevage évoluant rapidement pour répondre à un accroissement massif de la demande en produits issus de l'élevage.

Il est nécessaire d'améliorer l'utilisation et le développement des races d'élevage, ainsi que la conservation de races précieuses présentant actuellement peu d'intérêt pour les producteurs du secteur. La gestion des ressources zoogénétiques est fortement liée à toute une gamme de biotechnologies moléculaires et reproductives en évolution rapide, ainsi qu'à un ensemble de considérations de politique générale et d'ordre juridique et institutionnel.

## **3- Pollution agro-environnementales (eau, air, sol)**

### **3-1 Pollution des sols**

Il est clair que pour pratiquer une culture intensive, il faut utiliser des engrais et des polluants (pesticides, fongicides, herbicides) en grande quantité. Ce genre de pratique contre-nature a pour effet de stériliser rapidement les terres. Il faut alors utiliser encore plus d'engrais et de polluants. Après quelques années de semblable traitement, les terres ne produisent plus rien.

De plus, les nappes phréatiques sont contaminées. Si l'usage excessif d'engrais et de polluants chimiques provoque une pollution des sols et des nappes phréatiques, il provoque également, cela va de soi, une pollution des plantes et des organismes qui les consomment.

### **3-2 Pollution des eaux**

La mise en cause du rôle éminent de l'agriculture dans la pollution des eaux vaut particulièrement pour de nombreux pays, où, les rivières et aquifères souterrains continuent à être largement pollués par les pesticides agricoles. 5 % seulement des prélèvements effectués dans les cours d'eau étaient de très bonne qualité et compatibles avec le développement sans risque de la vie aquatique et avec une utilisation comme eau potable sans traitement. Dans 40 % des cas, la présence de pesticides entraîne une qualité moyenne, médiocre ou mauvaise des eaux, nécessitant des traitements spécifiques avant de pouvoir être utilisée comme eau potable.

### **3-3 Pollution de l'air**

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé, les écosystèmes ...

L'élevage et l'agriculture sont des secteurs participant à la pollution de l'air, et représentant à eux seuls, la principale source d'émissions d'ammoniac soit 97 % des émissions totales (Engrais), effluents d'élevage, fertilisants et alimentation animale sont les principaux facteurs responsables de cette contamination.

## Chapitre 3

### Biotechnologie en agronomie à des fins alimentaires

#### I-Introduction (biotechnologie alimentaire : .

La biotechnologie alimentaire est utilisée pour améliorer la nutrition, relever la sécurité et la qualité des aliments, et pour protéger les cultures vivrières et les animaux contre des maladies qui sinon menaceraient la stabilité, le côté abordable et le caractère sain de notre approvisionnement alimentaire. Ainsi la biotechnologie a un rôle à jouer pour assurer que des aliments sains et abondants puissent être produits sur les terres agricoles existantes afin de répondre aux besoins croissants de la population croissante de la planète.

#### 2- Biotransformation

La biotransformation de divers polluants est un moyen durable de nettoyer les environnements contaminés. Ces méthodes de bioremédiation et de biotransformation exploitent la diversité catabolique microbienne naturelle pour dégrader, transformer ou accumuler une vaste gamme de composés comprenant des hydrocarbures (par exemple l'huile), des substances pharmaceutiques, des radionucléides et des métaux

##### 2-1 La biotransformation des déchets de volailles.

Les déchets de volailles (fientes : excréta et litière) ont été fermentés par des cultures pures de "*Lactobacillus plantarum*" et "*Pediococcus acidilactici*". Le produit, avant et après fermentation, a subi des analyses chimiques et microbiologiques. Cette fermentation a permis de baisser le pH du produit à 4,0. L'azote volatil total (ammoniac) disparaît complètement au cours de la fermentation et le taux de protéines (azote total) est conservé dans le produit final. Les populations microbiennes indésirables ont subi une grande réduction par les processus de fermentation. Les fientes traitées ont été utilisées ensuite pour substituer les sources de protéines dans l'alimentation animale.

##### 2-2 La biotransformation des déchets d'abattoir

Les déchets d'abattoir (sang et contenu du rumen) ont été fermentés par une culture pure de *Lactobacillus plantarum*. Le produit, avant et après fermentation, a subi des analyses chimiques et microbiologiques. Cette fermentation a permis de baisser le pH à 4,0 du produit final obtenu (biostabilisé). Les populations microbiennes indésirables ont subi une grande réduction par les processus de fermentation : les entérobactéries, les entérocoques, les staphylocoques et les clostridium se trouvent chacun à des niveaux inférieurs.

Le biostabilisant est utilisé ensuite pour substituer les sources de protéines dans l'alimentaire animale.

### **3- La conservation**

Les traitements de conservation appliqués aux aliments visent à préserver leur comestibilité et leurs propriétés gustatives et nutritives en empêchant le développement des bactéries, champignons et microorganismes qu'ils contiennent et qui peuvent dans certains cas entraîner une intoxication alimentaire.

#### **3-1 Techniques de conservation par chaleur**

Les méthodes utilisées pour la conservation sont essentiellement celles s'effectuent par chaleur :

##### **a- La pasteurisation**

Elle a pour but la destruction des micro-organismes pathogènes et d'altération. La technique utilisée consiste à soumettre les aliments à une température comprise entre 85° C et 100° C pendant une durée déterminée et à les refroidir brutalement. Avantage de cette méthode : elle préserve les caractéristiques des denrées alimentaires, notamment leur saveur. Les denrées pasteurisées comportent une date limite de conservation (DLC) et sont à conserver au frais.

##### **b- La stérilisation**

Il s'agit d'un traitement thermique à des températures supérieures à 100° C visant à détruire toute forme microbienne, ce qui assure la stabilité à température ambiante des denrées.

##### **c- Le traitement à ultra haute température (UHT)**

Avec cette méthode de conservation, le produit (lait, par exemple) est porté à une haute température au-delà de 135°C pendant une courte période (1 à 5 secondes) puis immédiatement et très rapidement refroidi. Il est ensuite conditionné aseptiquement. Ce traitement permet une conservation longue à température ambiante.

##### **d- L'appertisation (conserves)**

Ce procédé associe deux techniques :

Un conditionnement dans un récipient étanche.

Un traitement thermique (généralisation la stérilisation).

