Chapter 1

Comment définir les biotechnologies…

**1.1. QU’EST-CE QUE LA BIOTECHNOLOGIE ?**

Donner une définition non équivoque de la biotechnologie s’avère difficile car le domaine englobe différentes activités scientifiques et de production. En outre, la biotechnologie couvre une vaste gamme de concepts, technologiques comme scientifiques. Cependant, l’absence d’une définition générale n’a pas freiné la progression du développement biotechnologique.

Voici quelques définitions issues de la bibliographie :

« La biotechnologie est un ensemble d’outils puissants utilisant des organismes vivants (ou une partie de ces organismes) pour obtenir ou modifier des produits, améliorer des espèces végétales et animales ou développer des microorganismes destinés à des usages spécifiques »2.

« La biotechnologie est la technique de manipulation des formes vivantes (organismes) visant l’obtention de produits utiles à l’humanité »3.

« La biotechnologie est l’application des principes de la science et de l’ingénierie au traitement des matières via des agents biologiques, dans le but d’obtenir des produits et des services »4.

« La biotechnologie est l’intégration des sciences naturelles et de l’ingénierie afin d’obtenir l’application d’organismes et de cellules (ou des parties de ces derniers) ainsi que d’analogues moléculaires dans la production de biens et de services »5.

« La biotechnologie est l’utilisation industrielle d’organismes vivants ou de techniques biologiques développées par la recherche fondamentale. Les produits biotechnologiques comprennent : les antibiotiques, l’insuline, l’interféron, l’ADN recombinant et les anticorps monoclonaux. Les techniques biotechnologiques comprennent : le génie génétique, les cultures cellulaires, les cultures de tissus, le biotraitement, l’ingénierie des protéines, les biocatalyses, les biosenseurs et la bioingénierie »6.

« La biotechnologie, ce n’est pas une seule technologie, elle rassemble diverses techniques qui ont en commun la manipulation des cellules vivantes et de leurs molécules et l’application pratique de ces procédés afin d’améliorer la vie 7

1. BIOTECHNOLOGIE

2 Washington Biotechnology and Medical Technology Online (http://www.wabio.org/definition\_biotech.htm). 3 Internet : http://www.miracosta.cc.ca.us/mcbc/pw/b2bglossary.htm 4 Matthew Herwig (http://www.engr.umbc.edu/~mherwi1/proj1.html). 5 Assemblée générale FEB, 1989 (http://www.eurodoctor.it/biotech.html). 6 The Biotech Life Sciences Dictionary (http://www.eurodoctor.it/biotech.html). 7 North Carolina Biotechnology Center (http://www.ncbiotech.org/).

« En termes généraux, la biotechnologie est l’utilisation de procédés biologiques visant l’obtention de produits utiles, qui incluent des organismes modifiés, des substances et des appareils »8.

« On appelle biotechnologie les procédés biologiques produisant des substances bénéfiques à l’agriculture, à l’industrie, à la médecine et à l’environnement »9.

Conformément au Bureau de consultation en technologie du bureau de presse du gouvernement américain, il existe deux définitions de la biotechnologie. La première englobe l’ancienne biotechnologie et la nouvelle10 :

« Toute technique utilisant des organismes vivants (ou une partie d’entre eux) pour créer ou développer des microorganismes destinés à des usages spécifiques ».

La seconde, plus spécifique, s’applique à la biotechnologie moderne :

« La biotechnologie est l’industrie qui utilise l’ADN recombinant, la fusion cellulaire et les nouvelles techniques de biotraitement ».

« La biotechnologie est l’application de la science et de l’ingénierie à l’utilisation directe ou indirecte d’organismes vivants, de parties d’organismes ou de produits d’organismes vivants, sous leur forme naturelle ou modifiée »11.

Voici comment l’OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Économiques) décrit la biotechnologie :

« Application de la science et de la technologie aux organismes vivants comme à ses parties, produits et molécules, afin de modifier les matières vivantes ou non qui serviront à la production de connaissances, de biens et de services ».

D’autres définitions vont dans ce sens :

« La biotechnologie consiste tout simplement à utiliser des microorganismes, ainsi que des cellules végétales et animales afin de produire des matières, notamment des aliments, des médicaments et des produits chimiques utiles à l’humanité ».

« La biotechnologie est l’utilisation d’organismes vivants ou composés issus d’organismes vivants visant à obtenir des produits utiles à l’Homme».

La FAO (Organisation des Nations-Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture) donne deux définitions complémentaires de la biotechnologie.

