

Valeur de la formation et formation aux valeurs éthiques dans le domaine des biotechnologies industrielles

Par Vanessa PROUX

École Sup'Biotech, directrice générale, Pôle de compétitivité Medicen Paris Région, présidente de la Commission Formation

et Fabien MILANOVIC

Docteur en sociologie de l'Université René Descartes et enseignant-chercheur à Sup'Biotech

Alors que l'espèce humaine connaît un accroissement sans précédent depuis son apparition (la population mondiale est ainsi passée de 1,66 milliard à 6 milliards d'habitants au cours du XX^e siècle), les enjeux économiques de la biologie industrielle n'ont jamais été aussi forts. Les domaines de la santé, de l'agro-alimentaire ou de l'environnement seront en effet les premiers impactés, et, plus encore qu'hier, ce secteur doit encourager la formation de ses futurs cadres, ceux qui devront accompagner le monde dans ces changements. À de solides acquis scientifiques et techniques devront également s'ajouter des capacités d'adaptation, avec une prise en compte de facteurs liés aux notions de développement durable et de transition écologique, car l'impact humain sur la planète n'aura jamais été aussi fort. Voilà pourquoi il est difficile de séparer la valeur de la formation que nous donnerons à nos futurs ingénieurs de la formation de valeurs, au sens éthique du terme.

Introduction

Les biotechnologies représentent aujourd'hui un marché prometteur en plein développement, même si elles cohabitent avec l'homme depuis des siècles. En effet, les Gaulois appréciaient particulièrement une boisson fermentée, la cervoise, élaborée à partir de levures. Nous pouvons aussi citer la découverte par Alexander Fleming, en 1928, de la pénicilline, une toxine synthétisée par des champignons, qui est inoffensive pour l'homme, mais mortelle pour certaines bactéries pathogènes. Elle est devenue le premier antibiotique identifié « offert » par le monde vivant à avoir fait le bonheur de l'industrie pharmaceutique. C'est pour ces raisons que nous pouvons définir les biotechnologies comme étant *la valorisation du vivant à des fins utiles pour l'homme après le passage par une phase d'industrialisation*.

Grâce à l'acquisition de connaissances de plus en plus fines sur le monde vivant, à un accès élargi à des technologies plus poussées, à la puissance de l'informatique et aux capacités croissantes de stockage et d'analyse de données, les biotechnologies sont sorties de l'ombre à la fin du XX^e siècle pour représenter la prochaine révolution industrielle et trouver une place à la hauteur de leur valeur et de leurs potentialités dans la société.

Sur le long terme, c'est une véritable bioéconomie qui est en train de se mettre en place à l'horizon 2030, suivant une étude détaillée de l'OCDE ⁽¹⁾ qui laisse apparaître que les biotechnologies contribueraient à hauteur de 2,7 % au PIB des pays membres de cette organisation, avec une part importante dans l'industrie et la production primaire, suivie des applications dans le domaine de la santé.

Le virage pris par les biotechnologies industrielles soulève de véritables enjeux en matière de ressources humaines requises, et plus particulièrement en ce qui concerne les profils de cadres scientifiques et d'ingénieurs qui devront être capables d'innover et de transformer les résultats des travaux de recherche menés dans le domaine des biotechnologies en produits, en biens, en procédés et en services répondant à des besoins de l'homme. Les établissements d'enseignement supérieur ayant pour objectif de former ce type de profil doivent prendre en compte la diversification des secteurs d'application des biotechnologies sur le plan de l'interdisciplinarité ainsi que leurs écarts de maturité, et ils doivent également intégrer les enjeux sociétaux qu'elles soulèvent : acceptation des in-

(1) The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda – ISBN 978-92-64-03853-0-OECD 2009.

novations liées au vivant, changements dans la perception du monde vivant, peurs et dérives liées à la manipulation du vivant, forte dimension éthique des biotechnologies... Il en résulte la mise en place d'un portefeuille de compétences spécifiques à ce profil émergent d'ingénieur en biotechnologies.

La pluralité des enjeux de la biologie industrielle

Les biotechnologies contribuent à l'amélioration de notre qualité de vie dans la lutte contre certaines maladies non seulement en nous donnant accès à une alimentation variée et enrichie, en nous aidant à préserver notre environnement, mais aussi en nous procurant un bien-être accru grâce à des compléments alimentaires, à des cosmétiques naturels ou encore à des alicaments.