Les produits obtenus peuvent se conserver plusieurs années à température ambiante (5 ans maximum). Elles comportent une date de durabilité minimale, la date passée, la denrée perd de ses qualités gustatives ou nutritives sans pour autant constituer un danger pour celui qui la consommerait.

### **e- Les semi-conserves**

Les semi-conserves sont des denrées alimentaires périssables, conditionnées en récipients étanches aux liquides, et ayant subi un traitement de conservation (pasteurisation, salage, séchage, etc.) en vue d'en assurer une conservation plus limitée que les conserves.

Elles doivent être stockées au froid. Elles comportent le plus souvent une date limite de consommation, mais peuvent comporter, compte tenu de leur durée de conservation (le plus souvent de quelques mois), une date de durabilité minimale.

## **3-2 Techniques de conservation par le froid**

### **a- La réfrigération**

Cette technique consiste à abaisser la température pour prolonger la durée de conservation des aliments. À l'état réfrigéré, les cellules des tissus animaux et végétaux restent en vie pendant un temps plus ou moins long, et les métabolismes cellulaires sont seulement ralentis. La température des aliments réfrigérés est comprise entre 0 et + 4° C pour les denrées périssables les plus sensibles.

### **b- La congélation**

La congélation permet d'abaisser la température d'une denrée alimentaire de façon à faire passer à l'état solide l'eau qu'elle contient. Cette cristallisation de l'eau contenue dans la denrée permet de réduire l'eau disponible pour des réactions biologiques et donc de ralentir ou d'arrêter l'activité microbienne et enzymatique.

La congélation permet donc la conservation des aliments à plus long terme que la réfrigération. Généralement on considère que les températures d'inhibition de bactéries est de -8°C, pour les levures -10°C et -12°C pour les moisissures. Le froid en fait réduit le nombre de certains microorganismes qui y sont très sensibles, mais il ne diminue pas les populations microbiennes prés-existants.

### **c- La surgélation**

La surgélation consiste à congeler rapidement une denrée saine et en parfait état de fraîcheur, en abaissant sa température très rapidement jusqu'à moins 18° C en tous points. Grâce à ce procédé, l'eau contenue dans les cellules se cristallise finement limitant ainsi la destruction cellulaire. Les produits ainsi traités conservent leur texture, leur saveur et peuvent être conservés plus longtemps. Les produits surgelés doivent-être étiquetés comme tels et ne doivent pas, au cours de leur stockage ou de leur transport, subir de variations de températures. **Ceux-ci ne doivent pas être recongelés après une décongélation.**

---

### **3-3 techniques de conservation par élimination d'eau**

#### **a-La lyophilisation**

La lyophilisation consiste à congeler un aliment puis à le placer sous vide : l'eau passe ainsi directement de l'état solide à celui de vapeur (sublimation). La forme et l'aspect des produits sont bien conservés, leur qualité aromatique est bien supérieure à celle des produits séchés. Du fait de son coût, cette technique est réservée aux denrées alimentaires à forte valeur ajoutée tels que les champignons, le café soluble, certains potages instantanés et les céréales pour petit déjeuner.

#### **b-Le salage**

Le salage vise à soumettre la denrée alimentaire à l'action du sel soit en le répandant directement à la surface de l'aliment (salage à sec), soit en immergeant le produit dans une solution d'eau salée (saumurage). Cette technique est essentiellement utilisée en fromagerie, en charcuterie et pour la conservation de certaines espèces de poissons (harengs, saumon, etc.) ou denrées alimentaires végétales (condiments).

#### **c- Le saumurage**

Le saumurage consiste à plonger des aliments (charcuteries, fromages, poissons, condiments, etc.), dans une préparation composée de sel, d'eau, de divers ingrédients (aromates, sucres, etc.) et éventuellement d'additifs autorisés.

#### **d- Le confisage**

Le confisage consiste à préparer des denrées alimentaires en vue de leur conservation en les faisant cuire lentement dans une graisse (de porc, d'oie, de canard), en les enrobant de sucre, en les plongeant dans du sirop de sucre (confiserie, fruits confits) ou en les mettant en bocaux dans de l'alcool (fruits à l'eau-de-vie), du vinaigre (câpres, pickles, cornichons, oignons) ou dans une préparation à l'aigre-doux(chutney).

#### **e- Le fumage ou la fumaison**

Il consiste à soumettre une denrée alimentaire à l'action des composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion de végétaux. Le fumage joue le rôle d'aromatisation et/ou de coloration. Il s'applique principalement aux produits carnés pour lesquels le séchage suivi du fumage permet de conserver les viandes et poissons grâce à l'action combinée de la déshydratation et des antiseptiques contenus dans la fumée.

### **3-4 Techniques de conservation par acidification**

La fermentation est la transformation naturelle d'un ou plusieurs ingrédients alimentaires sous l'action de levures, ou de bactéries. Les plus importantes transformations de denrées alimentaires par la fermentation sont au nombre de trois ; la fermentation alcoolique (vin), la fermentation lactique (choucroute, cornichons, fromages) et la fermentation acétique (vinaigre).

### **3-5 Autres techniques**

L'ionisation repose sur l'exposition des denrées alimentaires à l'action de rayonnements ionisants électromagnétiques qui a pour but d'augmenter la durée de conservation des aliments en éliminant les micro-organismes. Les sources de rayonnements ionisants font l'objet d'une liste exhaustive fixée par la réglementation. La liste des denrées alimentaires pouvant être traitées est limitée et concerne celles qui sont fréquemment contaminées et/ou infestées par des organismes et leurs métabolites, qui sont de nature à nuire à la santé publique (insectes, micro-organismes pathogènes, etc.).

Ce traitement de conservation correspond à une technique maîtrisée et encadrée par la réglementation, et n'a aucun rapport avec les contaminations accidentelles pouvant résulter du contact des denrées alimentaires avec des sources radioactives.

En complément des méthodes de conservation mentionnées auparavant, d'autres technologies de conservation telles que la microfiltration, le chauffage ohmique, procédé au cours duquel le produit est chauffé directement par un courant alternatif basse tension, les ultrasons, les hautes pressions, les champs magnétiques pulsés ou la lumière pulsée se développent.

Ces solutions qui permettent de traiter les produits d'une manière plus douce, parfois plus efficacement, en préservant leur propriétés gustatives et nutritives sont peu appliquées pour des raisons industrielles, réglementaires ainsi qu'économiques.