Applications de la biotechnologie dans l’industrie

Bioindustry Association (http://www.bioindustry.org). 9 Canadian Food Inspection Agency (www.cfia-acia.agr.ca). 10 Office of Technology Assessment Publications (OTA Publications). Biotechnology in Global Economy. Congress of the United States, 1991. The Biotechnology Gateway. Canada Industry (http://strategis.ic.gc.ca/SSG/bo01074e.html). Le Centre Bioinfo (http://www.porquebiotecnologia.com.ar/doc/biotecnologia/biotec.asp). Infoagro (http://www.infoagro.com/semillas\_viveros/semillas/biotecnologia.asp). Organisation des Nations-Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture (FAO) (http://www.fao.org/DOCREP/003/X3910E/X3910E00.htm).

« 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. ».

Certains biotechnologues définissent la biotechnologie comme « une technologie appliquant les potentiels des êtres vivants et leur possibilité de modification sélective et programmée à l’obtention de produits, de biens et de services ».

Par conséquent, la biotechnologie regroupe les fondements d’un grand nombre de disciplines, de la biologie classique (taxonomie) à la bioingénierie ou le génie génétique, la microbiologie, la biochimie, la biologie cellulaire et moléculaire, l’immunologie, etc. (Muñoz, 1994).

**Pour J. D. Bu’lock (1991), la biotechnologie « est l’application contrôlée et délibérée d’agents biologiques simples (cellules vivantes ou mortes, composants cellulaires) dans les opérations techniques de fabrication de produits ou l’obtention de services ».**

Le sens donné au terme « biotechnologie » est donc parfois trop limité (manipulation génétique et biologie moléculaire appliquée à l’obtention de biens et de services utiles). Au sens large, la biotechnologie englobe toutes les opérations de la biologie appliquée, de l’agriculture aux sciences culinaires.

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.). On peut également considérer l’apiculture et l’élevage comme des ancêtres de la biotechnologie. Cependant, aux États-Unis, l’un des pays les plus avancés dans ce domaine, l’usage du terme « biotechnologie » englobe aujourd’hui tout un secteur industriel qui crée, développe et commercialise une gamme de produits issus de la manipulation génétique, de la biologie moléculaire ou de l’application contrôlée et dirigée de microorganismes ou de parties de microorganismes.

Si nous examinons une application plus industrielle, nous pouvons définir les domaines de la biotechnologie 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 enzymatique de substances chimiques spéciales, par exemple certains isomères optiques, etc.

• Production microbienne ou enzymatique d’antibiotiques et de vitamines.

• Production à grande échelle de substances chimiques auparavant produites à partir du pétrole, notamment l’éthanol, le butanol, l’acétone, l’acide acétique, etc.

• 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.

• Produits pour l’agriculture et l’élevage. Cette méthode, qui suppose l’amélioration

des espèces de plantes et d’animaux via le génie génétique, est beaucoup plus rapide et efficace que celles utilisés jusqu’à présent (boutures ou sélection et croisement d’espèces).

• Produits pour l’industrie alimentaire, par exemple : enzymes, adjuvants alimentaires

et, surtout, meilleure connaissance des procédés de fermentation utilisés depuis toujours et possibilité de mieux sélectionner les microorganismes et même de les améliorer génétiquement.

• Technologies plus propres ou moins polluantes. L’obtention d’une technologie ne comportant pas de risques pour l’environnement (ou des risques minimums) comme résultat de l’application des différents domaines de la biotechnologie peut également être considérée comme le fruit de la biotechnologie et être appliquée à différents secteurs industriels.

Si nous examinons les types de procédé, nous obtenons une autre distribution des domaines de la biotechnologie :

• ADN recombinant (génie génétique). Cette technique est la base des procédés d’obtention des enzymes, des hormones, des anticorps, des vaccins, etc. • Culture des cellules végétales et des protéines unicellulaires. Cette technique est utilisée dans la production de substances chimiques telles que les stéroïdes, les alcaloïdes, les protéines unicellulaires pour la production de biomasse, etc.

• Fermentations industrielles. Cette technique est très ancienne, mais nous sommes aujourd’hui en mesure de la contrôler et même de l’orienter en fonction de notre intérêt. On obtient via la fermentation des aliments, des antibiotiques et des produits chimiques.

• Biocatalyse. Cette technique, à la mode, dispose d’un vaste spectre d’applications. Par exemple, on obtient avec des biocatalyseurs des aliments et des substances chimiques. Les biosenseurs et certains équipements de diagnostic fonctionnent également avec des catalyseurs. En outre, on applique actuellement des biocatalyseurs dans des secteurs tels que l’industrie du textile, du papier, du tannage, etc., afin d’obtenir des technologies plus propres.

