Chapter 2

Les principaux domaines biotechnologiques industrielles

La biotechnologie peut être examinée de deux façons différentes : d’un point de vue horizontal, qui distingue les techniques utilisées (domaines de la biotechnologie) ou d’un point de vue vertical, qui se concentre sur les secteurs d’application industrielle.

Les domaines de la biotechnologie, cités précédemment mais que nous examinerons à présent plus en détails, sont les suivants :

• l’ADN recombinant (génie génétique), • la culture des tissus végétaux, • la culture des cellules de mammifère, • 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.

1. 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.

Ce domaine de la biotechnologie permet donc de produire de nouvelles protéines, par exemple des enzymes qui seront utilisées comme biocatalyseurs. La capacité spécifique des biocatalyseurs est gouvernée par la structure moléculaire ; au moyen de la technique de l’ADN recombinant, il est possible de modifier de façon sélective les gènes qui codifient la synthèse cellulaire des enzymes. Par la suite, lors du transfert du nouvel ADN dans un microorganisme-hôte, on peut obtenir une nouvelle souche qui produira l’enzyme souhaitée.

2. Plantes et culture des tissus végétaux

Les plantes, en plus de leur rôle-clé dans la production d’aliments, sont une source importante de matières premières et de médicaments. En effet, rappelons que 25 % des médicaments actuels sont d’origine végétale.

D’autre part, la culture d’organismes végétaux unicellulaires pour la production de biomasse ou l’extraction de produits de haute valeur ajoutée est une pratique qui augmente de jour en jour, à mesure que se développe la biologie moléculaire.

Enfin, la reproduction de plantes modifiées, via les techniques de réplication, a déjà été expérimentée avec succès. Cette technologie permet de remédier aux carences, d’améliorer les espèces et de mettre en place une résistance aux fléaux et aux maladies de nombreuses espèces végétales.

3. Culture des cellules de mammifère

La première étude sur la fusion spontanée de deux cellules somatiques différentes pour former une hétérocaryote (un minimum de deux noyaux et un unique cytoplasme) a été publiée en 1960 par Barsky et ses collaborateurs français. Cependant, on avait déjà observé à cette époque l’apparition de cellules polynucléaires dans les cultures de tissus de mammifères infectés par certains virus inactivés (Bull [et al.], 1984).

Les hétérocaryotes permettent d’obtenir l’expression des gènes des deux cellules parentales. En 1975, Kohler et Milstein ont appliqué cette propriété à leur célèbre synthèse d’anticorps monoclonaux, obtenus via la fusion de lymphocytes producteurs d’anticorps avec des cellules malignes de myélome, qui ont pour propriété une reproduction rapide. Ces cellules hybrides de myélome conservent cette propriété (la reproduction rapide) tout en exprimant des anticorps spécifiques.

Certaines protéines étant produites à partir des seules cultures de cellules de mammifère, cette culture des cellules à grande échelle est l’un des objectifs des biologistes moléculaires. Les anticorps monoclonaux et l’interféron sont deux exemples de ce type de protéines, qui sont très importantes pour la préparation des produits thérapeutiques et d’application analytique.

4. Biocatalyseurs

Les enzymes sont des catalyseurs naturels ; comme c’est le cas pour tous les processus naturels, elles sont très spécifiques et font preuve d’une efficacité thermodynamique. Utilisées depuis des siècles, en particulier dans le secteur de la production d’aliments, elles sont l’une des formes les plus anciennes de la biotechnologie.

L’utilisation d’enzymes (isolées ou en cellules mortes ou mourantes) est d’une grande importance non seulement dans l’industrie alimentaire mais également dans la production de substances chimiques, dans les systèmes analytiques et de diagnostic, dans le traitement des maladies et enfin, dans l’industrie émergente des technologies plus propres.

L’utilisation des enzymes dans tous ces domaines a été rendue possible grâce aux meilleures connaissances de la fonction des enzymes dans les systèmes métaboliques des êtres vivants, de la structure des enzymes et par-dessus tout grâce à la possibilité d’obtenir des enzymes de synthèse via la manipulation génétique des microorganismes. Ces facteurs ont fait que de nombreuses entreprises sont spécialisées dans la production à grande échelle d’enzymes d’origine microbienne.

5. Biorémédiation

Rappelons que la biorémédiation est l’application de la biotechnologie au traitement et à la réutilisation des produits résiduaires.

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 résiduaires 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.

Toujours dans ce domaine, des études de dégradation microbienne des déchets de cellulose sont réalisées dans le but d’obtenir de la biomasse (protéines unicellulaires). On a estimé que la quantité de protéines susceptibles d’être obtenue par ce biais à partir de déchets agricoles suffirait à alimenter l’ensemble de la population mondiale.

Enfin, signalons la présence d’autres études en cours : l’application de la biotechnologie pour la détoxication des sols pollués. Cette technique utilise des cultures de plantes supérieures qui fixent les métaux lourds et éliminent les polluants organiques.

6. 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 biopolymères, 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.

7. Combustibles et produits organiques comme alternative au pétrole

Le pétrole est une matière première non renouvelable, ce qui signifie que son usage incontrôlé ou croissant est limité. La biotechnologie utilisant quant à elle des matières renouvelables, son usage contrôlé peut s’étendre à l’infini. En cas d’épuisement du pétrole, la biotechnologie peut donc apporter deux solutions : d’une part, de nouveaux combustibles et d’autre part, une source alternative de produits organiques. L’utilisation des déchets de la fabrication du sucre de canne pour obtenir de l’alcool est un exemple de procédé entraînant des économies d’énergie.

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

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

8. Génie des procédés biotechnologiques

L’application des techniques du génie chimique aux procédés biotechnologiques a entraîné l’apparition de la science des bioréacteurs, un secteur technique lié à la fois au génie chimique et à la biologie, à la microbiologie et à la biochimie et qui englobe l’étude et la conception de réacteurs à lit fixe, de sondes de contrôle de pH et de température, de pompes de dosage à réactifs et à aération, la conception d’agitateurs, l’étude des différentes méthodes d’immobilisation des enzymes et des microorganismes et la conception de divers filtres. L’ensemble de ces techniques possède aujourd’hui un nom, le génie des procédés. Toutes ces connaissances biotechnologiques doivent passer à un niveau de production qui les transformera en éléments rentables. Ceci demande la plupart du temps des procédés d’scalage et des technologies issues du secteur de l’ingénierie, qui doivent s’adapter aux propriétés spécifiques des organismes vivants de la biotechnologie. Voici quelques exemples de procédés : la collecte, le prétraitement et la filtration des matières premières, la conception du réacteur, la récupération et la réutilisation des biocatalyseurs, l’extraction et l’analyse des produits, le traitement des effluents et le recyclage des eaux.