La bioéconomie et la bio-ingénierie sont également adossées au développement durable et à la transition écologique. En effet, la viabilité de nos sociétés et leur mode de développement sont aujourd'hui confrontés aux limites physiques et biologiques de notre planète. Les problématiques sont multiples et urgentes à résoudre : eau, énergie, maîtrise de la pollution, évolution du climat, équilibres nord-sud, maintien de la biodiversité, santé humaine, etc. Or, des réponses sont offertes par un ensemble de pratiques découlant des biotechnologies, qui permettent à celles-ci de se déployer, tout en soulevant une diversité d'enjeux pour :

- l'industrie pharmaceutique,
- la production de matériaux et d'énergie,
- la bio-remédiation,
- l'écoconception, l'économie circulaire (valorisation des déchets, baisse de l'impact carbone),
- la substitution de la chimie actuelle (reposant sur les ressources fossiles) par la chimie du végétal,
- enfin, les industries agroalimentaire et cosmétique.

À titre d'exemple, en France, les biotechnologies dites « rouges » sont associées à la mutation du secteur industriel de la santé ^(2, 3) :

- de 2005 à 2012, le nombre des entreprises de biotechnologie actives sur ce marché est passé de 400 à plus de 500, avec une croissance importante des effectifs dans les sociétés de plus de 250 personnes, lesquelles représentent 65 % des effectifs de la profession.

En 2014, les effectifs de la R&D et de la production en santé représentaient plus de 56 400 postes (dont 50 % du niveau cadre) et pour 15 % correspondaient à de nouveaux recrutements.

Dans l'industrie de la santé, le poids de la R&D est plus élevé que dans d'autres secteurs industriels et il est soutenu par des pôles de compétitivité, tels que Medicen Paris Région, qui fédère des projets collaboratifs de R&D entre les laboratoires de recherche publique et des entreprises de toutes tailles (depuis des *start-ups* jusqu'aux grands groupes, en passant par les PME) autour de domaines d'actions stratégiques : TIC & santé, biomatériaux & médecine régénératrice, diagnostic *in vitro*...

- en 2015, un nouveau médicament sur trois vient des biotechnologies (anticorps monoclonaux, protéines recombinantes...), nécessitant de ce fait un transfert technologique et industriel à l'intérieur même de l'industrie pharmaceutique et des métiers associés, ce qui accroît une demande déjà forte en cadres scientifiques et en ingénieurs.

Quant aux biotechnologies industrielles dites « blanches », elles reposent sur la chimie du végétal et sur l'exploitation industrielle de biomasses (amidon, sucre, huiles végétales, matières lignocellulosiques) à partir des procédés de biotechnologie qui fournissent des sources de bio-carbone à d'autres industries (matériaux, matières plastiques, carburants, alimentation, emballages...), dans une démarche de développement durable. Ainsi, la chimie du végétal couvre de nombreux secteurs, comme l'environnement, l'agroalimentaire ou les cosmétiques, mais aussi des spécialités liées à la chimie, comme la chimie des solvants ou encore celle des matériaux.

Ces biotechnologies « blanches », auxquelles est notamment associé le concept de bioraffinerie ^(4, 5), connaissent un développement rapide grâce aux outils de la bio-informatique et du tri à haut débit. Elles sont d'ailleurs soutenues par le pôle Industries agro-ressources (IAR) dans le cadre de projets, tels qu'IMPROVE (pour la valorisation des protéines végétales) et FUTUROL (pour la production de bioéthanol).

Quelles formations ? Et quelles compétences sont en jeu ?

Les organismes vivants peuvent être assimilés à des systèmes complexes constitués d'éléments unitaires eux-mêmes complexes : il s'agit de cellules qui interagissent entre elles *via* des réseaux de réactions chimiques obéissant à certaines lois de la physique. Les biotechnologies représentent la valorisation du monde vivant (et des molécules qui le composent) à des fins industrielles pour répondre à des besoins de l'homme.

