

Chapitre 1

Introduction

1.1 Les sciences de l'ingénieur et la médecine

Dans son appellation la plus large, le génie biomédical désigne l'ensemble des applications des sciences de l'ingénieur aux problématiques qui touchent aux sciences de la vie, et plus particulièrement à la médecine. L'ensemble de ces applications s'est peu à peu érigé en discipline(s) pour une raison très simple : les avancées de la médecine sont de plus en plus tributaires d'avancées technologiques spécifiques ; de manière croissante depuis le début du XXIème siècle, et de manière quasi explosive depuis une quinzaine d'années. En quelques décennies, la conquête du vivant est devenue un enjeu technologique majeur, devançant largement la conquête de l'espace ou la révolution des télécommunications.

Dès le début du XXIème siècle, l'électrocardiographie fut essentielle au développement de la médecine cardio-vasculaire et la radiographie par rayons X fut essentielle au développement de la médecine interne. L'apparition du microscope électronique dans les années 50 permit l'essor de la biologie cellulaire d'abord, moléculaire ensuite. L'imagerie médicale, et en particulier l'imagerie par résonance magnétique à partir des années 80, fut essentielle au développement spectaculaire des neurosciences. Le prix Nobel de médecine 2003 récompensa Lauterbur et Mansfield pour leurs travaux en résonance magnétique au service de la médecine. Le récent séquençage du génome et l'apparition des nanotechnologies ouvrent à présent des perspectives fantastiques de thérapie génique et de contrôle des mécanismes biologiques les plus

fondamentaux.

Le rapport de la médecine aux technologies s'est progressivement inversé au fil des vingt dernières années. Jusque récemment, la médecine était un débouché parmi d'autres des découvertes fondamentales de la physique : ces dernières étaient progressivement converties en avancées technologiques, lesquelles offraient à la biologie et la médecine de nouveaux champs d'investigation. Aujourd'hui, la situation est différente. L'accélération des connaissances en biologie et en médecine est telle qu'elles précèdent le développement technologique et lui posent des défis considérables spécifiques à son champ d'investigation. L'informatique fournit une illustration marquante de ce processus. Ainsi, le développement des ordinateurs a permis une informatisation croissante aujourd'hui essentielle au fonctionnement des hôpitaux et des instruments cliniques. Mais l'informatique est elle-même aujourd'hui rattrapée par les défis issus du séquençage du génôme. Ces défis sont tels que la bioinformatique s'est progressivement constituée en une discipline distincte, qui a pour objet spécifique l'organisation et l'exploitation des quantités immenses de données issues de la génomique.

Cette inversion du rapport entre l'ingénieur et le médecin a des conséquences importantes sur la formation en génie biomédical. Elle augmente radicalement les exigences d'interdisciplinarité de l'ingénieur. Il sera de plus en plus difficile à l'ingénieur biomédical de répondre aux défis spécifiques qui lui sont posés sans un bagage minimal en biologie. A côté de la physique et des mathématiques qui se sont progressivement imposées dans le curriculum des ingénieurs civils, la biologie rejoindra progressivement, en toute logique, la formation de base de l'ingénieur biomédical du XXI^{ème} siècle.

1.2 Disciplines couvertes par le génie biomédical

Si tout le monde s'accorde sur la définition au sens large du génie biomédical – *biomedical engineering* –, on assiste à une certaine confusion sur le rapport que cette discipline entretient avec le génie biologique – *bioengineering* – et le génie médical (ou clinique) – *medical (or clinical) engineering* –. La confusion naît surtout de l'évolution de ces disciplines dans le temps et des frontières dès lors mouvantes qui les séparent.

Le génie biologique désigne la manipulation du vivant à des fins de pro-

ductivité. Historiquement, le génie biologique était avant tout associé au secteur agro-alimentaire et dans ce sens bien distinct de la médecine. Par extension, le génie biologique désigne aujourd'hui tout autant la manipulation d'organismes vivants à des fins thérapeutiques et il a donc largement pénétré le secteur pharmaceutique et médical. En ce sens, le génie biologique fait aujourd'hui pleinement partie du génie biomédical. Il trouve des applications dans les disciplines les plus avancées du génie biomédical (thérapie génique, génie des cellules et des tissus – *cellular and tissue engineering* –, et biologie systémique – *systems biology* –).