• Biorémédiation. La biotechnologie est de plus en plus appliquée dans le traitement et la réutilisation des déchets. C’est en fait dans ce domaine que l’on trouve la gamme d’applications la plus vaste. On utilise ainsi des méthodes biotechnologiques dans la détoxication des terres polluées aux herbicides, dans le traitement des eaux résiduaires, dans la récupération des déchets industriels (par exemple le petit-lait des fromageries ou les déchets de cellulose, etc.)

• Génie des procédés. Une industrie appliquant les méthodes du génie chimique aux procédés biotechnologiques s’est développée autour des applications biotechnologiques. Le génie des procédés est par exemple présent dans la filtration et le pré-traitement des effluents, le recyclage des eaux, l’extraction des produits, la récupération des catalyseurs et des microorganismes, etc.

En définitive, la portée de la biotechnologie est tellement large qu’il est difficile d’en donner une définition pratique ; 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 applications de la biotechnologie sont très diverses et leurs avantages sont tellement évidents que les industries les intègrent actuellement dans leurs processus de production d’une manière ou d’une autre.

Voici quelques-uns des secteurs ayant implanté des procédés biotechnologiques dans leur production :

• agriculture, • élevage,

Applications de la biotechnologie dans l’industrie

aquaculture, • sylviculture, • pharmacie, • diagnostic, • chimie fine, • chimie médico-légale, • alimentation, • savons et lessives, • textile, • papier, • biorémédiation.

La biotechnologie a permis à ces secteurs d’élaborer des produits nouveaux ou meilleurs, d’économiser du temps et de l’énergie en de nombreuses occasions et d’être plus respectueux de l’environnement.

Grâce à la biotechnologie, les sciences de la santé ont connu une importante progression (création de nouveaux médicaments, par exemple) et on a pu mettre en place de nouvelles méthodes de production de médicaments à grande échelle ou des diagnostics plus précis, par exemple en ce qui concerne le sida. Dans d’autres domaines, la biotechnologie se concentre spécifiquement sur le développement de procédés moins polluants entraînant une moindre consommation d’énergie et rendant possible le recyclage des ressources naturelles, ces dernières formant une base durable pour le développement technologique.

**D’après toutes les définitions exposées précédemment, on s’aperçoit que la biotechnologie est séparée en deux domaines, le domaine moléculaire et le domaine appliqué, ni indépendants ni juxtaposés mais consécutifs et en étroite relation.**

On pourrait en conclure que la biotechnologie moderne implique des connaissances scientifiques sur la biologie moléculaire, l’ADN, les techniques de manipulation à l’échelle moléculaire ainsi que sur les mécanismes métaboliques et de réplication de l’ADN et de la transcription des protéines. Ceci ouvre la porte à la manipulation d’organismes vivants pour obtenir des bénéfices concrets applicables à la production ou à la rémédiation.

Une autre conclusion est que la biotechnologie est un champ multidisciplinaire où coexistent la science et la technologie. Parmi les sciences englobées par la biotechnologie, citons la biologie, la botanique, la biologie moléculaire, la génétique, l’immunologie, la biochimie, l’enzymologie, etc. Parmi les technologies, signalons le génie génétique, les fermentations, les biocatalyses, le génie des procédés, etc.

Ce qui ressort de l’ensemble des définitions de la biotechnologie est que celle-ci se distingue des autres technologies appliquées à l’industrie parce qu’elle utilise des êtres vivants ou une partie de ceux-ci pour obtenir des produits au bénéfice de l’Homme. En conséquence, l’obtention de lait à partir de vaches d’une exploitation d’élevage relève de la biotechnologie. Cependant, on entend actuellement par biotechnologie l’application de techniques de manipulation génétique visant à modifier des organismes qui seront utilisés pour obtenir des produits ou des services concrets, c’est-à-dire, en quelque sorte, un organisme de synthèse aux prestations prédéterminées.

Nous sommes aujourd’hui en mesure de comprendre pourquoi la biotechnologie a connu ces dernières années un développement si important. Ceci est principalement dû aux progrès de la biologie moléculaire ainsi qu’aux dernières découvertes de la génétique. Ceci a entraîné l’apparition de nombreuses applications industrielles auparavant impossibles à mettre en place.