Il est dès lors légitime de faire appel aux compétences de l'ingénieur pour contribuer au développement économique des biotechnologies. D'ailleurs, les compétences requises pour occuper un emploi dans les différentes branches professionnelles représentatives des biotechnologies font appel à des aptitudes scientifiques, technologiques et économiques se situant à la hauteur de celles acquises par un ingénieur. Elles couvrent principalement le champ de la transformation de la biomolécule en un

(2) Étude sur les besoins en compétences dans les biotechnologies santé à l'horizon 2015, *LEEM & AEC Partners, octobre 2011*.

(3) *Présentation du LEEM, Les Industries du médicament : des métiers d'avenir pour faire progresser la vie, DU GBM Université Paris 6, 25 mars 2016*.

(4) « *Panorama et potentiel de développement des bioraffineries* », étude réalisée pour le compte de l'Ademe par Hugues de Cherisey, octobre 2010.

(5) « *Chimie du végétal et biotechnologies industrielles : quels métiers stratégiques ?* », synthèse APEC n°2014-55.

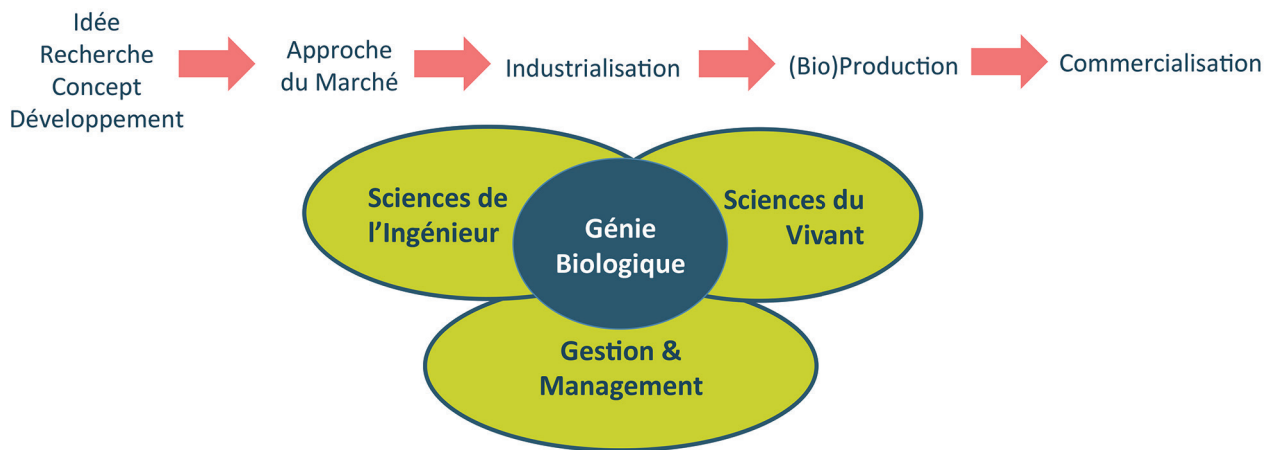


Figure 1 : Profil d'un ingénieur en biotechnologies et ses fonctions sur la chaîne de développement.

produit commercialisable et font appel à l'analyse de systèmes complexes, au diagnostic et au raisonnement à partir de simulations.

L'ingénieur(e) en biotechnologies doit maîtriser un ensemble de compétences se répartissant entre trois composantes imbriquées les unes dans les autres : sciences du vivant, sciences de l'ingénieur et gestion et management (voir la Figure 1 ci-dessus).

Il/elle peut occuper un poste sur la chaîne de développement d'un produit, d'un procédé ou d'un service issu des biotechnologies (voir la Figure 2 ci-dessous).

Au cours de sa carrière, il/elle pourra aussi évoluer en passant d'une étape à une autre sur cette chaîne si, durant sa formation, il/elle acquiert des compétences lui permettant de maintenir son niveau d'expertise et qu'il/elle continuera à se former tout au long de sa vie professionnelle.

Les entreprises du secteur des biotechnologies ont particulièrement besoin de faire appel à des profils polyvalents de par leurs enjeux, leur activité, leur taille (une majorité de PME), leur modèle économique, leur positionnement sur le marché et leur environnement concurrentiel.

Les formations doivent intégrer ces aspects dans leurs objectifs pédagogiques pour pouvoir répondre aux besoins des entreprises en leur apportant ces nouvelles compétences tout en donnant aux élèves une adaptabilité et une réactivité face à la diversité et à la complexité des missions qui leur seront proposées.