## **4-Production de matrice alimentaire en bioréacteurs**

### **4-1Définition**

Un aliment est une association de matières premières et de constituants, transformés à des degrés divers par différents traitements (mélange, cuisson, mise en forme, etc.) dont l'objectif est de lui conférer les fonctions d'usage recherchées. Celles-ci sont de plus en plus nombreuses et concernent des notions de sécurité et santé, de propriétés organoleptiques (aspect, texture, saveur et arôme). Ainsi est apparue la notion de matrice alimentaire qui intègre à la fois la composition et les interactions entre les constituants



Les matrices alimentaires résultent des interactions et des assemblages de leurs constituants. Il a été démontré que leurs propriétés physiques et chimiques influencent les propriétés nutritionnelles et la santé des consommateurs.

Une technique est utilisée dans la production des ces produits, il s'agit la fermentation.

#### **4-2 La fermentation**

La fermentation à son origine, servait pour conserver les aliments en favorisant la croissance d'une flore microbienne naturelle ou rajoutée. Depuis, les produits fermentés ont montré des qualités et des avantages confirmés pour la santé (probiotiques). On distingue la fermentation des produits laitiers, la fermentation du fromage, la viande et le poisson le pain, les légumes fermentées et la production de boissons alcoolisées.

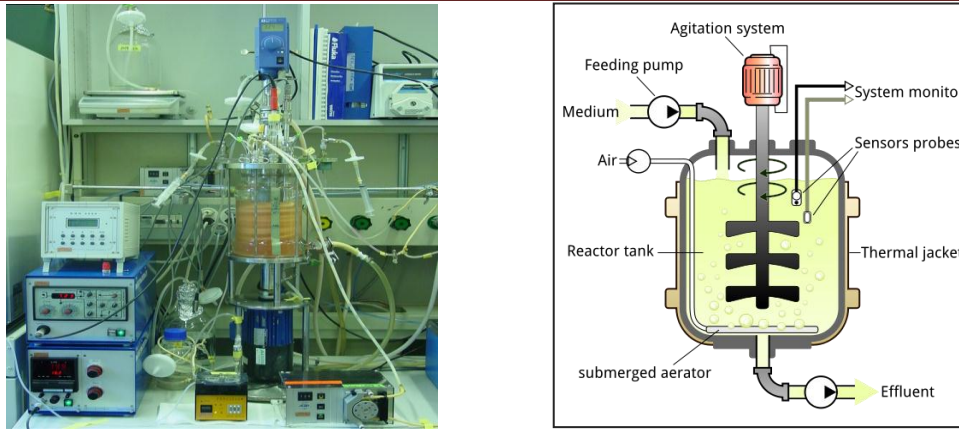
La fermentation est une réaction biochimique de conversion de l'énergie chimique contenue dans une source de carbone (souvent du glucose) en une autre forme d'énergie directement utilisable par la cellule en l'absence de dioxygène (milieu anaérobie). Comme le disait Louis Pasteur, «la fermentation, c'est la vie sans l'air.» On distingue :

**a- La fermentation alcoolique** est un processus biochimique par lequel des carbohydrates, principalement le glucose, sont décomposés en milieu anoxique en éthanol et en dioxyde de carbone.

**b- La fermentation lactique**, ou lacto-fermentation, est un mode de production d'énergie anaérobie qui, en présence de glucides et de bactéries spécifiques (les ferments lactiques), induit la formation d'acide lactique. Il est à l'œuvre dans la fabrication des produits fermentés à base de lait comme le yaourt.

#### **4-3 Le fermenteur**

Un bioréacteur , appelé également fermenteur ou propagateur, est un appareil dans lequel on multiplie des micro-organismes (levures, bactéries, champignons microscopiques, algues, cellules animales et végétales) pour la production de biomasse, ou pour la production d'un métabolite.



**Figure 3: dispositif d'un bioréacteur**

Contrairement aux systèmes plus simples utilisés pour faire pousser des micro-organismes, comme par exemple les fioles, le bioréacteur permet de contrôler les conditions de culture (température, pH, aération ,etc.), et de ce fait, il permet de récolter des informations de plus grande fiabilité.

## **5- Sécurité, traçabilité et qualité des aliments**

### **5-1 La qualité**

La qualité alimentaire est une notion plurielle qui fait appel à la mise en œuvre de compétences variées et s'insère dans une stratégie de développement durable. Elle recouvre en effet des concepts et des notions très diverses. La qualité alimentaire est définie comme étant "l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit, d'un processus ou d'un service qui lui confère son aptitude à satisfaire des besoins implicites ou explicites".

### **5-2 Sécurité alimentaire**

La sécurité sanitaire des aliments tient compte de tous les risques, chroniques ou aigus, susceptibles de rendre les aliments préjudiciables à la santé du consommateur. Cet impératif n'est pas négociable. Elle désigne un ensemble des caractéristiques propres aux produits alimentaires. Parmi celles-ci figurent des caractéristiques tant négatives - telles que l'état de détérioration, la souillure, la décoloration, les odeurs - que des caractéristiques positives telles que l'origine, la couleur, la saveur, la texture, ainsi que la méthode de traitement de l'aliment considéré. La distinction entre sécurité sanitaire et qualité a des implications pour l'action des pouvoirs publics et détermine la nature et la teneur du système de contrôle alimentaire le mieux adapté à des objectifs nationaux préalablement déterminés.

---

### **5-3 La traçabilité des aliments**

La traçabilité agroalimentaire est l'application des principes de traçabilité à la filière agroalimentaire, afin d'atteindre des objectifs de sécurité sanitaire des aliments. Elle vise à mieux qualifier les produits mis sur le marché, à une meilleure maîtrise des dangers et à abaisser les niveaux de risques. La traçabilité est en effet nécessaire pour remonter à la source d'un problème d'intoxication alimentaire ou d'une fraude. Elle est de plus en plus imposée par les certifications. Elle se fait surtout dans l'entreprise pour la prémunir en termes de responsabilité, et se fait de plus en plus au niveau de la chaîne logistique et de production, donnant une importance croissante aux échanges de données entre partenaires commerciaux (et « *de la fourche à la fourchette* » dans le cas des produits agricole).

