

Centre universitaire de Mila
Institut des Sciences de la Nature et de la vie
Département de biotechnologie
2 Année SNV
Matière : Introduction aux biotechnologies

1. Introduction.

Les biotechnologies recouvrent l'ensemble des techniques qui utilisent les ressources d'organismes vivants (tissus, cellules, protéines ...) ou de leurs composants (gènes, enzymes...), recombinaison ou non, pour produire du savoir, des biens ou des "bioservices" (fourniture de services basés sur les biotechnologies comme la production de protéines, d'animaux transgéniques).

Les biotechnologies peuvent être définies comme « toutes les applications technologiques qui utilisent des systèmes biologiques, des organismes vivants ou leurs parties dérivées pour créer ou modifier, des produits ou des procédés à des usages spécifiques. » Les biotechnologies est l'utilisation des systèmes biologiques pour la fabrication de produits était connue des civilisations anciennes. On a en effet retrouvé des traces de la connaissance qui permet de croiser les espèces animales et les plantes pour mieux répondre à un besoin particulier jusque dans l'Égypte antique.

1.1. Les origines des biotechnologies.

Il y a quelque 10 000 ans, l'homme, en sélectionnant les espèces végétales ou animales dont il avait besoin, en semant ses récoltes et en faisant se reproduire son bétail, commençait déjà à modifier le monde vivant qui l'entourait pour améliorer son ordinaire.

Puis, il a observé et mis à profit les phénomènes de fermentations dus à des micro-organismes, levures et bactéries, dont il ignorait, évidemment, à l'époque, l'existence même. Il constate, ainsi, que des matières premières sont modifiées. :

- le sucre peut être converti en alcool et gaz carbonique à la base de la production de pain, de vin, de bière ;
- l'alcool peut être converti en acide acétique lors de la production de vinaigre ;
- des bactéries se multiplient dans du lait pour le transformer en yaourt.

Inventés souvent fortuitement, bière, vin, fromage... apparaissent ainsi, dans l'histoire des civilisations humaines, en différents points de la planète, plusieurs millénaires avant Jésus-Christ.

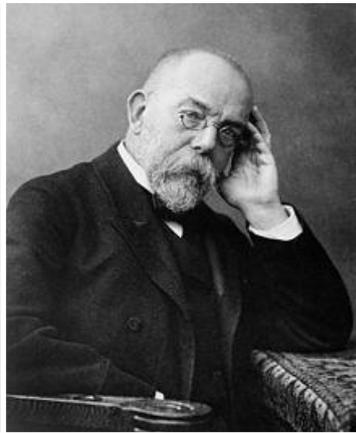
1.2. Évolution des biotechnologies dans le temps.

Au 19^{ème} siècle, les travaux de trois savants posent les bases de la biotechnologie moderne. Louis Pasteur et Robert Koch développent la bactériologie et les concepts de maladie microbienne, d'immunité et de vaccination.

Johann Grégor Mendel décrit lui les lois qui régissent la transmission des caractères biologiques entre les générations (lois de l'hérédité).



Louis Pasteur



Robert Koch



Johann Grégor Mendel

La seconde moitié du 20^{ème} siècle connaît une véritable accélération de la connaissance du vivant grâce aux progrès de la science et aux avancées technologiques. En 1944, le microbiologiste américain Oswald Avery démontre que l'ADN est le support de l'hérédité. En 1953, James Watson et Francis Crick poursuivent les travaux d'Avery : ils découvrent la structure de l'ADN, ce qui rend possible la manipulation directe des caractéristiques génétiques.



James Watson et Francis Crick

Les techniques d'insertion de gènes « étrangers » dans le patrimoine génétique des bactéries ont d'abord été développées **dans les années 1970**. Ces développements marquèrent une étape décisive dans la révolution de la biotechnologie.

Le premier produit issu de la biotechnologie moderne fut l'insuline recombinante, une protéine produite par le pancréas et utilisée par le corps pour réguler la concentration de glucose dans le sang. Les patients diabétiques ne pouvant plus produire leur propre insuline. En 1978, le gène de l'insuline humaine est transféré dans la bactérie *Escherichia coli*, dans le laboratoire d'Herbert Boyer à l'Université de Californie à San Francisco.

Depuis le milieu des années 1990, le domaine de la transgénèse est le plus médiatisé et toujours en expansion. Mais des progrès sont attendus dans les domaines des nanotechnologies et de la bio- informatique.

1.3. Les grands enjeux actuels des biotechnologies et bio-nanotechnologies.

- 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

- Les biotechnologies de la transgénèse sont aujourd'hui radicalement nouvelles : elles reposent sur des savoirs qui n'étaient même pas enseignés

- Aujourd'hui, on estime que plus de 20 % des nouveaux médicaments lancés dans le monde sont directement issus des biotechnologies, et 80 % des médicaments en cours de développement sont issus des découvertes ou des outils biotechnologiques. Mais les biotechnologies ne concernent pas seulement le domaine de la santé humaine: les enjeux pour la santé animale, l'agroalimentaire, l'industrie et l'environnement sont également considérables.

-Les perspectives économiques sont importantes. Comment financer des développements longs et coûteux ?

- 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.

1.4. Définition des biotechnologies rouges, blanches et vertes.

Les biotechnologies peuvent se classer en 3 catégories : rouge, blanche et verte.

- **La biotechnologie "rouge"** concerne les procédés médicaux comme la conception d'organismes pour produire des antibiotiques ou le développement de thérapies

géniques à travers les manipulations du génome (matériel génétique d'une espèce). touchent le domaine de la santé, en particulier l'industrie pharmaceutique dont une grande partie de la recherche actuelle repose sur les biotechnologies.

- **La biotechnologie blanche** (également appelée biotechnologie grise) est relative aux processus industriels, comme le développement d'organismes vivants destinés à la réalisation de production chimiques. Elle est généralement moins consommatrice de ressources que les procédés industriels traditionnels. Les premières utilisations sont dans les secteurs des polymères, des carburants, des dissolvants, de la construction, du textile, et de tous les produits à dominante chimique.

- **La biotechnologie verte** désigne les applications à l'agriculture : c'est le cas du développement des plantes transgéniques pouvant croître dans des conditions environnementales particulières, avec la présence ou l'absence de certains produits chimiques.

Les biotechnologies vertes recouvrent toutes les interventions *in vitro* et au laboratoire sur les embryons, les organes, les tissus, les cellules ou l'ADN des végétaux, soit pour maîtriser ou accélérer leur production, soit pour modifier leurs caractéristiques.

Les chercheurs espèrent parvenir à relever les défis lancés à l'agriculture et assurer tout à la fois production alimentaire, production d'énergie et production de biomatériaux en préservant l'environnement.

1.5. Les produits types de biotechnologies.

- Les OGM

Les organismes génétiquement modifiés, les fameux OGM, sont donc des produits des biotechnologies vertes. S'ils présentent certains avantages (pratiques culturales simplifiées, moins d'épandage d'insecticides, etc.).

- Les médicaments et vaccins

Jusqu'ici, les médicaments (hors vaccins et sérums) ont été produits par l'industrie chimique. Depuis les années 1980, les biotechnologies sont utilisées pour produire des traitements impossibles ou trop coûteux à obtenir par synthèse chimique. La première application a été la production de vaccins et d'antibiotiques. Les biotechnologies permettent par exemple de remplacer des produits extraits d'organes humains ou animaux par des molécules produites par génie génétique.

Exemple :

- l'insuline produite par des bactéries et non plus extraite de pancréas de porc, pour traiter le diabète.

- Le clonage : Le Clonage Thérapeutique : création, à partir de cellules, d'organes ou des tissus humains à des fins thérapeutiques. Exemple : Dans le cas de l'infarctus du myocarde, création de cellules musculaires cardiaques pour remplacer les cellules du cœur détruites.

- Les matériaux d'origine biologique (MOB)

Ce sont des substances ou molécules fabriquées naturellement ou par un procédé biologique. L'origine peut-être bactérienne, végétale ou animale. Ces matériaux peuvent être :

- des fibres (soie d'araignée, collagène, cellulose bactérienne pour les pansements, la peau artificielle ou les implants)

- des gels (latex, polysaccharides pour les lentilles ophtalmiques, les pansements, la peau artificielle)

- des matériaux "massifs" (corail, nacre, céramiques pour des prothèses, des substituts osseux)

- Dans l'alimentation

Production d'aliments ou animaux génétiquement modifiés :

> Amélioration de produits existants :

- Production de raisins et d'agrumes sans pépins

- Développement de fruits et légumes contenant des taux élevés d'antioxydants

> Création de nouveaux produits :

- Identification des composants actifs du lait et des gènes associés puis modification du patrimoine génétique des vaches laitières afin qu'elles produisent plus de ces composants dans leur lait.