Six contraintes spécifiques aux biotechnologies doivent également être prises en considération dans le contenu pédagogique des programmes :

- a) la contrainte réglementaire : les enseignants et les élèves doivent être en permanence à l'écoute des pro-

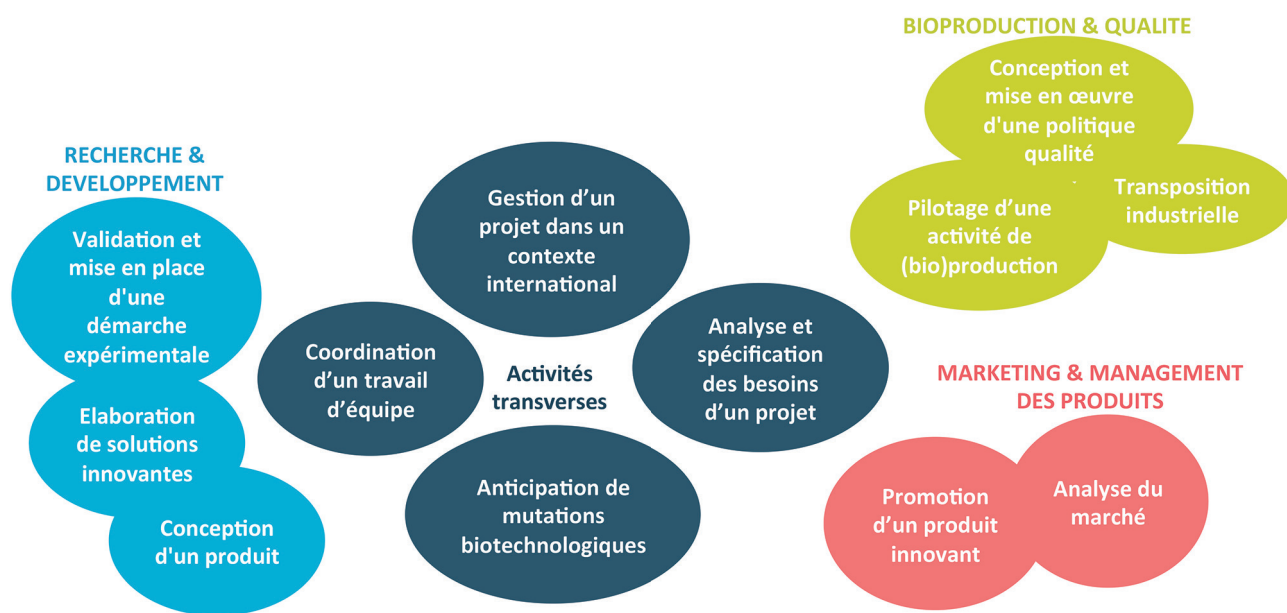


Figure 2 : Activités visées en biotechnologies.

grès de la recherche dans les biotechnologies et leurs nouvelles applications potentielles, de même qu'ils ne peuvent pas ignorer l'évolution des nouvelles bases réglementaires internationales ;

- b) la contrainte juridique : la protection des brevets et procédés impose d'avoir une bonne connaissance du cadre législatif de la protection intellectuelle et industrielle ;
- c) la contrainte technologique et économique « innovation, transformation et commercialisation » : les parcours de formation doivent permettre à l'élève d'aborder des projets axés sur des technologies innovantes allant de la transformation de travaux de recherche en procédés de développement et/ou en produits viables jusqu'à leur mise sur le marché de façon compétitive (gestion financière) ;
- d) la contrainte internationale et la problématique du financement : la problématique majeure des entreprises en biotechnologies est d'assurer le financement de leurs travaux de recherche et de leur développement international. Cela exige des capitaux importants, souvent liés à une introduction en Bourse, ce qui oblige à avoir une vision économique beaucoup plus large et une maîtrise parfaite des technologies de l'information spécialisée. La parfaite maîtrise de l'anglais est, dans ce contexte, une nécessité ;
- e) la contrainte sociétale : la formation se doit d'intégrer une dimension citoyenne et ses acteurs doivent participer activement au bon fonctionnement de l'« ascenseur social ».
- f) la contrainte inhérente à la recherche et à l'accès rapide aux connaissances dans le domaine des biotechnologies : la recherche, le développement et l'application des travaux en biotechnologie engendrent un besoin exponentiel en quantité, qualité et rapidité de traitement des informations et de simulation des expérimentations. Cela exige une parfaite maîtrise de l'information spécialisée.