## Chapitre 4

### Biotechnologies et industrie à des fins non alimentaires

#### 1- La Bioénergie

Elles ont pour objet la fabrication de produits (polymères, édulcorants, acides aminés, etc.), l'invention de procédés (bioraffinerie) ou la production de bioénergie à l'échelle industrielle à partir de l'utilisation de la biomasse considérée comme une matière première renouvelable. Ces matières premières (maïs, paille, sucre, betterave, bois, oléagineux, etc.) sont transformées en produits finis (acides aminés, enzymes, produits pharmaceutiques, ingrédients, polymères, édulcorants tensioactifs, bioplastique, bioéthanol, etc.), généralement grâce à des micro-organismes. Ces méthodes illustrent la transition progressive de notre système industriel depuis les matières premières primaires fossiles vers les matières biologiques renouvelables.

Donc La **bioénergie** désigne les formes d'énergie stockées par la biomasse (surtout par conversion photosynthétique d'énergie solaire). Il s'agit par exemple des cultures énergétiques, des résidus agricoles et forestiers, des déchets organiques, qui peuvent être utilisés pour produire de la chaleur, du froid, de l'électricité ou des carburants. Tant qu'elle n'est pas surexploitée elle est considérée comme « renouvelable » Les combustibles fossiles en sont exclus.

L'intérêt moderne pour la bioénergie a plusieurs origines :

1. la volonté de réduire des émissions de CO<sub>2</sub>, de méthane et d'autres gaz à effet de serre ;
2. recherche de sources d'énergie alternatives aux énergies fossiles, qui soient au moins en partie renouvelables.
3. indépendance stratégique vis-à-vis de celles-ci
4. opportunités récemment offertes par les biotechnologies (ex : éthanol cellulosique produit par génie génétique via des bactéries génétiquement modifiées)

#### Exemple de bioénergie :

- **Le biogaz** : c'est le gaz produit par la fermentation de matières organiques en l'absence d'oxygène. C'est un gaz combustible composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone

- **Le biocarburant** : ou **agrocarburant** est un carburant (combustible liquide ou gazeux) produit à partir de matériaux organiques non fossiles, provenant de la biomasse (c'est le sens du préfixe « bio » dans *biocarburant*) et qui vient en complément ou en substitution du combustible fossile.
- **Le bois énergie** est une des bioénergies issue de la biomasse. Beaucoup utilisé comme combustible primaire, il est de plus en plus transformé industriellement en sous-produit combustible (liquide, gazeux, ou solide). C'est une énergie considérée comme renouvelable, mais sa contribution à la pollution de l'air est « très élevée, comparée aux autres carburants ». En particulier, la combustion du bois génère beaucoup plus de particules en suspension que d'autres combustibles tels que le gaz naturel ou même le fioul.

## 2- Les biomatériaux et les agro-polymères

Un biomatériau est défini comme « *un matériau non vivant, utilisé dans un dispositif médical et conçu pour interagir avec des systèmes biologiques, qu'il participe à la constitution d'un appareillage à visée diagnostique ou à celle d'un substitut de tissu ou d'organe, ou encore à celle d'un dispositif de suppléance (ou assistance) fonctionnelle (Conférence de consensus, Chester, 1991)* ». Il est peu de thérapeutiques chirurgicales qui ne fassent appel à des biomatériaux : valves et simulateurs cardiaques, prothèses vasculaires, stents, prothèses articulaires, ligaments et tendons artificiels, substituts osseux, matériaux de restauration et de comblement dentaire, matériaux pour le comblement de rides, lentilles, ... etc. Le développement des biomatériaux a permis, depuis XX<sup>ème</sup> siècle d'améliorer l'intégrité et le confort de vie de personnes souffrent de problèmes fonctionnels

### 2-1 Les biomatériaux

Les biomatériaux représentent une des grandes avancées thérapeutiques de ces quarante dernières années. Définis comme des matériaux travaillant sous contrainte biologique, voués au remplacement d'une fonction ou d'un organe, ils sont présents dans de très nombreuses stratégies thérapeutiques.

- Selon la définition de Chester (1981), les biomatériaux sont tout matériau non vivant utilisé dans un dispositif médical et visant à remplacer ou traiter un tissu, organe ou une fonction avec une durée de contact supérieure à trois semaines. On estime à environ 3,2 millions les personnes qui en France sont porteuses d'un biomatériau.

- Les biomatériaux posent des problèmes scientifiques qui représenteront la substance centrale de cet exposé, mais posent aussi des problèmes économiques, éthiques, réglementaires et industriels qui ne sauraient être passés sous silence sans avoir une approche par trop réductrice. Il y a souvent confusion entre biomatériau et bio matériel. Il est en fait habituel de confondre ces deux notions même si au sens strict il ne faudrait parler que de biomatériau, c'est à dire une partie constituante du bio matériel. Élément primordial de certaines stratégies thérapeutiques, les biomatériaux partagent avec le médicament les exigences de sécurité, fiabilité, reproductibilité. D'utilisation plus récente, ils n'ont cependant pas atteint les mêmes niveaux d'exigence et pourtant la responsabilité est immense puisque si un traitement médicamenteux peut être interrompu à tout moment, un biomatériau une fois implanté ne pourra être retiré que lors d'une nouvelle intervention chirurgicale

## 2-2 Secteurs et champs d'application des agropolymères

**Recyclage** : engrais organiques, compost, bioconversion

**Matériaux** : bioplastiques à base de matières plastiques agrosourcés (maïs, patate douce, blé, canne à sucre, huile de ricin), caoutchouc, biopolymères et biocomposites

**Lubrifiants** d'origine végétale (huile de colza<sup>8</sup>) : graisses, huiles de chaîne, de décoffrage, fluides hydrauliques

**Papiers** : cultures lignocellulosiques

**Cuirs et Textiles** : coton, laine et fibres végétales (lin)

**Cosmétologie et Parfumerie**: détergents ,huiles essentielles et résinoïdes

**Paysagisme et Ornementation** : fleurs issues de la floriculture et autres plantes ornementales provenant de l'arboriculture et de pépinières

## 3- Biomolécules et activité cellulaire

### 3-1- Les Biomolécules :

Les Biomolécules sont des Composés chimiques que l'on trouve dans les organismes vivants, comme les acides aminés, les lipides, les glucides, les protéines, les polysaccharides et les acides nucléiques. Les biomolécules sont les composantes essentielles de la vie et remplissent d'importantes fonctions dans les organismes vivants.

### 3-2 Les activités cellulaires des biomolécules

Les extraits bruts des plantes sont une source potentielle de molécules naturelles bio-actives.