Une des applications : un lait à facteur de coagulation pour des hémophiles.

- Alimentation animale :

Amélioration des qualités nutritionnelles des végétaux, obtention de plantes pauvres en lignine : pour améliorer la santé du bétail, être plus facile à digérer ou à mâcher par les ruminants.

- Les alicaments :

La fabrication d'aliments (incorporation d'un nutriment destiné à soigner) par les OGM est plus économique que la fabrication traditionnelle par des bactéries.

Exemple : développement d'une variété de bananier pour la production de plusieurs protéines dans le but d'immuniser les enfants contre les bactéries et virus de la diarrhée.

- L'environnement

Les biotechnologies environnementales concernent la préservation de l'environnement, l'amélioration des processus énergétiques, les matières premières (nouveaux procédés, dépollution, économie d'énergie, énergie de substitution).

Exemple : production des biocarburants :

Produits à partir de biomasse, ces biocarburants présentent 2 avantages :

- une réduction des émissions de gaz polluants (qui ont un impact sur la santé, la végétation, les bâtiments et l'effet de serre)
- la préservation des ressources naturelles fossiles non renouvelables.

Aujourd'hui deux types de biocarburants peuvent être incorporés aux carburants fossiles :

- Les alcools et leurs dérivés (méthanol, éthanol).
- Les esters et leurs dérivés (EMC).

Exemple comparatif : la production d'éthanol

En cycle complet, production, transfert et consommation :

- 1 litre d'essence = 3,1 kg de CO₂
- 1 litre d'éthanol (production chimique) = 2,3 kg de CO₂
- 1 litre d'éthanol (production biotechnologie) = 15 g de CO₂

- Bioremédiation :

La biodégradation ou la transformation des secteurs pollués par des métaux lourds, des explosifs, du pétrole ou produits chimiques toxiques. Des variétés de plantes choisies et génétiquement modifiées permettent de capter et accumuler les métaux lourds provenant du sol, comme l'arsenic. Des microbes modifiés, habitant la terre, peuvent digérer certains contaminants, les transformant en substances inoffensives

1.6. Domaines industriels concernés.

Les entreprises utilisent la biotechnologie industrielle pour :

- réduire leurs coûts,
- augmenter leurs bénéfices,
- augmenter la qualité de leurs produits,
- optimiser leur procédé et son suivi,
- améliorer la sécurité et l'hygiène de la technologie,

- respecter la législation sur l'environnement.

L'ADN recombinant et le génie génétique

La biologie moléculaire a permis la découverte la plus importante de la biotechnologie : il est aujourd'hui possible de séparer le gène responsable de la codification de la production de certaines substances, de le transférer dans un autre organisme-hôte et de produire ainsi certaines protéines utiles de manière plus efficace. Grâce à ces progrès, la biotechnologie produit aujourd'hui à grande échelle des hormones, des vaccins, des facteurs de coagulation du sang et des enzymes. Par ailleurs, la production biotechnologique de protéines permet d'éviter les inconvénients de la production à partir d'organismes supérieurs :

- À la différence de la culture de microorganismes, la culture de cellules d'organismes supérieurs à grande échelle n'est pas pratique car leur croissance est lente et leur contamination, fréquente.
- Le coût d'une culture de cellules est bien plus élevé que celui d'une culture microbienne.
- La source de cellules des organismes supérieurs est bien plus limitée que celle des organismes unicellulaires, qui, autre avantage, se reproduisent facilement et rapidement.

Fermentation

Avec la biocatalyse, les procédés de fermentation sont les formes les plus anciennes de la biotechnologie. La fermentation est l'application du métabolisme microbien pour transformer une matière en produits à valeur ajoutée. Ce procédé est en mesure de produire une incroyable variété de substances utiles, par exemple l'acide citrique, les antibiotiques, les bio-polymères, les protéines unicellulaires, etc. Le potentiel est immense et très vaste, il suffit simplement de connaître le microorganisme adapté, de contrôler son métabolisme et sa croissance et d'être en mesure de l'utiliser à grande échelle.

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.

Biocatalyseurs : application des enzymes dans le secteur industriel

Les enzymes sont de plus en plus importantes dans le développement industriel durable. Elles ont déjà été utilisées dans le développement des procédés industriels afin d'obtenir des produits sans déchets ou renfermant un minimum de déchets biodégradables. En effet, elles peuvent remplacer les produits chimiques toxiques ou corrosifs dans quelques procédés. En outre, leur avantage est qu'elles peuvent être utilisées, désactivées et décomposées dans des produits plus simples totalement biodégradables.

Bon nombre de procédés industriels travaillent à haute température ou pression ou dans des conditions hautement acides ou basiques. Les enzymes peuvent éviter ces conditions extrêmes ainsi que les réactifs corrosifs.

La liste rapide des procédés enzymatiques actuellement utilisés dans de nombreux secteurs afin de réduire la charge chimique via l'élimination de la production industrielle des substances agressives et toxiques ou tout simplement polluantes.

• Industrie des détergents :

- dégradation enzymatique des protéines, de l'amidon et des taches de graisse dans le lavage des vêtements,
- utilisation d'enzymes lipolytiques dans les substances pour lave-vaisselle,
- utilisation d'enzymes comme tensioactifs.

• Industrie textile :

- lavage à la pierre des tissus de type jean,
- désencollage enzymatique de tissu tissé à plat en coton,
- blanchiment écologique,
- décreusage enzymatique des tissus en coton,
- dégomme de la soie.

• Industrie de l'amidon : production enzymatique de dextrose, de fructose et de sirops spéciaux pour la pâtisserie, la confiserie et les industries des rafraîchissements.

• Industrie de la bière : dégradation enzymatique de l'amidon, des protéines et des glucanes issus du mélange de céréales utilisé pour l'élaboration de la bière.

• Industrie des produits de pâtisserie et de panification : modification enzymatique des hydrates de carbone et des protéines des céréales afin d'améliorer les propriétés du pain.

- **Industrie du vin et des jus de fruits** : dégradation enzymatique de la pectine des fruits dans l'élaboration des jus de fruits et des vins.
- **Industrie de l'alcool** : dégradation de l'amidon dans les sucres préalablement à la fermentation de ces derniers et à l'obtention d'alcool.
- **Industrie alimentaire et des additifs** :
 - amélioration des propriétés nutritives et fonctionnelles des protéines animales et végétales,
 - conversion du lactose du lait et du petit-lait en sucres plus doux et plus facilement digestibles.
 - production d'arômes de fromage.
- **Industrie de l'alimentation animale** : hydrolyse enzymatique de la matière protéique issue des abattoirs afin d'obtenir des farines à haute valeur nutritive destinées à l'alimentation animale.
- **Industrie cosmétique** : production biotechnologique de collagène et d'autres produits d'application aux crèmes de beauté.
- **Industrie du papier** :
 - dissolution enzymatique des *pitchs*,
 - blanchiment écologique de la pâte à 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.

1.7. Les défis d'innovation biotechnologiques.

Recherche et développement

Le premier enjeu déclaré de la recherche sur les OGM concerne à la fois l'alimentation et la santé. Les traitements chimiques ou biologiques ont amélioré, au cours des ans, les conditions de la production agricole; mais l'usage des produits phytosanitaires (herbicides, insecticides, fongicides) a rendu polluante cette activité humaine. Dans le domaine sanitaire, les recherches portent sur le diagnostic, les traitements et la création de produits vaccinaux.

- socio-économiques

Les avantages économiques potentiels de l'emploi du génie génétique sont nombreux et peut-être considérables mais, compte tenu du fait que les plantes transgéniques ne sont cultivées que depuis 1995 et dans un nombre limité de pays, les données manquent encore, pour confirmer ou infirmer empiriquement ces bénéfices éventuels.

- géopolitiques

La Terre porte environ six milliards d'individus aujourd'hui, un nombre qui augmente rapidement, avec un déséquilibre majeur entre populations selon les zones géographiques.