À ces enjeux de formation sont associées des méthodes pédagogiques innovantes :

- qui devront permettre à l'élève d'avoir une approche intégrative de sa formation en décloisonnant les enseignements qu'il reçoit ;
- qui permettent aussi à l'élève d'évaluer très rapidement la faisabilité d'un projet en faisant appel à sa créativité constructive, qui va de l'idée jusqu'à sa réalisation, en franchissant, par l'analyse des systèmes, le raisonnement et la simulation, tous les obstacles à la mise du produit sur le marché,
- qui sensibilisent l'élève au « *Learning by doing* » dans l'approche de nouvelles biotechnologies qui vont « naître tout au long de sa vie » et qui maîtrisent les systèmes complexes de l'information internationale spécialisée,
- qui positionnent le futur cadre devant sa responsabilisation polyvalente et entrepreneuriale dans la conduite d'un projet ou de plusieurs projets innovants.

Les futurs ingénieurs en biotechnologies apporteront ainsi l'innovation technologique de demain, vecteur incontournable de progrès et de solutions novatrices, tout en intégrant et en maîtrisant les multiples autres facettes des problèmes de plus en plus complexes du développement durable. Il s'agit finalement de concevoir une formation permettant aux futurs ingénieurs d'intégrer dans le traite-

ment des problématiques de terrain, auxquelles ils seront confrontés, les conséquences économiques, sociales et environnementales des choix qui seront opérés.

Conclusion

Le virage industriel pris par les biotechnologies doit être concilié avec des réalités économiques qui ont des tenants écologiques et éthiques (notamment en raison des liens entre ce qui est faisable et ce qui est souhaitable), technologiques et politiques : équité et accessibilité à ces biotechnologies (la question de l'instauration d'une médecine à plusieurs vitesses, celles soulevées par l'humain augmenté...).

Les réalités industrielles des biotechnologies pointent finalement des enjeux de formation pour de nouveaux profils d'ingénieur ayant un positionnement original par rapport aux ingénieurs généralistes.

Afin de proposer aux employeurs des profils d'ingénieurs suffisamment spécialisés technologiquement et scientifiquement, tout en étant ouverts et adaptables à la multiplicité des technologies de la bioéconomie, des méthodes pédagogiques innovantes doivent être progressivement introduites. Celles-ci doivent concilier la forme d'esprit des nouvelles générations avec les exigences et les compétences cognitives et instrumentales demandées par le marché (démarche inductive, travaux collaboratifs, projets...) et placer le développement de l'initiative personnelle au cœur d'une démarche « apprendre à apprendre », et ce tout au long de la vie professionnelle. Les compétences génériques et spécifiques acquises par l'élève sortant de formation doivent lui permettre d'aborder aisément les contraintes évoquées précédemment. Pour ce faire, les formations doivent pouvoir s'appuyer sur un ensemble d'initiatives de nature à donner à leurs élèves cette dimension personnelle et les diverses compétences devant leur permettre d'affronter des fonctions d'ingénieur, voire d'entrepreneur, intervenant dans le domaine sensible des biotechnologies ;

- en diffusant des valeurs humaines et citoyennes dans le programme de formation,
- en construisant des projets qui se rapprochent le plus possible de la vie en entreprise,
- en permettant aux élèves de se préparer à la bioproduction grâce à l'utilisation d'un équipement pré-industriel,
- en développant des méthodes pédagogiques dans lesquelles l'élève peut s'exprimer et s'engager en réalisant ses propres projets, mais aussi confronter, dans un cadre « collaboratif », ses idées à celles des autres,
- en fournissant les outils et les pratiques permettant de confronter en permanence la réalisation à l'état de l'art.

Lorsqu'il « faisait » l'éducation de Gargantua, Rabelais affirmait que la pratique de la science sans un supplément de conscience menait inévitablement à la ruine de l'âme. En sortant du contexte théologique dans lequel il se plaçait à l'époque, l'écrivain touchait déjà du doigt l'un des principes fondamentaux de la formation de l'ingénieur scientifique moderne : interfacer résultats de la recherche et valorisation industrielle de celle-ci, tout en préservant l'intégrité de l'espèce humaine.