De nombreux extraits de plantes montrent des activités antibactériennes, anti-oxydantes et anti-inflammatoires (Ben- Shaul et al., 2000 ; Briens et Grenet, 2001 ; Tzung-Hsun et al., 2005 ).

#### **a- Activité antibactérienne**

L'huile essentielle de thym, riche en phénols, est douée de propriétés antibactériennes facilement mise en évidence in vitro (Bruneton, 1999). L'huile essentielle de trois plantes dont *Thymus vulgaris* a été testée, par Bouhdid et ses collaborateurs (2006), pour leur activité antibactérienne, l'huile de *Thymus vulgaris* témoigne d'une activité antibactérienne intéressante sur les bactéries gram positives comme sur les bactéries gram négatives (Cheurfa et al., 2013)

#### **b- Activité anti-oxydante**

Des recherches rapportent que l'extrait de griffe-de-chat (*Uncaria tomentosa*) est un antioxydant efficace en même temps qu'un puissant inhibiteur de la production du TNF alpha,

Le facteur de nécrose tumorale (Aguilar et al., 2002). Yeh et al., en 2005 ont montré que la curcumine est un puissant antioxydant qui apporte une protection efficace contre les lésions occasionnées par les radicaux libres.

Les extraits de *Cissus quadrangularis* montrent de fortes activités anti-oxydantes et neutralisatrices de radicaux libres dans différents systèmes in vivo et in vitro (Mallika et al., 2005 ), susceptibles d'expliquer leur efficacité sur les tissus lésés. Ils inhibent la peroxydation lipidique, la production de radicaux libres et stimulent l'activité des enzymes anti oxydantes (Jainu et al., 2005).

#### **c- Activité anti-inflammatoire**

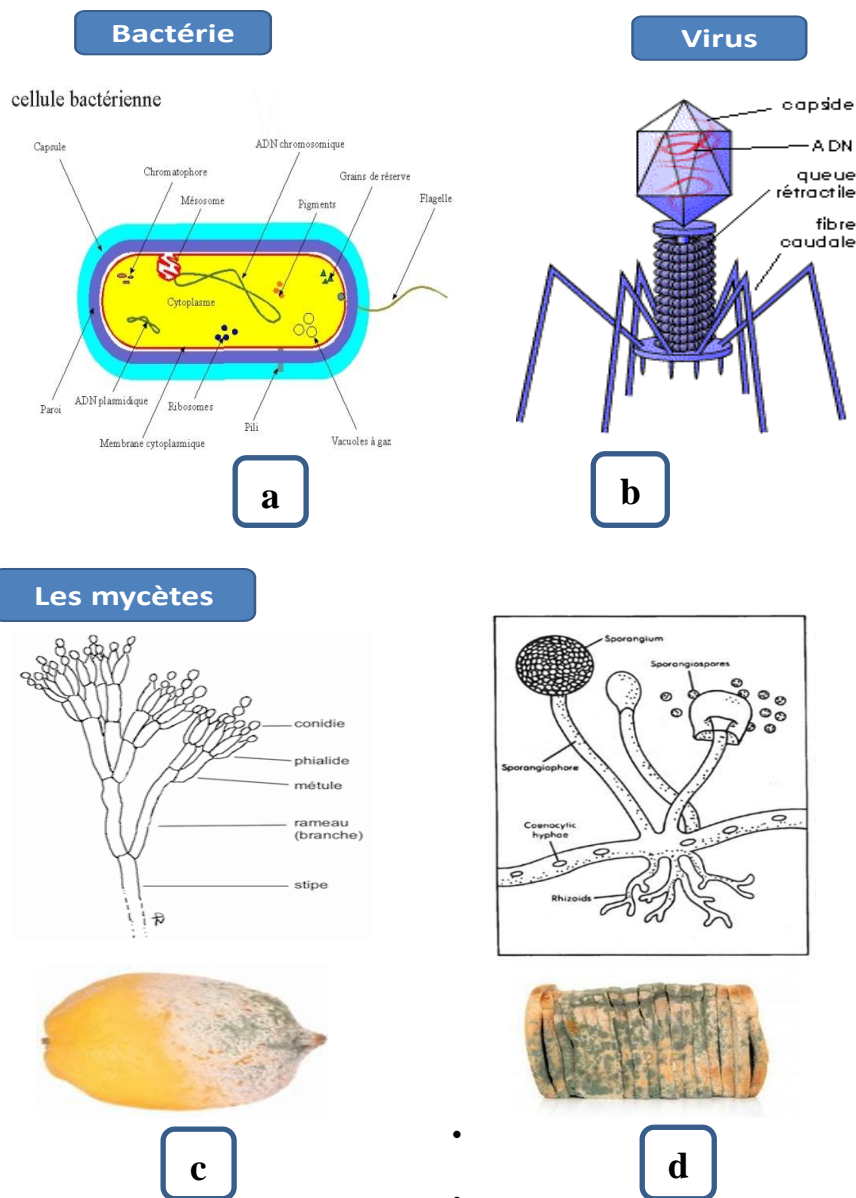
Les propriétés anti-inflammatoires du gingembre sont connues depuis des centaines d'années. Au cours de ces 25 ou 30 dernières années, de nombreux laboratoires ont apporté des preuves scientifiques soutenues par les connaissances anciennes que le gingembre contient des composants ayant des propriétés anti-inflammatoires. La découverte, au début des années 1970 montrait que le gingembre exerce des effets inhibiteurs sur la production de prostaglandines a été confirmée a plusieurs reprises. Le gingembre agit sur la synthèse des prostaglandines en inhibant les Cox-1 et Cox-2. Il réduit également la biosynthèse des leucotrienes en inhibant la 5-lipoxygenase. Ainsi, par ces différentes voies, le gingembre module l'inflammation (Grzanna et al., 2005).