- Les biotechnologies posent des questions éthiques importantes et difficiles. Une réflexion internationale élaborée est engagée sur ces problèmes. Ces questions éthiques tiennent d'abord à la nature même des recherches génétiques et de leurs applications, singulièrement pour ce qui touche à la santé humaine : il s'agit du vivant, de notre patrimoine génétique qui laisse découvrir peu à peu son histoire, sa richesse, sa complexité, les virtualités et prédispositions.

- La faiblesse des transferts de la recherche scientifique aux innovations technologiques s'est pendant longtemps manifestée, dans le secteur des biotechnologies, par la faible implication de la recherche dans la valorisation économique des découvertes - et la grande rareté des « biotech », ces sociétés fondées sur l'exploitation initiale d'une innovation scientifique à des fins technologiques. Les quelques exceptions, au demeurant brillantes, ne faisaient que souligner la pauvreté globale du secteur. Depuis quelques années, la situation a commencé de changer.

2. Biotechnologies appliquées aux problématiques environnementales.

2.1. Changement climatique et évolution des écosystèmes.

Le changement climatique et ses impacts potentiels sont maintenant bien reconnus par les grandes puissances mondiales, mais leurs organes économiques, sociaux et politiques ont été lents à réagir. Il y a donc un besoin clair et urgent que celles-ci accélèrent et unifient leurs efforts visant à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et à adapter le comportement de leur population au changement climatique.

Pour cette raison Il faut :

Augmenter les rendements sur les terres déjà cultivées

L'augmentation de rendement des cultures est indispensable pour deux raisons principales :

- les terres nouvelles à mettre en culture sont rares et les agriculteurs ont la responsabilité de ne pas empiéter sur la forêt ou les zones riches en biodiversité qui sont aussi les principaux puits de carbone existants.
- le stock de terres disponibles est très inégal suivant les continents et, pour des raisons d'urbanisation croissante, on observe une diminution très forte des terres arables disponibles par habitant : Entre 1960 et 2000, la quantité de terres arables par habitant a diminué de 40%. En 1960, 4,3 hectares de terres arables par habitant. En 2000 2,2 hectares par habitant. En 2020, 1,8 hectare par habitant.

Aujourd'hui, les rendements des céréales à paille stagnent dans les pays du Nord. Les chercheurs s'accordent à dire que 90 % des augmentations de rendement proviendront d'une meilleure connaissance de la biologie des plantes, de meilleures pratiques agronomiques et de l'utilisation accrue de la génétique (caractérisation et modification éventuelle des génomes).

Une réduction de l'émission de gaz à effet de serre (GES)

L'agriculture contribue aujourd'hui à 14 % des émissions de GES. Or, il aurait fallu cultiver entre 860 et 1500 millions d'hectares de plus qu'en 1960 pour obtenir la production actuelle sans changements technologiques. L'agriculture intensive, caractérisée par l'adoption de semences sélectionnées, l'utilisation de pesticides et d'engrais, l'irrigation et la mécanisation, a permis d'augmenter les rendements et donc de préserver les terres. Contrairement à l'idée reçue, elle a contribué à réduire les émissions de GES ramenées à la tonne récoltée. Les OGM, en renforçant les

performances des variétés actuelles, contribuent encore à cette réduction d'émissions de GES par tonne d'aliment produit.

L'utilité des plantes tolérantes aux herbicides

Une étude menée au Brésil montre que, pour la période comprise entre 1996 et 2000, 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 CO₂. 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'arrivée prochaine des premiers maïs tolérants à la sécheresse

De nombreux projets de recherche sur la tolérance à la sécheresse sont actuellement développés dans le monde. Afin de maintenir les rendements en cas de stress hydrique, les semenciers ont des approches de recherche multiples et souvent combinées. La plante la plus étudiée est le maïs et les deux premières variétés tolérantes à la sécheresse devraient être prochainement commercialisées.

2.2. Gestion des ressources microbiologiques, végétales et animales.

Jusqu'à présent, ces collections d'organismes (cellules microbiennes, végétales, animales et humaines) et leurs éléments (fragments de tissus, acides nucléiques, protéines, etc.) étaient disséminés dans différentes installations : centres de recherche, laboratoires ou hôpitaux. Y avoir accès était difficile, le résultat était incertain et leur utilisation n'était pas contrôlée. Il fallait donc regrouper ces collections ainsi que leurs organismes dans des Centres de Ressources Biologiques chargés de les acheter, de les valider, de les étudier et de les distribuer. Afin de mettre en place ces opérations dans des conditions optimales, 4 paramètres étaient à prendre en compte :

- **Rigueur scientifique** : la recherche et l'étude des réseaux de gènes impliqués dans la fonction et la dysfonction cellulaire et du tissu exigent des ressources biologiques d'origine et de qualité garanties.
- **Sécurité** : la diversité et l'apparition non-contrôlée de collections peuvent entraîner des risques pour la santé et l'environnement (par exemple, dissémination d'agents pathogènes).
- **Exigences éthiques** : s'il existe un cadre législatif et régulateur de l'utilisation scientifique des collections, celui-ci n'est pas appliqué à 100 % (particulièrement en ce qui concerne les ressources biologiques d'origine humaine).

- **Régulation économique** : on constate actuellement la présence d'échanges non-contrôlés ainsi que des pertes irréversibles. Des normes spécifiques d'accès aux collections biologiques favoriseraient le développement scientifique et celui des applications industrielles rationnelles.

Les Centres de Ressources Biologiques se sont transformés en infrastructures stratégiques pour la biotechnologie. La garantie de qualité et de traçabilité est indispensable, particulièrement si l'on prend en compte le nombre élevé de possibilités proposées par l'analyse du génome et les études du post-génome : identification des gènes d'intérêt, modélisation, applications diagnostiques et thérapeutiques, biodiversité et maladies émergentes).

Afin de garantir le respect de toutes les procédures, les Centres de Ressources disposant de ressources biologiques humaines obéiront à une charte déontologique qui entrera prochainement en vigueur. Celui-ci régule l'origine des prélèvements et les informations correspondantes, le conditionnement, la transformation, la conservation, la distribution et/ou la cession des échantillons biologiques, la propriété intellectuelle et la valorisation et enfin, les relations entre les différents Centres de Ressources Biologiques.

2.3. Pollution agro- environnementales (eau, air, sols).

Biorémédiation

Rappelons que la biorémédiation est l'application de la biotechnologie au traitement et à la réutilisation des produits résiduels. Examinons quelques applications de ce domaine. Les épurateurs biologiques sont un bon exemple de biotechnologie appliquée simple. Il s'agit dans ce cas d'un lit fixe de microorganismes qui dégrade les produits organiques résiduels jusqu'à obtenir des niveaux acceptables dans les eaux qui doivent être rejetées directement. Les boues de ces épurateurs sont utilisées comme biomasse pour l'alimentation animale. Il existe également des procédés biotechnologiques de traitement des déchets solides urbains à l'aide de fermentations aérobie ou anaérobie permettant d'obtenir du biogaz.

Un autre exemple de cette technique, les tests de traitement des problèmes ponctuels à l'aide de la biotechnologie : citons la digestion, via des microorganismes, des nappes de pétrole flottant sur la mer après un accident de pétrolier ayant entraîné un rejet.

Dépollution (eau, air, sols).

A l'heure actuelle, les biotechnologies sont utilisées principalement pour lutter contre la pollution. L'une des premières applications a été l'épuration des eaux usées, suivie

par l'épuration de l'air et des effluents gazeux. La dépollution biologique s'oriente maintenant de plus en plus vers les sols.

Décontamination microbiologique des eaux

Le traitement des eaux usées fait déjà largement appel aux biotechnologies : le traitement biologique permet de nettoyer toute une gamme d'effluents bien plus efficacement que les méthodes physico-chimiques, et est particulièrement adapté à ceux contenant les polluants organiques les plus courants. En fait, son utilisation pour le traitement des eaux usées remonte à plus de cent ans.

Depuis, des procédés aussi bien aérobies qu'anaérobies ont été mis au point. Le traitement aérobie est devenu la solution la plus courante pour les effluents faiblement à moyennement chargés, ainsi que pour les molécules toxiques et récalcitrantes. Les procédés anaérobies sont plus efficaces sur les effluents à forte teneur organique tels que les eaux usées des usines agro-alimentaires, les boues urbaines et les déchets d'élevage, et ont commencé à remplacer les systèmes aérobies dans de nombreuses applications depuis une dizaine d'années. Les stations d'épuration en milieu anaérobie sont plus compactes, elles séparent les composés carbonés pour produire un gaz combustible, le méthane, et offrent des taux de récupération supérieurs à 80 %. Les méthodes biotechnologiques sont maintenant largement utilisées pour extraire les nitrates, les phosphates, les ions métalliques lourds, les composés organiques chlorés et les substances toxiques. Alors que le traitement des eaux usées visait au départ principalement à réduire les matières organiques en général, la neutralisation des polluants industriels revêt à présent une importance croissante, raison pour laquelle on travaille aujourd'hui à la mise au point de procédés biologiques permettant d'extraire des polluants spécifiques.

Décontamination microbiologique de l'air

L'utilisation des micro-organismes dans le traitement des pollutions gazeuses est une approche relativement récente qui repose sur leurs capacités d'utiliser, dans leur métabolisme, des substances polluantes pour produire l'énergie nécessaire au développement cellulaire.

Pour une meilleure compréhension des biotechnologies appliquées à la réduction des pollutions atmosphériques, telle que la désulfurisation et la dénitrification des fumées, l'élimination de produits toxiques comme les organochlorés, la désodorisation, les composés organiques volatils (COV), des notions de métabolisme microbien sont présentées dans ce paragraphe. L'utilisation des micro-organismes dans les traitements

biologiques repose sur leurs capacités à utiliser certaines molécules indésirables pour l'homme et son environnement, comme substrats. En effet, les micro-organismes, et plus particulièrement les bactéries, présentent de nombreuses capacités dont celles de:

- se propager rapidement avec des temps de génération plus ou moins courts.
- posséder une grande flexibilité dans la régulation, la coordination, l'induction et la répression des chaînes métaboliques.
- coloniser rapidement de nouveaux habitats.
- tolérer des conditions extrêmes dans leur environnement.
- s'associer avec d'autres organismes dans des interactions synergiques telles que la symbiose, le mutualisme, le commensalisme, en élargissant la diversité métabolique d'une espèce.

Les procédés biotechnologiques utilisés pour l'assainissement de l'air et des effluents gazeux sont principalement : - les biofiltres, - les biolaveurs, - les filtre percolateurs,

Décontamination microbiologique des sols

De nombreuses sociétés spécialisées dans la décontamination des sols, existent. Si les méthodes de traitement diffèrent, la méthodologie d'approche reste identique.

La première étape : consiste à évaluer les "dégâts". Quelle est l'ampleur de la pollution ? En surface ? En profondeur. ? Quels sont les dangers immédiats ? Quelles sont les données géologiques et hydrologiques du site ?

La deuxième étape : est critique. L'analyse en laboratoire permet d'analyser la nature de la pollution. En même temps des "microorganismes" sont isolés à partir du site contaminé, sont testés pour déterminer leur capacité biodégradative. Dans certains cas, sur des sites à réhabiliter, les microorganismes ont déjà commencé la dégradation. L'isolement de ces souches, la caractérisation des demandes nutritionnelles permettra de déterminer quels sont les nutriments qui devront être ajoutés pour accélérer le développement de ces souches.

La vitesse et le degré de dégradation des polluants dépendent de nombreux paramètres qui doivent être optimisés, citons en particulier :

- la concentration et la nature des polluants,
- les interactions entre les différents polluants,
- les nutriments (sources d'azote, phosphate, minérales),
- l'accepteur d'électrons (oxygène, nitrate ...),
- l'humidité (l'activité de l'eau joue un rôle essentiel dans la biodégradation),
- la température,

- la structure du sol.

La troisième étape : permet de préciser la technique. La biodégradation doit-elle se faire "in situ", "sur le site" ou en dehors du site ?

Traitement "in situ" : c'est la technologie de choix :

- lorsque la contamination est peu profonde, le sol peut être enrichi en microorganismes et en nutriments, éventuellement retourné mécaniquement pour favoriser le transfert d'oxygène, l'eau résultant du traitement est épurée dans un bioréacteur ;

- lorsque le sol à dépolluer n'est pas accessible (occupation par des constructions) ou lorsque la contamination est très profonde et a déjà atteint la nappe phréatique.

Dans les traitements "in situ" la nature de l'accepteur d'électrons joue un rôle important. Peuvent être utilisés l'oxygène, l'eau oxygénée ou les nitrates.

Traitement "sur le site" : après excavation, le sol est traité sur le site par des technologies appropriées :

- en bioréacteurs, - en "andains", - en "tas".

Pour ce faire, le sol contaminé est homogénéisé, enrichi en produits améliorant sa structure (paille broyée) ; le sol est arrosé, enrichi en nutriments et microorganismes (éventuellement), mis en forme soit en andains, soit en tas.

Le sol est retourné régulièrement pour assurer un bon transfert d'oxygène. Comme la température joue un rôle important ; on essaie autant que faire se peut de la contrôler (les tas ou les andains étant recouverts).

Traitement en dehors du site : plusieurs industriels proposent dans le cadre de "centres de traitement de déchets" de traiter les sols pollués par des techniques mettant en œuvre des réacteurs plus efficaces et parfois en combinant traitement des sols, des eaux et des gaz.

Les coûts de transport sont élevés mais l'efficacité des équipements permet parfois d'accélérer le processus de biodégradation et donc de réduire les coûts de traitement.

La quatrième étape : consiste dans le suivi du processus qui prend en général pour plusieurs mois (in situ ou sur le site), le suivi analytique permettant d'évaluer :

- la disparition des polluants,

- l'apparition éventuelle de nouvelles molécules,

- les cinétiques de biodégradation permettent de vérifier les performances des souches par rapport à leurs capacités biodégradatives (évaluées en laboratoire) afin de corriger éventuellement les apports de nutriments.

3. Biotechnologies en agronomie à des fins alimentaires

3.1. Biotransformation et conservation

Biotransformation

La fermentation c'est une transformation d'un aliment par un microorganisme (biotransformation) en absence d'oxygène. Ce que nous appelions des « bons microbes ». Par exemple, le yaourt est issu de la fermentation du lait, Sur le fromage, on trouve des moisissures qui sont notamment responsables de la couleur verte et du goût prononcé du roquefort. Le processus par lequel les micro-organismes et leurs enzymes provoquent ces changements souhaitables dans les aliments est appelé fermentation. L'Homme s'en sert pour 3 raisons : rendre plus digeste, conserver plus longtemps et produire une substance d'intérêt.

La fermentation est aussi largement appliquée à la production de cultures microbiennes d'enzymes, de saveurs, de parfums, d'additifs alimentaires et d'une gamme d'autres produits à valeur ajoutée.

Les microorganismes permettent la fabrication de nombreux produits :

- bière, yaourts, additifs alimentaires
- vaccins, antibiotiques, anticorps, vitamines, acides aminés

Qui sont ces micro-organismes utilisé ?? Il en existe 3 familles différentes :

- - Bactéries
- - Levures
- - Moisissures

Conservation

La biotechnologie, telle qu'appliquée à la transformation des aliments repose sur des inoculant microbiens qui renforcent des propriétés telles que le goût, l'arôme, la durée de conservation, la texture et la qualité nutritionnelle.

Les bactéries lactiques sont divisées en deux principaux groupes d'espèces homo- ou hétérofermentaires selon la nature et la concentration des produits terminaux issus de la fermentation du glucose. Le principal atout de ces bactéries réside donc dans leur capacité à acidifier les produits alimentaires. L'acide lactique mais aussi d'autres acides organiques (acide acétique, acide formique) sont les métabolismes fermentaire et jouent un rôle majeur dans la conservation des aliments puisqu'ils inhibent la croissance des bactéries pathogènes à bas pH. La fermentation lactique n'est pas seulement utilisée pour conserver les produits laitiers elle permet également la

conservation de champignons et de légumes de toutes sortes : choux, betterave, carotte, haricot, oignon, etc. Cette technique consiste à conserver les légumes en favorisant le développement de bactéries lactiques qui acidifient le milieu et inhibent ainsi la croissance des autres organismes indésirables.

3.2. Production de matrices alimentaire en bioréacteurs

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 ou encore la bioconversion d'une molécule d'intérêt.

Dans les années 1800, Pasteur, Kützing, Schwann, et Cagniard-Latour ont démontré que la fermentation était causée par des levures, qui sont des organismes vivants. Le terme « fermentation » prend en compte aussi bien le métabolisme aérobie que qu'anaérobie. Elle consiste à multiplier la biomasse de microorganismes vivants, et éventuellement à utiliser son métabolisme.

Contrairement aux systèmes plus simples utilisés pour faire pousser des micro-organismes, comme 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.

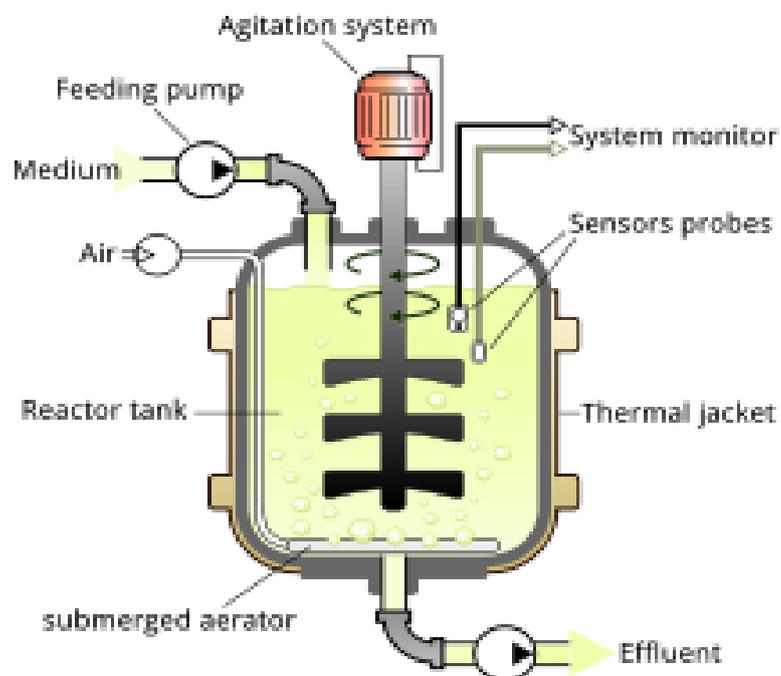
Les modèles de laboratoire vont de 0,1 à 15 litres. Les modèles employés pour les tests en vue de l'industrialisation (appelés "pilotes") vont de 20 à 1 000 litres, alors que ceux destinés à la production industrielle peuvent dépasser les 1 000 m³ (cas de la production d'éthanol). Des modèles de bioréacteurs jetables existent sur le marché depuis 1995, utilisés principalement pour des volumes allant du millilitre à quelques centaines de litres.

En ingénierie tissulaire, le terme de bioréacteur peut désigner un système permettant la culture de tissu. Le but n'est pas ici de produire des métabolites mais bien un tissu complet composé de cellules et de la matrice extracellulaire.

Un bioréacteur comporte :

- Une cuve ou enceinte en verre (pour les modèles de laboratoire) ou en acier inoxydable
- Un bouchon si nécessaire pour ne pas laisser passer l'air du milieu intérieur et celui du milieu extérieur
- Une seringue avec cathéter pour injecter une solution
- Un système d'agitation comportant une ou plusieurs turbines selon leur taille
- Des capteurs pour la mesure de la température (thermomètre), du pH (pH-mètre), de la concentration en oxygène dissous (sonde oxymétrique), du niveau...
- Un système de contrôle-commande géré par ordinateur permettant d'enregistrer et piloter tous les paramètres de fonctionnement

Un fermenteur est construit en général sur le modèle d'un bioréacteur sans toutefois de système d'aération. Dans le domaine de la biotechnologie, le terme de fermenteur est parfois utilisé sans aucune distinction par rapport à celui de bioréacteur. Il permet de différencier le type de culture (bactérie, levure pour fermenteur et cellules animales pour bioréacteur).



Principe du bioréacteur

Les produits laitiers

Le lait est composé de diverses substances, notamment des matières grasses, qui sont stabilisées par une protéine, la caséine, et des glucides représentés principalement par le lactose. La fermentation du lait permet de le conserver plus longtemps et rend les produits laitiers fermentés plus digestes. Cette transformation du lait est due à la déstabilisation des micelles de caséine par protéolyse, ce qui entraîne sa coagulation.

En fromagerie, on retrouve en plus la technologie présure, la coagulation de la caséine est dans ce cas réalisée via une action enzymatique notamment par la chymosine.

Cette coagulation va avoir diverses conséquences : elle modifie la texture, le goût et la qualité du lait. Le pH est également diminué ce qui permet de limiter la croissance de bactéries indésirables. Quant à eux, les ferments se multiplient et produisent des composés à l'origine des propriétés organoleptiques des produits laitiers fermentés.

Les yaourts :

Le yaourt résulte de la fermentation du lait par deux bactéries lactiques, *Streptococcus thermophilus* vivant en symbiose avec *Lactobacillus bulgaricus*. L'appellation « yaourt » est réservée à ce lait ayant été fermenté par ces deux souches de bactéries.

La fabrication de yaourts se réalise en diverses étapes. Tout d'abord, le lait est pasteurisé, c'est à dire qu'il est chauffé à 72°C pendant 15 secondes. Cela permet d'éliminer les microorganismes pathogènes. Il est ensuiteensemencé après avoir été préalablement refroidi et maintenu à une température de 43°C qui est la température optimale de croissance des bactéries lactiques. Puis, il y a l'étape d'étuvage, où le lait est mis en pot pendant 3h, ce qui permet aux ferments de se développer et de transformer le lait.

Les bactéries présentes doivent être encore vivantes au moment de la consommation du yaourt, ce qui permet une meilleure digestion et un meilleur transit. La teneur en ferments viables à la commercialisation doit être supérieure à 10^7 germes/g de produit.

3.3. Sécurité, traçabilité et qualité des aliments

La sécurité alimentaire

La définition officielle de la sécurité alimentaire, adoptée lors du Sommet mondial de l'alimentation de 1996 (FAO 1996), est la suivante:

« La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active. »

Les causes de l'insécurité alimentaire sont liées à des interactions complexes entre problèmes économiques, sociaux, politiques et techniques. Une analyse de ces interactions devrait permettre de déterminer les solutions possibles et la meilleure façon d'y parvenir pour un groupe de population donné.

La sécurité alimentaire repose sur quatre piliers à savoir :

La capacité pour un pays de produire sa propre alimentation ou de l'acheter, et donc de disposer de moyens en devises suffisants pour pouvoir l'acheter sur le marché international.

La disponibilité, d'une production alimentaire suffisante pour couvrir les besoins pour nourrir une population croissante.

Une qualité de l'alimentation, du point de vue tant nutritionnel, sanitaire, sensoriel que socioculturel La sécurité alimentaire, y intègre ainsi la sécurité sanitaire ou la salubrité des aliments.

La régularité, des disponibilités, des moyens d'accès à l'alimentation et de sa qualité ce qui se traduit par une nécessaire stabilité des prix et des revenus des populations vulnérables.

Pratiquement la sécurité alimentaire doit se traduire par l'augmentation de la production agricole. L'amélioration génétique, la lutte contre les maladies, l'amélioration des systèmes de culture, la réduction des pertes des produits à tous les étapes de la production; commercialisation, stockage. Exemple les avantages d'OGM pour l'agriculture : Obtenir de nouvelles variétés plus performantes et plus rapidement que par croisement naturel. Donner une résistance à certaines maladies, notamment virales Faciliter le travail des agriculteurs, notamment en ce qui concerne le traitement des cultures, Jusqu'à présent la modification génétique des plantes n'avait pour but que l'obtention de variétés plus aptes à lutter contre les agressions de

l'environnement, telles que maladies ou herbicides. Maintenant que de nombreuses cultures résistantes aux virus et aux herbicides ont été introduites avec succès, il faut s'attaquer à des projets plus complexes. L'un d'eux, qui consiste à modifier des céréales de façon à fixer l'azote, est une sorte de quête de la biotechnologie en matière de culture. Les biotechnologies végétales offrent et offriront aux agriculteurs des solutions en réduisant la pression sur les ressources naturelles. Elles contribuent à la création d'une forme d'agriculture plus équilibrée, et plus respectueuse de l'environnement. La capacité de la biotechnologie à éliminer la malnutrition et la faim dans les pays en développement grâce à la production de cultures résistantes aux ravageurs et aux maladies, ayant plus longtemps durées de conservation, des textures et des arômes raffinés, des rendements plus élevés par unité de terres et de temps, tolérantes aux conditions météorologiques et au sol, etc.,

La traçabilité des aliments

La traçabilité est une technique qui permet de retrouver l'historique, l'utilisation et la composition de produits industriels ou alimentaires à partir de la chaîne de production jusqu'à la chaîne de distribution et de consommation. La traçabilité est aujourd'hui une technique indispensable qui permet de connaître toutes les informations d'un produit liées à sa fabrication jusqu'à sa consommation.

Les règles et bonnes pratiques en matière de traçabilité sont déterminées par des normes et leur application est vérifiée par des organismes de contrôle nationaux ou internationaux.

La traçabilité est le processus qui assure qu'en cours de transformation par un ou plusieurs procédés quelconques comme , le découpage, laminage, extraction, mélange, chauffage, électrolyse... un produit ou l'ingrédient est toujours affecté de l'information qui lui a été initialement attribué, et ce jusqu'à sa destination finale.

Qualité des aliments

Pour lutter contre la faim, la sous alimentation et la malnutrition, et donc aussi contre la maladie et la pauvreté, il faut non seulement une plus grande quantité de nourriture, mais aussi des aliments de meilleure qualité. La biotechnologie peut-elle apporter une contribution utile dans ce domaine alimentaire?

L'application de la biotechnologie moderne à la production alimentaire comporte des possibilités d'augmenter la productivité agricole ou encore d'améliorer la qualité, la valeur nutritionnelle et la facilité de transformation des produits alimentaires, ce qui

peut contribuer directement à promouvoir le développement humain, notamment sur le plan sanitaire.

Pasteur fut le premier à identifier le type de bactéries nécessaires et à les isoler sous une forme pure. Dès lors, il fut possible de maîtriser la fabrication du vinaigre et de produire à grande échelle et de façon économique du vinaigre de qualité excellente et régulière.

Les personnes qui sont en faveur des aliments GM affirment de plus que ces derniers présentent aussi des avantages nutritionnels. Il arrive souvent que les populations dont l'alimentation est principalement constituée de produits tels que le riz souffrent de malnutrition parce que le riz ne contient pas tous les éléments nutritifs essentiels dont le corps a besoin. Si on programme génétiquement le riz pour qu'il contienne des vitamines et des éléments nutritifs qui n'y sont ordinairement pas présents, la carence peut alors être comblée et le riz devenu d'une meilleure qualité.

4. Biotechnologies et l'industrie à des fins non alimentaires

4.1. Bioénergie

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 (pétrole, gaz naturel, charbon, etc.) paraissaient être inépuisables. Les différentes crises pétrolières ont mis en évidence l'utilité des énergies renouvelables en substitution aux produits pétroliers. L'une d'elle, la **biomasse** est souvent décrite comme étant « l'ensemble de toutes les matières premières renouvelables d'origine végétale ou animale destinées à des utilisations non alimentaires ».

La biomasse est un combustible varié. Au sens large, elle comprend « l'ensemble des êtres vivants, animaux ou végétaux, ainsi que leurs productions, sous-produits ou déchets (déjections, etc.) ». La biomasse forme les différents écosystèmes de la planète et participe à leurs équilibres naturels. Elle a d'abord été cultivée et élevée par l'homme pour son alimentation, mais elle fournit également des matériaux de construction et est utilisée comme matière première pour certains procédés industriels et pour la production d'énergie, on parle alors de bioénergie.

La différence entre la bioénergie et les combustibles fossiles : la bioénergie peut réduire les émissions de gaz à effet de serre. En effet, le carbone résultant de la combustion de carburant peut être capté par les plantes en phase de croissance. Cependant, les réductions réelles d'émission dépendent du type de production bioénergétique et du processus de transformation, et surtout du lieu où la matière première pour la production bioénergétique est produite. Exemple la qualité du combustible que l'on utilise (la combustion de bois humide augmente de deux à quatre les émissions par rapport au bois sec).

Une énergie renouvelable est une énergie générée à partir d'une source qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable. Les combustibles fossiles (gaz naturel, pétrole, charbon, etc.) se sont formés pendant plusieurs millions d'années. L'utilisation de ces combustibles, beaucoup plus rapide que leur formation, appauvrissent les réserves naturelles mondiales de manière

irréversible pour quelques générations. Les combustibles fossiles ne sont donc pas des sources renouvelables d'énergie.

La biomasse, cultivée ou élevée par l'homme, est censée se renouveler après chaque utilisation. La biomasse est donc une source renouvelable d'énergie pour autant que les systèmes d'exploitations agricoles et forestiers soient durables et responsables.

Sources de la biomasse :

La biomasse est formée essentiellement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, et à un moindre degré d'azote, provenant de divers types de ressources :

- les produits d'origine agricole : subdivisés entre d'une part les cultures traditionnelles de plantes annuelles (céréales, oléagineux) recherchées principalement pour leurs parties nobles (grains, graines et tubercules), et d'autre part les cultures dédiées à la bioraffinerie, ainsi que les résidus de cultures et d'élevages.
- les produits d'origine forestière : bûches, granulés, plaquettes et résidus de l'exploitation forestière ou de cultures sylvicoles spécifiques. La mobilisation de la ressource forestière, dans le respect des règles d'une exploitation durable.
- les produits d'origine aquatique : algues, résidus de la pêche et de la pisciculture.
- les autres déchets organiques : déchets urbains, boues issues des stations d'épuration, ordures ménagères, déchets verts provenant de parcs et jardins.

Applications

- Le chauffage au bois sous forme de bûches.
- Les chaufferies collectives au bois utilisant des déchets de scierie (sciure, chutes de bois) ou des plaquettes de bois issues de l'exploitation forestière.
- Raffinage du bois - Par distillation sèche de bois on obtient du méthanol. Il existe plusieurs procédés de production de bioéthanol à partir de la cellulose du bois.
- Une innovation prometteuse consiste en la production à partir du bois d'un gaz naturel de synthèse substituable et mélangeable avec le gaz naturel fossile.
- L'industrie papetière utilise les liqueurs noires (sous produit de la fabrication de la pâte à papier) qui ont un contenu énergétique comparable au bois pour produire de la vapeur et de l'électricité en cogénération.

Un **biocarburant** ou **agrocarburant** est un carburant (biocombustible 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. Actuellement deux filières principales coexistent :

- filière huile et dérivés, comme l'huile végétale carburant, le biodiesel (ou biogazole) ; mais aussi de graisses animales ou des acides gras divers (algues,...)
- filière alcool comme le bioéthanol, à partir de sucres, d'amidon, de cellulose ou de lignine hydrolysées.

Le **biogaz** est le gaz produit par la fermentation de matières organiques en l'absence d'oxygène. Le biogaz résulte de la méthanisation ou digestion anaérobie de déchets fermentescibles. Les sources les plus courantes de biogaz proviennent des stocks de matière organique volontaires ou involontaires :

- Les cultures.
- Les décharges : leur teneur en biogaz est plus ou moins élevée en fonction de l'étanchéité du mode d'exploitation ; La collecte sélective des déchets putrescibles permet une méthanisation plus rapide qu'en décharge en utilisant des bioréacteurs spécifiques (digesteurs).
- Les boues des stations d'épuration : la méthanisation permet d'éliminer les composés organiques et permet à la station d'être plus ou moins autonome en énergie.
- Les effluents d'élevages : la réglementation rend obligatoire les équipements de stockage des effluents (lisier, fumier) pour une capacité supérieure à 6 mois. Ce temps de stockage peut être mis à profit pour la méthanisation des effluents.
- Les effluents des industries agroalimentaires : peuvent aussi être méthanisés. Le but est principalement d'éviter le rejet de matières organiques trop riches, et peut s'accompagner d'une valorisation énergétique.

4.2. Biomatériaux et agro-polymères

Les matériaux biodégradables sont des matériaux qui sont aptes à subir un processus de décomposition sous forme de dioxyde de carbone, de méthane, d'eau, de composés non organiques ou de biomasse, le tout sous l'action enzymatique des micro-organismes. La biodégradabilité d'un matériau se définit, alors, comme la capacité intrinsèque du matériau à être dégradé par une attaque microbienne, pour simplifier progressivement sa structure et finalement se convertir en CO₂, H₂O et/ou CH₄ et une nouvelle biomasse. Différentes sources de polymères peuvent être utilisées pour produire de tels matériaux. Ainsi, selon l'origine des matières premières et des voies de synthèse, on distingue deux possibilités de production des matériaux biodégradables : la voie des polymères biodégradables issus de l'industrie pétrochimique et celle des polymères biodégradables issus de ressources renouvelables.