De même, le génie médical (ou clinique) désigne le développement d'instruments spécifiques aux hôpitaux et aux patients (scanner, chirurgie assistée, monitoring, implants, ...). Historiquement, le génie médical constituait l'essentiel du génie biomédical. Il ne nécessitait d'ailleurs pas de formation spécialisée en sciences de la vie car les défis étaient surtout d'ordre strictement technologiques. La frontière entre génie médical et génie biomédical est plus floue aujourd'hui car un nombre croissant d'instruments médicaux touchent à des aspects beaucoup plus fondamentaux de la biologie. Les technologies d'implants actifs visant à pallier des déficiences de l'audition ou de la vue en sont une belle illustration.

Le rapide inventaire de ces disciplines montre encore une fois combien l'ingénieur de demain aura besoin d'une formation spécifique dans les sciences de la vie. Jusqu'il y a peu, l'ingénieur biomédical avait surtout besoin de connaissances dans les disciplines classiques de l'ingénieur. Demain, l'absence de formation spécifique dans les sciences de la vie pourrait handicaper non seulement les ingénieurs en biomédical mais aussi un nombre croissant d'ingénieurs exerçant au sein des disciplines traditionnelles.

1.3 Débouchés du génie biomédical

Le département du travail américain prédit une croissance de 30 % de la profession d'ingénieur biomédical dans les dix prochaines années, soit le double de la croissance prévue dans le métier d'ingénieur toutes disciplines confondues (voir <http://www.whitaker.org/news/employment.html>). Ces chiffres concernent un pays où le génie biomédical est déjà largement implanté depuis de nombreuses années. On attribue cette croissance en premier

lieu au vieillissement de la population au sein des pays riches. Dans nos pays, où le génie biomédical en est à ses balbutiements, on peut raisonnablement s'attendre à une croissance encore beaucoup plus forte.

Dans son orientation médicale et clinique, le génie biomédical est aujourd'hui présent dans le secteur hospitalier, dans un nombre restreint de grandes entreprises actives en instrumentation (telles que Siemens ou Philips), et dans un nombre croissant de petites et moyennes entreprises, souvent spécialisées dans une niche pointue et proches du monde de la recherche. Dans son orientation biologique, le génie biomédical est présent dans le secteur agro-alimentaire et pharmaceutique, qui compte un nombre important de grandes entreprises (telles que UCB et Glaxo Smith Kline) et également un nombre croissant de petites et moyennes entreprises proches du monde de la recherche.

Pour chacun de ces secteurs, on trouve des ingénieurs dans les métiers de production, de consultance, de développement, et de recherche. Mais comparativement aux secteurs industriels plus traditionnels, et pour des raisons que l'on comprend aisément, la proportion entre ingénieurs de production et ingénieurs de recherche et développement est largement inversée. L'innovation est la clé de développement de toutes les activités en génie biomédical. C'est surtout dans cette orientation que la formation biomédicale de l'ingénieur prend tout son sens.

Parce qu'il constitue un secteur en développement, le génie biomédical est aussi un secteur où la formation de troisième cycle et le doctorat sont plus valorisés que dans les disciplines traditionnelles de l'ingénieur. On trouve un nombre croissant de docteurs en sciences appliquées dans des fonctions de consultance pour le secteur hospitalier, dans les postes de responsabilité de départements R & D dans les moyennes et grandes entreprises, et dans les créations de spin-offs et startups.

1.4 Curriculum

Si l'intérêt pour l'ingénieur d'une formation spécifique dans les sciences de la vie est acquis, il reste la question d'intégrer cette formation supplémentaire au sein d'un curriculum déjà très large. Il convient de faire des choix afin que cet élargissement de la formation ne se fasse pas au détriment de sa

profondeur.

La formation mise sur pied à l'Université de Liège est une formation en deux temps : au niveau du programme de *bachelier ingénieur civil* tout d'abord et au niveau du *master en génie biomédical* ensuite.

Au niveau du programme de bachelier, la formation en génie biomédical est offerte sous la forme d'une option (mineure) qui constitue un ensemble de six cours (30 ECTS). C'est au sein de cette option que l'on dispense une formation de base en biologie et en médecine. On y enseigne la biologie cellulaire et moléculaire ou des éléments de physiologie au même titre que la physique ou l'électronique dans d'autres options. Cette formation de base constitue un socle pour le programme de maîtrise. Elle est accompagnée d'une formation de base dans un autre domaine (une deuxième option (majeure) qui totalise 45 ECTS). Cela signifie que plutôt que de diluer la formation de base commune en lui ajoutant de nouvelles matières, la formation de base commune est légèrement réduite au profit d'une formation de base dans deux domaines particuliers.

La mineure en génie biomédical comporte les cours suivants :

1. Introduction au génie biomédical (5ECTS)
2. Biochimie(5ECTS)
3. Génétique et biologie moléculaire (5ECTS)
4. Physiologie moléculaire et cellulaire (5ECTS)
5. Physiologie des systèmes (5ECTS)
6. Introduction aux neurosciences (5ECTS)

Le cours d'introduction au génie biomédical constitue une ouverture large sur l'application des différentes sciences de l'ingénieur au monde du vivant. Il fait intervenir différents enseignants de la Faculté des Sciences Appliquées afin d'illustrer différentes facettes d'un domaine interdisciplinaire.

Le cours de biochimie fait le pont entre le cours de chimie générale et les cours de sciences du vivant de troisième année. Il comprend également les éléments de biologie et de chimie organique prérequis. Il relève du département des sciences de la vie (Faculté des Sciences).

Les cours de troisième année constituent une ouverture aux sciences de la vie. Dans le prolongement du cours de biochimie, le cours de génétique et

biologie moléculaire relève de départements des sciences de la vie (Faculté des Sciences et Faculté de Médecine vétérinaire). Le cours de physiologie moléculaire et cellulaire porte sur l'étude de la cellule vivante. Il réalise une transition entre un point de vue strictement biologique et une orientation progressive vers l'étude spécifique de la cellule humaine.

Les deux derniers cours relèvent de la faculté de Médecine. Le cours de physiologie des systèmes contient des éléments d'anatomie générale mais est surtout axé sur le fonctionnement des principaux systèmes du corps humain. Il relève du département des sciences précliniques. Le cours de neurosciences part de la physiologie du système neuronal pour aboutir aux aspects neuro-physiologiques et psychologiques de fonctions intégrées telles que le contrôle moteur. Il relève du département des sciences cliniques.

Le programme de master en génie biomédical vise à former des ingénieurs bien préparés aux différents métiers du génie biomédical. Dans ce programme, la formation commune (obligatoire) en génie biomédical n'est plus une formation de base en sciences de la vie comme dans le bachelier. Elle est au contraire une formation technique orientée vers les métiers du génie biomédical : imagerie médicale, biomécanique, modélisation physiologique et biologique, bioinformatique, bioinstrumentation, phénomènes de transport en biologie. Cette formation constitue un total de 30 ECTS, soit la moitié du programme de cours obligatoires de la maîtrise. L'autre moitié des cours obligatoires est empruntée à un ou plusieurs programmes de maîtrises dans les orientations traditionnelles de l'ingénieur (électricité, informatique, mécanique, chimie et matériaux). Cela permet d'asseoir une formation technique solide dans au moins une discipline traditionnelle de l'ingénieur. Cette formation technique est prolongée par le choix des cours à option qui, sauf dérogation, doivent tous appartenir à l'offre de cours de sciences appliquées, afin de préserver le caractère avant tout technique de la formation. Le lien entre la formation technique spécialisée et le génie biomédical est assuré par le travail de fin d'études, éventuellement accompagné d'un stage, co-encadré par un enseignant de la Faculté des Sciences Appliquées et un enseignant d'une des facultés des sciences de la vie (Sciences, Médecine, ou Médecine vétérinaire).

La formation ainsi constituée a pour objectif de maintenir le caractère avant tout technique de la formation d'ingénieur, tout en lui insérant une formation de base dans les sciences de la vie (au niveau du bachelier) et en

l'articulant avec les débouchés du génie biomédical (au niveau du master). Elle espère par là répondre de la meilleure manière possible aux défis que l'ingénieur du XXIème siècle aura à relever.