## Chapitre 5

### Biotechnologies microbiennes et infectiologies

#### Définition des micro-organismes

Les micro-organismes aussi appelés microbes et protistes, forment un ensemble d'organismes vivants microscopiques, invisibles à l'œil nu. C'est leur seul point commun, car ils diffèrent et varient par leur morphologie, leur physiologie, leur mode de reproduction et leur écologie. Les protistes se composent : des bactéries, des protozoaires, des champignons (Mycètes) microscopique, et des algues. Les virus sont considérés comme des micro-organismes non vivants, acellulaires qui dépendent entièrement des cellules hôtes infectées. (figure 4)





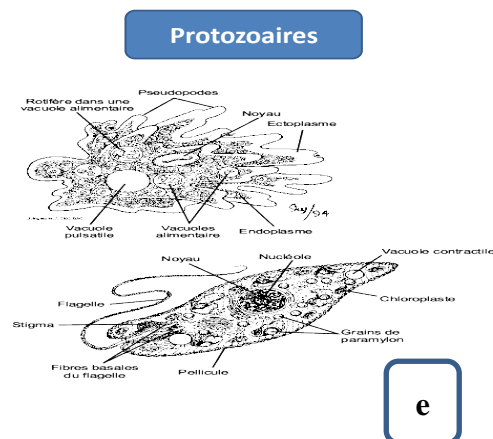


Figure 4 : structures cellulaire de différents microorganismes et protozoaires :

a: structure d'une cellule bactérienne, b; structure d'un virus, c et d; observation microscopique des mycètes à partir des échantillons, e ; cellule d'un protozoaire

**On peut également transformer les microbes avec un gène d'intérêt de manière à ce qu'il produise une substance désirée. Par exemple, l'insuline humaine est produite par des bactéries dans lesquelles le gène codant pour l'insuline humaine a été introduit.**

## 1- La biotechnologie microbienne

En biotechnologie, les microbes sont utilisés pour leur facilité de culture et leur rapidité de croissance. De nombreux composés intéressants pour les industries sont produits naturellement par certains micro-organismes (médicaments, antibiotiques, vitamines).

On peut également transformer les microbes avec un gène d'intérêt de manière à ce qu'il produise une substance désirée. Par exemple, l'insuline humaine est produite par des bactéries dans lesquelles le gène codant pour l'insuline humaine a été introduit.

## 2- Les diagnostics

Le diagnostic est le raisonnement menant à l'identification de la cause (l'origine) d'une défaillance, d'un problème ou d'une maladie.

Donc un diagnostic se réfère à l'ensemble des altérations de santé, que d'une maladie, qui désigne alors une entité particulière caractérisée par des causes, des symptômes, une évolution et des possibilités thérapeutiques propres.

### 3- Les voies thérapeutiques

#### 3-1 Définition

- Branche de la médecine qui étudie, enseigne la manière de traiter les maladies et les moyens propres à guérir, à soulager les malades.

- Ensemble des moyens propres à lutter contre les maladies, à rétablir, préserver la santé.

#### 3-2 diagnostics spécifique et non spécifique

##### On distingue:

##### Diagnostic non spécifique

- Analyse biochimique
- Analyse hématologique
- Analyse cytopathologique, histologique,....

##### Diagnostic spécifique

- Mise en évidence de l'agent infectieux (pvt)
- Mise en évidence des anticorps spécifiques (IgG et IgM)

#### a) Classification par objectif

La thérapeutique ou le traitement peut être **théoriquement** classé selon le but global poursuivi pour l'individu :

- **curatif**, dont l'objectif est d'obtenir la guérison d'une personne malade (exemple : fracture d'un fémur d'origine traumatique chez un individu sain) ;
- **palliatif**, dont l'objectif est de soulager les manifestations d'une maladie (exemple : fracture d'un fémur d'origine pathologique chez un individu en fin de vie) ;
- **préventif**, dont l'objectif est de prévenir l'apparition d'une maladie (exemple : accident de la voie publique, ostéoporose et risque de fracture).

#### b) Classification par modalité

On peut classer un traitement, selon le type d'acte dispensé, en traitement médical, chirurgical ou médicotéchnique.

- **Traitement médical**

Le traitement médical fait intervenir un pharmacien, un médecin ou un infirmier, le plus souvent à l'aide de mesures hygiéno-diététiques (conseil sur le mode de vie et l'alimentation, éducation thérapeutique) et de médicaments par voie injectable ou non.

D'autres procédés font partie du traitement médical. La rééducation fait intervenir un kinésithérapeute, un orthophoniste ou un ergothérapeute. La psychothérapie fait intervenir un psychiatre ou un psychologue. Le pansement fait intervenir un infirmier. Le massage et la physiothérapie font intervenir un kinésithérapeute. Il existe également l'hydrothérapie en rhumatologie, l'électro-convulsivothérapie et la luminothérapie en psychiatrie, et l'asticothérapie en dermatologie. Dans le cadre de soins d'urgence ou de réanimation, le traitement médical peut également concerner la pratique d'acte technique "simple" tel que le sondage des voies naturelles (urinaire, digestive, respiratoire) ou le massage cardiaque.

Il faut également citer ici le traitement non conventionnel qui regroupe différentes pratiques ayant en commun le fait de ne pas avoir de base scientifique théorique ni de preuve scientifique d'efficacité.

- **Traitement chirurgical**

Le traitement chirurgical fait intervenir un chirurgien qui va pratiquer une incision.

- **Traitement médicoteknique**

Plusieurs traitements sont à la frontière de la chirurgie. Le traitement radio-interventionnel fait intervenir un radiologue. Le traitement endoscopique fait intervenir un médecin endoscopiste. La radiothérapie fait intervenir un radiothérapeute. La photothérapie fait intervenir un médecin spécialiste.

### **C) Classification par méthode**

On peut classer le traitement selon la méthode employée :

- entretien oral : mesures hygiéno-diététiques, psychothérapie
- molécule chimique : traitement médicamenteux
- intervention mécanique : chirurgie, endoscopie, radiologie interventionnelle, oncologie physique, massage
- rayonnement ionisant : radiothérapie
- rayonnement électromagnétique non ionisant : photothérapie, luminothérapie
- onde ultrasonore : ultrason thérapie
- modification de température : thermothérapie, cryothérapie

- électricité : électrothérapie, électro convulsivothérapie
- eau : hydrothérapie
- animal : asticothérapie

#### **4-Lutte contre le dopage et l'utilisation de stupéfiants**

La notion de dopage a évolué avec l'apparition de nouvelles substances dopantes au cours du temps donc définir le dopage n'est pas une chose aisée. Celui-ci a toujours existé que ce soit au niveau sportif, en période de guerre (prise d'amphétamines par les pilotes de la Royal Air Force (RAF), par les marines engagés dans le conflit sud-est asiatique).