L’industrie biotechnologique peut être divisée en deux grands domaines, l’industrie qui produit des organismes manipulés (organismes « entiers » ou partie d’organisme) et l’industrie qui utilise ces organismes ou une partie de ceux-ci pour obtenir des produits ou des services. Cette étude se concentre sur le deuxième domaine, l’industrie qui applique les microorganismes ou une partie de ceux-ci (principalement les enzymes) à l’obtention de biens et de services, et à l’intérieur de ce domaine, sur les industries qui utilisent cette technologie pour améliorer le rendement de leurs installations afin de mieux utiliser l’énergie et les matières premières ou de traiter les déchets de façon plus écologique.

**1.2. Historique / Bibliographie**

Le prédécesseur de la biotechnologie est la biologie moderne. Celle-ci a réalisé de gros progrès dans le domaine des techniques de manipulation d’organismes complexes et a permis d’améliorer les connaissances liées à de nombreux procédés traditionnels, qui utilisaient les agents biologiques de façon peu contrôlée et délibérée. Il serait cependant faux de dire que l’industrie moderne de la biotechnologie de la fermentation est la version actualisée des anciens procédés de fermentation dans les secteurs du vin ou du fromage ou qu’elle est liée aux découvertes de la microbiologie du XIXe siècle. En réalité, la biotechnologie actuelle est le résultat de l’application de microorganismes sélectionnés et manipulés à des fins bien précises.

Nous citerons à titre d’exemple deux aspects industriels de la biotechnologie moderne de la fermentation : en premier lieu, l’obtention de biomasse à partir de boues activées, puis la sélection et la propagation à grande échelle de souches spécifiques de Clostridium pour la production d’acétone et de butanol. Ces deux procédés, créés à Manchester il y a presque un siècle, sont des exemples-type de la biotechnologie au sens large et représentent les deux domaines de l’industrie biotechnologique.

1.2.1. Les débuts de la biotechnologie

La biotechnologie est à bien des égards une science ancienne. Ainsi, sans connaître ni comprendre les principes de la fermentation ou de la génétique, l’humanité utilise depuis l’Antiquité certains procédés biotechnologiques pour la production de fromage, de pain, de vin, pour l’élevage sélectif des animaux, la culture sélective des plantes, etc.

En ce qui concerne 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. En fait, le premier stade du développement biotechnologique est l’utilisation des techniques de fermentation. Ce n’est que plus tard, dans les années soixante-dix, que l’on commence à les appliquer aux spectaculaires résultats des techniques émergentes de la biologie moléculaire. Le terme « biotechnologie » est apparu dans le langage courant relativement récemment.

Voici à présent les principaux domaines relevant des processus biotechnologiques dans le passé :

• boissons alcoolisées (préhistoire) • élaboration de bière (3 000 av. J.C.) • élaboration de pain (3 000 av. J.C.) • élaboration de vinaigre (XIVe siècle) • description des cellules de levure par Leeuwenhoek (1689) • découverte des propriétés de fermentation des levures par Erxleben (1818).

Les applications traditionnelles de la biotechnologie sont également nombreuses. Un exemple simple est le compostage, qui augmente la fertilité de la terre via la décomposition de la matière organique par les microorganismes du sol. D’autres applications fréquentes sont la production et l’utilisation de vaccins. L’industrie alimentaire propose également de nombreux exemples de processus biotechnologiques avec la production de vins, de bière, de fromage, de yaourt, de pain, etc.

1.2.2. La biotechnologie moderne

L’intérêt actuel de la biotechnologie réside dans le potentiel impliqué par l’union des procédés et des méthodes biologiques (anciens et modernes) et les techniques du génie chimique et de l’électronique. La représentation graphique de la biotechnologie moderne serait un arbre dont les racines seraient les sciences biologiques (microbiologie, génétique, biologie moléculaire, biochimie) et les branches, le génie chimique des procédés dans son acception la plus large.

La naissance de la biotechnologie moderne est associée au développement des procédés de fabrication de la pénicilline à l’échelle industrielle. Pendant la Seconde Guerre Mondiale, la demande en antibiotiques était très forte, ce qui a donné l’impulsion aux efforts collectifs des ingénieurs en chimie et des microbiologistes, qui ont cherché à produire en masse de la pénicilline à l’aide de méthodes de fermentation.

Par la suite, l’industrie biotechnologique moderne s’est fixé un objectif, utiliser les enzymes. Les enzymes sont les principes actifs des microorganismes et les véritables responsables des bioréactions. À la différence des microorganismes, les enzymes peuvent être manipulées de façon presque analogue à une molécule chimique, elles ne présentent pas autant de réactions secondaires et ne se multiplient pas, ce qui évite les problèmes de biomasse. Cependant, ce dernier facteur peut devenir inconvénient car la plupart du temps, les enzymes ont besoin de coenzymes ou de médiateurs pour agir et une fois désactivées, elles sont inutiles dans les bioréactions.

Les premières applications des enzymes dans l’industrie biotechnologique ont été la fabrication d’édulcorants (par exemple l’obtention de sirop de fructose à partir du blé) et l’utilisation de lipases et de protéases dans les lessives pour l’élimination des taches difficiles.

L’utilisation d’enzymes spécifiques, souvent issues de microorganismes manipulés génétiquement, annonce la seconde génération de la biotechnologie industrielle (ou biotechnologie moderne), qui intègre déjà clairement la microbiologie, la biochimie et le génie des procédés.

1.2.3. La dernière génération de la biotechnologie

La biotechnologie commence à être considérée comme une science moderne dans les années soixante-dix grâce aux progrès de la biologie moléculaire et de la génétique. Ces progrès sont à l’origine des techniques de clonage et d’ADN recombinant qui ont permis aux scientifiques de mieux connaître les fonctions cellulaires et leurs composants chez les êtres vivants et ont rendu possible le développement de nouvelles méthodes d’isolement des cellules mères et des gènes des organismes vivants afin de produire in vitro les produits de leur métabolisme, qu’auparavant on ne pouvait obtenir qu’à l’aide de l’organisme vivant.

La biotechnologie moderne ne renie pas son passé, bien au contraire puisqu’elle l’a intégré à ses nouvelles méthodes et techniques. Ainsi, elle englobe une vaste gamme de produits et de services qui reposent sur les progrès actuels spectaculaires des techniques du génie génétique.

La capacité à manipuler l’information génétique la plus fondamentale, l’ADN, a entraîné une augmentation exponentielle du nombre d’entreprises biotechnologiques se consacrant aux techniques de l’ADN recombinant. Bon nombre de produits pharmaceutiques sont déjà fabriqués à l’aide d’enzymes et de microorganismes de synthèse ; il s’agit de produits qui renferment des substances telles que l’insuline, l’interféron ou les plasmides activateurs et qui étaient très compliqués ou très chers à fabriquer dans le passé.

Cependant, limiter la biotechnologie aux techniques de l’ADN recombinant est une erreur : la biotechnologie moderne, c’est bien plus que cela, il s’agit de l’application, dans de nombreux domaines, d’organismes manipulés ou sélectionnés à l’aide de ces techniques dans le but d’obtenir des produits de haute valeur ajoutée.

**En conséquence, les technologies englobées dans le concept moderne de la biotechnologie sont :**

• l’ADN recombinant (génie génétique),

• la culture des tissus végétaux,

• la culture des cellules de mammifères,

• les biocatalyseurs, • le traitement et la réutilisation des produits résiduaires via des méthodes biotechnologiques (biorémédiation),

• les fermentations,

• l’obtention biotechnologique de combustible et de matière première organique comme alternative au pétrole,

• le génie des procédés biotechnologiques.

Il nous semble important de citer deux autres applications actuelles de la biotechnologie qui, à l’image du secteur de la santé, impliquent l’utilisation du génie génétique : la biorémédiation et les technologies plus propres.

Les méthodes de traitement des déchets toxiques et organiques sont généralement onéreuses et elles peuvent entraîner de nouveaux problèmes environnementaux. La manipulation génétique a permis d’obtenir des microorganismes peu dangereux et des enzymes spécifiques de dégradation et de métabolisation des produits résiduaires toxiques. Dans le secteur du traitement des déchets, cette utilisation des microorganismes manipulés ou sélectionnés ou des enzymes qu’ils produisent est appelée biorémédiation. Voici quelques exemples de techniques de biorémédiation : obtention de méthane et de gaz à partir de déchets solides urbains, digestion de déchets végétaux via bactéries, épurateurs biologiques, obtention de biomasse à partir de sous-produits organiques, digestion de nappes de pétrole via microorganismes, etc.

D’autre part, différents secteurs industriels appliquent actuellement des techniques biotechnologiques afin de remplacer les techniques industrielles dangereuses pour l’environnement ou qui le polluent. L’utilisation de microorganismes ou d’enzymes constitue une technique plus propre ou moins polluante et des déchets plus biodégradables. Il y a ainsi réduction in situ des effets nocifs des déchets, ainsi que de leur quantité, mais également très souvent réduction des coûts d’eau et d’énergie.