L'industrie plastique est parmi les plus importantes activités industrielles chimiques en termes de quantité et diversité des secteurs d'applications. Ce secteur dépendant essentiellement des ressources fossiles devra rapidement trouver une alternative aux matières premières conventionnelles qu'il utilise. Par leur abondance et leur diversité, les polymères issus du monde végétal offrent une nouvelle source de matières premières renouvelables en industrie plastique.

Le nouvel intérêt du secteur plastique pour les matières premières renouvelables s'inscrit dans une perspective de respect de l'environnement et de gestion des ressources fossiles épuisables. Ces matières premières végétales, essentiellement des polymères, possèdent des propriétés particulièrement attrayantes en industrie plastique telles que :

- La biodégradabilité.
- La biocompatibilité.
- La perméabilité sélective.
- Les propriétés physico-mécaniques modifiables.

Ces propriétés trouvent des applications ciblées dans des domaines très variés notamment dans les secteurs de l'emballage, du textile, de l'agriculture, de la pharmacie, de l'électronique ou de la médecine.

Les grandes classes de bio-polymères issus du monde végétal

Les polymères issus des plantes ou bio-polymères (agro-polymères) constituent la plupart du temps les parois cellulaires des végétaux comme la cellulose et la lignine. Les microorganismes, par fermentation des molécules issues des plantes, produisent des polymères classés également comme bio-polymères

Classe	bio-polymères
Polysaccharides (plantes/algues)	Amidon, Cellulose Agar, Alginate, Carraghénane, Pectine, Gommages, Konjac
Polysaccharides (par fermentation bactérienne)	Xanthane, Dextrane, Gellane, Curdlan Pullulane, Elsinane
Protéines	Zéine, Gluten, Polyacides aminés
Polyphénols	Lignines, Tannins, Acides humiques
Polyesters	Polymères d'acides lactiques (PLA) Polyhydroxyalcanoates (PHA)
Autres polymères	Polymères synthétisés à partir d'huile (nylon) Polyisoprènes : caoutchouc

La biodégradabilité des bio-polymères

Les bio-polymères sont synthétisés dans les plantes ou les animaux par voie enzymatique et sont de ce fait dégradés rapidement dans un milieu biologique. La biodégradabilité de la plupart des bio-polymères est due à la présence de liaisons facilement clivables comme les liaisons esters ou amides conduisant à la formation de molécules simples et de fragments de plus petite taille. Ces derniers sont assimilables par les microorganismes pour leur biosynthèse en libérant du CO₂ et de l'H₂O. À l'opposé, les polymères pétrochimiques conventionnels comme le polyéthylène ou le polypropylène, dont le squelette carboné est constitué de liaisons covalentes C-C, requièrent beaucoup plus de temps et/ou la présence d'un catalyseur (thermique, radiation électromagnétique ou chimique) pour leur dégradation.

LES APPLICATIONS

Trois grands créneaux d'applications sont identifiés par rapport aux propriétés des bio-polymères : la médecine, l'agriculture et les emballages. Les bio-polymères sont également utilisés pour des applications plus spécifiques et plus pointues comme dans le secteur de l'industrie automobile, l'électronique ou encore dans la construction.

4.3. Biomolécules et activités cellulaires

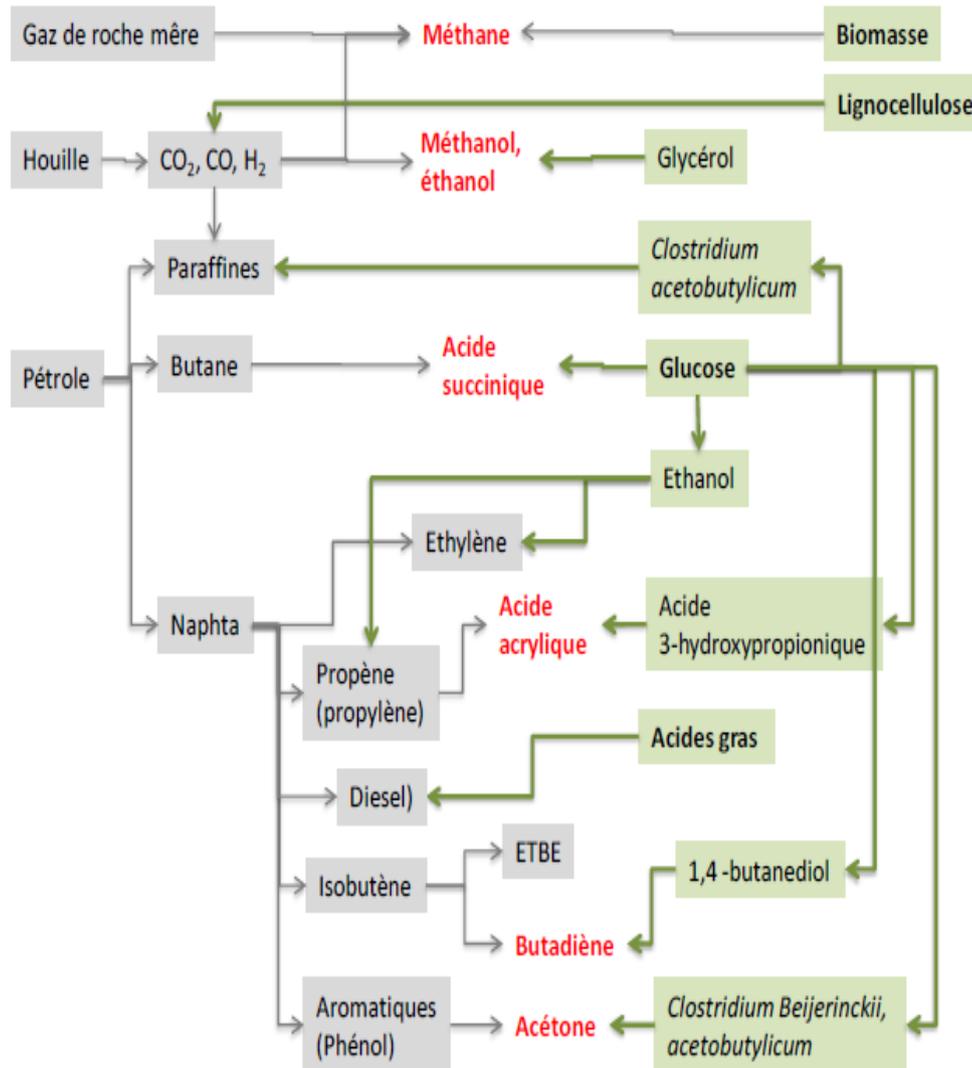
Elles ont pour objet la fabrication de produits (polymères, édulcorants, acides aminés, etc.), l'invention de procédés (bioraffinerie) ou la production de bioénergie à l'échelle industrielle à partir de l'utilisation de la biomasse considérée comme une matière première renouvelable. Ces matières premières (maïs, paille, sucre, betterave, bois, oléagineux, etc.) sont transformées en produits finis (acides aminés, enzymes, produits pharmaceutiques, ingrédients, polymères, 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.

Les biotechnologies blanches s'inscrivent en effet directement dans la préoccupation d'un développement durable par l'utilisation de sources de carbone renouvelables (au lieu du carbone fossile), le recours à des réactions à température normale (économie d'énergie), la production de déchets en volume limité, l'absence de solvants et une consommation d'eau souvent très réduite. Ces méthodes aboutissent au concept de « bioraffineries intégrées » où, à partir de matières premières végétales (plantes entières, résidus, micro-organismes), différents produits (intermédiaires ou finis) sont obtenus et utilisés pour divers domaines industriels (alimentaires, biocarburants, biomatériaux, additifs, pharmacie, enzymologie, etc.).

En chimie verte du carbone renouvelable, pour la chimie et l'énergie, deux principales approches sont possibles pour identifier les biomolécules d'intérêt.

L'approche structurale consiste à identifier des biomolécules ressemblant à celles utilisées dans la chimie du carbone fossile, et à adapter le procédé pour opérer la substitution. L'hydrogène d'origine végétale est une piste de recherche, et, en cas de succès, pourrait être une source moléculaire directement utilisable en chimie et en énergie. L'approche récente la plus originale dans la littérature scientifique est certainement le couplage biotechnologie – chimie, pour aboutir à des molécules, élaborées traditionnellement à partir du pétrole. *Clostridium acetobutylicum* est connu pour produire un mélange acétone-butanol-éthanol dans les proportions. Le mélange acétone-n-butanol-éthanol peut ensuite être modifié par chimie organique classique pour donner des cétones en C5-C11, elles mêmes transformables par déshydrogénation en paraffines.

Il est ainsi possible de passer de molécules biosourcées à des molécules hémisynthétiques identiques à celles issues de pétrole.



Place des molécules biosourcées dans les dérivés du pétrole.

5. Biotechnologies microbiennes et infectiologie

Les microorganismes sont étymologiquement des « petits organismes », donc des êtres vivants si petits qu'ils ne sont observables qu'au microscope. Ce terme englobe une variété d'espèces très différentes, qu'elles soient procaryotes (bactéries) ou eucaryotes (levures, algues). Certains incluent aussi les virus, Les micro-organismes représentent la biomasse la plus importante de la Terre.

Nous pouvons définir les domaines de la biotechnologie microbienne par rapport aux produits obtenus.

- Production de biomasse microbienne pour l'alimentation animale.
- Production microbienne de substances chimiques telles que l'acide citrique, l'acide glutamique, les acides aminés, etc.
- Production microbienne ou enzymatique d'antibiotiques et de vitamines.
- Production, à partir de cellules animales ou végétales ou de microorganismes génétiquement modifiés, d'antigènes, d'anticorps, d'agents thérapeutiques et de diagnostics auparavant fabriqués à partir d'organismes supérieurs.

5.1. Diagnostics

Le secteur de la santé (humaine et vétérinaire) fait un appel croissant aux biotechnologies, pour découvrir, tester et produire de nouveaux traitements (ex : vaccins, protéines recombinantes, anticorps monoclonaux, thérapie cellulaire et génique (non-virale)), mais aussi pour diagnostiquer et comprendre les causes des maladies.

La plupart des scientifiques qui travaillent dans le secteur médical ont tendance à envisager les progrès de la biotechnologie sur un continuum, qui est représenté par le processus ininterrompu de perfectionnement et de mise au point des pratiques médicale. Parmi les techniques médicales, nous avons la vaccination, les diagnostics et traitements vétérinaires, l'insémination artificielle et les croisements génétiques.

Grâce à la biotechnologie, des centaines de tests utilisés dans le diagnostic médical ont été mis en place. C'est le cas de la détection du virus du sida et d'autres maladies dans leur phase initiale, ce qui permet d'appliquer un traitement adapté. Les tests de grossesse effectués à domicile sans assistance médicale sont également des produits biotechnologiques.

Biotechnologie appliquée à l'analyse et au diagnostic nous à permis le développement de technologies et de systèmes de détection des substances d'origine chimique ou biologique et des microorganismes pour leur application dans la caractérisation des produits industriels, des aliments, des effluents, etc.,

La découverte et la mise à profit des microorganismes en médecine a conduit à des réussites révolutionnaires dans le domaine du traitement médicamenteux. Les premiers signes de cette évolution ont été la découverte de la pénicilline, produit d'une moisissure ayant des propriétés antimicrobiennes, par Alexandre Fleming en 1928/1929. Aujourd'hui, les antibiotiques constituent environ la moitié de tous les médicaments issus de la biotechnologie.

5.2. Nouvelles voies thérapeutiques

Les biotechnologies appliquées au secteur pharmaceutique recouvrent l'ensemble des techniques utilisant les ressources du vivant pour concevoir et produire des substances actives.

Associée au génie génétique, la génomique est à la base des recherches actuelles en biotechnologie. Elle contribue à des approches thérapeutiques nouvelles plus rationnelles. En effet, la connaissance des gènes et de leurs produits, les protéines, permet de comprendre leurs implications dans une maladie donnée et de définir de nouvelles cibles moléculaires pour développer un traitement adapté.

La génomique de *Mycobacterium tuberculosis* a été étudiée dans le but d'identifier des nouvelles cibles de médicaments et de développer de nouveaux vaccins contre la tuberculose.

Les nouveaux vaccins issus du génie génétique induisent des réponses immunitaires efficaces et évitent d'éventuelles réactions secondaires ; c'est pourquoi des vaccins contre le Virus d'Immunodéficience Humaine de type 1 (HIV1) ont été testés chez l'animal.

La vaccination par ADN (ou vaccin génétique) est une nouvelle approche vaccinale. Elle est basée sur l'introduction dans les tissus cellulaires d'ADN. Après administration de l'ADN, l'antigène est exprimé par les cellules induisant une réponse immunitaire spécifique. Ainsi, deux vaccins génétiques contre la toxoplasmose ont été récemment mis au point.

La thérapie génique constitue un autre axe de recherche. Cette approche thérapeutique utilise des gènes comme médicaments, soit pour pallier les défauts d'un gène atteint dans le cas des maladies génétiques, soit pour modifier un comportement cellulaire dans le cas d'autres pathologies. Elle consiste à introduire dans le noyau d'une cellule vivante un gène, afin d'induire un effet thérapeutique.

Le « gène médicament » est introduit dans la cellule de façon ciblée, à l'aide de systèmes de transfert de gène appelés vecteurs :

- Vecteurs viraux, virus atténués et modifiés génétiquement afin d'inclure le gène thérapeutique ;
- Vecteurs synthétiques, composés lipidiques, polymères, nanoparticules d'ADN (résultant des avancées récentes dans le domaine des nanobiotechnologies) ;
- Vecteurs bactériens, bactéries recombinantes capables de transférer de larges fragments d'ADN (notamment dans la muqueuse intestinale).

Vaccins issus de bactéries recombinantes

- La vaccination avec le vaccin recombinant *Mycobacterium microti* augmente la protection contre la tuberculose. Ce vaccin induit la réponse immunitaire des lymphocytes T.
- Dix protéines recombinantes issues de *Plasmodium falciparum*, parasite responsable du paludisme, sont produites par *Escherichia coli*. Ces protéines génèrent des anticorps chez le rat.
- *Brucella abortus* est une bactérie Gram-négative pathogène intracellulaire qui infecte les animaux ou les hommes par la voie digestive. Un antigène de *Brucella abortus* est produit dans une bactérie recombinante *Lactococcus lactis*. C'est la première étape vers la production de vaccins vivants contre la brucellose administrable par voie orale.
- Une étude porte sur des essais de vaccination anticancéreuse. Une protéine recombinante constituée d'une enzyme et d'un antigène associé aux tumeurs a été exprimée par une souche *Escherichia coli* recombinante. Injectée à des souris porteuses de tumeurs, la protéine recombinante présente une activité anti-tumorale
- Des recherches récentes portent sur l'utilisation de bactéries recombinantes comme vecteurs de gènes thérapeutiques.
- Des travaux ont été entrepris afin de transférer un gène thérapeutique dans la muqueuse intestinale par administration orale d'une bactérie (*Escherichia coli*) génétiquement modifiée, non pathogène et invasive. Une étude similaire vise à

développer une souche d'*Escherichia coli* recombinante comme vecteur de transfert de gène dans les cellules épithéliales des voies respiratoires. Ces bactéries recombinantes sont capables de transférer de larges fragments d'ADN et ouvrent de nouvelles perspectives pour la thérapie génique.

Vaccins issus de virus recombinants

- Des recherches portant sur des vaccins contre le Virus d'Immunodéficience Humaine de type 1 (HIV1) sont en cours : des virus recombinants atténués de la rougeole exprimant des antigènes du virus HIV1 ont été développés. L'immunogénicité de ces vaccins recombinants a été testée chez l'animal. L'objectif de ces recherches serait de développer un vaccin pédiatrique efficace simultanément contre la rougeole et le SIDA.
- Le virus recombinant *Herpes Simplex Virus* type 1 (HSV1) est utilisé comme vecteur pour les vaccins. Cependant, la réponse immune après vaccination est diminuée en cas de séropositivité HSV1.
- Un virus recombinant exprimant une molécule stimulatrice, infecte les cellules dendritiques et stimule ainsi le système immunitaire afin de s'opposer à la croissance des cellules cancéreuses. Il peut être utilisé en immunothérapie anticancéreuse.