Le mot dopage est issu de l'anglais « To Dope » c'est à dire prendre un excitant Le dopage est utilisé pour:

- Les bonnes conditions physiques du corps ( bonne oxygénation des muscles, augmenter les capacités cardiaques ou respiratoires.....)
- Masquer une douleur et autres

Cependant l'admission des substances dopantes a plusieurs effets secondaires nocifs ;

- l'utilisation prolongée et intempestive d'anti-inflammatoires non stéroïdiens pour masquer une douleur peut engendrer, entre autre, l'apparition d'ulcères gastriques.
- Dépendance du corps de la substance dopante( en son absence, il y aura une accumulation de fatigue )

La lutte contre le dopage s'articule autour de deux axes nationaux essentiels.

Un axe institutionnel qui s'appuie sur le code des courses et une politique de contrôle dynamique et efficace. Une liste des substances prohibées est édictée mais, celle-ci est très restrictive et n'autorise l'utilisation que de peu de molécules comme certains antibiotiques.

Un axe scientifique qui s'appuie sur un laboratoire ultraperformant et des équipes de chercheurs à la pointe du progrès.

Au niveau international, une liste des substances prohibées est mise en place, celle-ci est semblable à celle utilisée en France mais elle demeure plus permissive. La tendance actuelle serait donc pour une harmonisation des politiques antidopage.

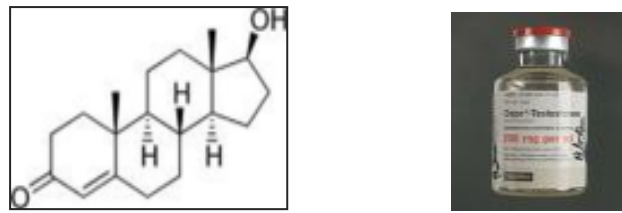
#### **Lutte contre l'utilisation des stupéfiants**

Un **stupéfiant**, aussi appelé drogue illicite, est un psychotrope interdit ou sujet à une réglementation, souvent parce qu'il est susceptible d'engendrer une consommation problématique.

-Voilà quelques différentes catégories ainsi que les effets qu'elles produisent sur l'organisme, en approfondissant plus particulièrement les deux dernières.

##### **➤ Les agents anabolisants**

Les sportifs, ayant besoin d'une masse musculaire importante, ont recours à des agents anabolisants. Ils sont dérivés par exemple de la testostérone, qui est l'hormone sexuelle mâle.

**La testostérone, de formule brute : C<sub>19</sub>H<sub>28</sub>O<sub>2</sub>****Figure5 : Structure chimique de testestérone**

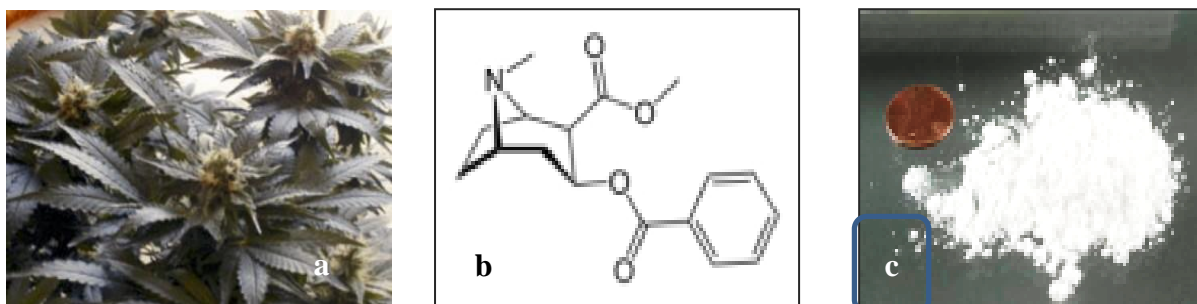
L'utilisation des agents anabolisants entraînent divers effets secondaires comme des troubles du comportement, des cancers du foie et de la *prostate*, ainsi que des ruptures tendineuses et des déchirures musculaires. Aussi, une atrophie des testicules, une impuissance et une infertilité.

**➤ Les stimulants**

Les stimulants, qui incluent par exemple les amphétamines et la cocaïne, permettent d'accroître la concentration, l'attention et de diminuer la sensation de fatigue.

**La cocaïne, de formule brute : C<sub>17</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>4</sub>**

La cocaïne est un alcaloïde naturel extrait des feuilles de cocaïer. La culture de coca est principalement localisée en Bolivie, en Colombie, au Pérou et en Équateur. Parmi les drogues dites « dures », la cocaïne est la plus répandue en Europe et dans le monde. Ceci fait de la détermination précise des zones de culture un enjeu majeur dans le cadre de la lutte contre les trafiquants, par exemple dans le cadre des campagnes de destruction des cultures de cocaïer menées conjointement par les différents pays d'Amérique du Sud et les États-Unis.



**Figure6 La cocaïne ; a : Feuilles et sommités florales de chanvre indien, b :structure chimique de la cocaïne, c : forme poudre**

Les principaux risques liés à la prise de ces substances sont l'agressivité, l'accoutumance et la dépendance, les troubles du rythme cardiaque et l'hypertension artérielle.

### ➤ Les narcotiques

Cette classe comprend entre autre la morphine et l'héroïne.

#### La morphine, de formule brute : $C_{17}H_{19}NO_3$



Figure7 :La morphine ; a : structure chimique de la morphine, b :solution injectable de la morphine

Ces produits provoquent un relâchement musculaire et une diminution de la douleur.

Les effets secondaires reconnus sont l'accoutumance et la dépendance, les troubles du comportement, la diminution de la vigilance et de la coordination, et les troubles respiratoires graves.

### ➤ Les bêta-bloquants

A l'origine, ces produits sont des médicaments destinés à lutter contre l'hypertension, les *arythmies cardiaques* et la migraine. Ils sont utilisés par les sportifs pour leurs effets anti-stress ainsi que pour régulariser et ralentir le rythme cardiaque. Le plus connu d'entre eux est le propranolol.

#### Le propranolol, de formule brute : $C_{16}H_{21}NO_2$



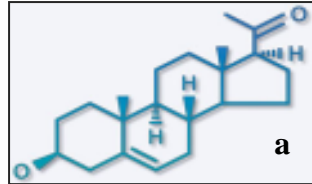
Figure 8 ; Le propranolol ; a- Représentation de la molécule Le propranolol b- Médicament

Parmi leurs effets nocifs, nous pouvons citer une chute de la tension artérielle, une impression de fatigue, un risque de dépression et une impuissance sexuelle en cas d'utilisation fréquente.

### ➤ Les glucocorticoïdes

Cette catégorie est composée de la cortisone, qui est une hormone normalement produite par les *glandes surrénales*, et de ses dérivés.

**La cortisone, de formule brute : C<sub>21</sub>H<sub>28</sub>O<sub>5</sub>**



**Figure 9 : La cortisone ; a- Représentation de la molécule cortisone, b- Médicament**

L'utilisation de ces substances repose sur leur action *antalgique* en diminuant la douleur et l'inflammation. Elles ont également un effet euphorisant provoquant alors une surexcitation, une stimulation de la volonté et un recul du seuil de la perception de la fatigue. Les glucocorticoïdes augmentent le taux d'acides gras libres dans le sang et permettent de ce fait une consommation accrue de lipides au moment de l'effort.

La prise de glucocorticoïdes entraîne une fragilisation des tendons, des muscles et des os, un risque d'infections diverses ainsi que des troubles psychiques et digestifs.

### ➤ Les hormones et substances apparentées

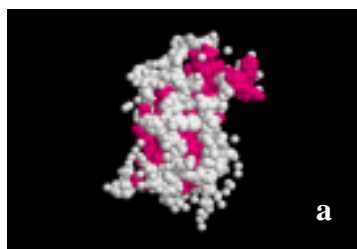
Les hormones, fabriquées par l'organisme ou provenant de la prise de produits de synthèses, permettent d'augmenter la masse musculaire et de gagner en endurance, en améliorant le transport d'oxygène vers le muscle.

Cette famille comprend :

- L'hormone de croissance (HGH) :

L'hormone de croissance (GH) est une hormone protéique fabriquée d'une façon naturelle dans l'hypophyse, une petite glande située à la base du cerveau. Comme il peut être artificiellement fabriqué

Hormone de croissance, de formule brute : C<sub>990</sub>H<sub>1529</sub>N<sub>263</sub>O<sub>299</sub>S<sub>7</sub>



**Figure 10 : Hormone de croissance ; a- Représentation de la molécule HGH., b- Médicament**

---

Cette hormone est une substance naturellement produite par le corps humain de l'enfance à la fin de la puberté. Elle est responsable de la croissance du squelette, des organes et des muscles. Elle est utilisée pour traiter le *nanisme*. Elle intervient dans la régulation des métabolismes du *glucose*, des *acides aminés* et des *acides gras*.

Lors d'un effort physique intense, la production de cette hormone augmente formidablement. Les sportifs, qui en consomment, recherchent à accroître leur masse musculaire, leur force, leur vitesse de contraction musculaire et à améliorer l'oxygénation du sang.

La consommation d'hormones de croissance peut être la cause d'une croissance anormale des organes, d'une *hypertrophie osseuse*, d'une hypertension, d'un diabète et de la maladie de Creutzfeld-Jacob (maladie de la vache folle). Cette hormone s'inscrit au premier rang des produits dopants indécélables.



## Références bibliographique

- Aguilar, L,J., Percy, R., Adolfo, M. (2002). Anti-inflmmatory activity of two different extracts of *Uncaria Tomentosa* (Rubiaceae).
- Bensakhria Ayoub (2017). La conception biomoléculaire et la biotechnologie.
- El Jalil, M,H., Faid,M., Elyachiou, M. (2003). Biotransformation des déchets de volailles et essai de valorisation dans l'industrie de l'alimentation animale.
- Bruneton, J. (1999) : Pharmacognosie. phytochimie, Plantes medicinales.Techniques et Documentation. Lavoisier.Paris.1120p.
- Chennaoui, M., FARID, Y., HAMDANI, A. (2012). Biotransformation des déchets d'abattoir en vue de leur valorisation dans l'alimentation animale.
- Deshayes, Alain. (1994). Les biotechnologies et les grands défis de l'avenir dans l'agriculture et l'agroalimentaire, cahier d'agriculture Montpellier France.
- Montadar, M., et Assobhei, O ( 2012). Biotransformation des déchets d'abattoir en vue de leur valorisation dans l'alimentation animale.
- Barraud, N. (2009). La biotechnologie environnementale, une voie vers le développement durable .
- Guide du communicant visant à améliorer la compréhension. (2013). 3ème édition.
- Jarne P., et Lebaron P. (2015). Changement climatique & Biodiversité et écosystèmes.
- Venessa Proux., 2015 : Biotechnologies : les promesses du vivant . Edition FYP Paris.
- Palhol Fabien. (2005). Cannabis, cocaine, ecstasy : quand la chimie lutte contre les trafics de drogues.
- Arrêté du 25 juin 1982 relatif aux traitements de conservation autorisés pour la préparation des semiconserves d'animaux marins.

- Centre d'activité Régionale pour la production propre Paris. (2003). Application de la biotechnologie dans l'industrie.
- Code de la consommation : Article R.412-18, Alinéa 9 du règlement (UE) n°1169/2011 et du conseil du 25 octobre 2011 concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires.
- Décret n°55-241 du 10 février 1955 relatif aux conserves et semi-conserves.
- Décret n°64-949 du 9 septembre 1964 concernant les produits surgelés.
- Décret 2001-1097 du 16/11/2001 relatif au traitement par ionisation des denrées destinées à l'alimentation humaine ou animale.

## Web graphie

<https://www.encyclo-ecolo.com/Biomatériau>-Les biomatériaux en médecine

[http://www.inra.fr/audiovisuel/web\\_tv/rencontres/sia\\_2011/limiter\\_les\\_ges\\_en\\_agriculture](http://www.inra.fr/audiovisuel/web_tv/rencontres/sia_2011/limiter_les_ges_en_agriculture) : Nouvelles pistes pour limiter les émissions de gaz à effet de serre en agriculture - changer l'alimentation des ruminants ?

[http://www.fondation-farm.org/zoe/doc/etude\\_secheresse\\_complete.pdf](http://www.fondation-farm.org/zoe/doc/etude_secheresse_complete.pdf): Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse ?

[http://www.inra.fr/audiovisuel/web\\_tv/rencontres/sia\\_2011/limiter\\_les\\_ges\\_en\\_agriculture](http://www.inra.fr/audiovisuel/web_tv/rencontres/sia_2011/limiter_les_ges_en_agriculture): Nouvelles pistes pour limiter les émissions de gaz à effet de serre en agriculture - changer l'alimentation des ruminants ?

<http://www.fao.org/DOCREP/003/X3910E/X3910E00.htm/> Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO):