



PERSPECTIVES SUR LA BIOLOGIE DES SYSTÈMES VIVANTS À TRAVERS LA PHILOSOPHIE D'ANDRÉ PICHOT

Kouadio Fabrice KOFFI

Université Félix Houphouët-Boigny Abidjan, Côte d'Ivoire

koffikfabr@gmail.com

Résumé : Les approches réductionnistes de la biologie moléculaire sont souvent considérées comme une évolution majeure de la biologie des systèmes vivants. Cet article a consisté à élaborer, dans ce sens, une compréhension de la nature de certaines questions de la philosophie des sciences à la lumière des recherches scientifiques. Ainsi, Pichot affirme que le projet de la biologie moléculaire d'expliquer le vivant reste au niveau moléculaire. Ces approches conduisent à de nouveaux modèles explicatifs qui renforcent notre appréhension des contraintes qui régissent l'évolution des systèmes biologiques. Cependant, cette évolution telle que perçue par Pichot implique de redéfinir une recombinaison des entités biochimiques afin de réorienter systématiquement les structures concernant les systèmes vivants. De cette façon, une meilleure rationalisation des théories et des concepts scientifiques en ce qui concerne la biologie contemporaine est essentielle pour comprendre de manière épistémologique le progrès scientifique des systèmes vivants.

Mots clés : Biologie des systèmes, réductionnisme, philosophie des sciences, vivant, philosophie de la biologie.

PERSPECTIVES ON THE BIOLOGY OF LIVING SYSTEMS THROUGH THE PHILOSOPHY OF ANDRE PICHOT

Abstract : Reductionist approaches to molecular biology are often seen as a major development in the biology of living systems. The aim of this article is to develop an understanding of the nature of certain questions in the philosophy of science in the light of scientific research. For example, Pichot argues that molecular biology's project to explain life remains at the molecular level. These approaches lead to new explanatory models that strengthen our understanding of the constraints that govern the evolution of biological systems. However, this evolution, as perceived by Pichot, involves redefining a recombination of biochemical entities in order to systematically reorientate the structures of living systems. In this way, a better rationalisation of scientific theories and concepts in contemporary biology is essential for an epistemological understanding of the scientific progress of living systems.

Keywords : *Systems biology, reductionism, philosophy of science, living, philosophy of biology.*

Introduction

Les hommes se questionnent depuis l'Antiquité sur la nature et le sens de leur existence. Ces inquiétudes seront à l'origine de différentes formes de l'humanité. Les hommes ont toujours été intéressés par l'étude du vivant. Par conséquent, les premiers êtres humains ont réussi à soigner les maladies. Toutefois, dans leur quête de guérison de certaines maladies, ils ont dû avoir une connaissance du vivant, c'est-à-dire connaître le fonctionnement de son corps et chercher à déterminer ce qui cause son dysfonctionnement physiologique. C'est ce qui amène André Pichot (2011, p.308) à suggéré ceci : « Expliquer la vie, c'est alors expliquer les fonctions par-delà des organes

(passer d'une physiologie qui est une simple anatomie animée à une physiologie de fonctions). » Selon lui, la connaissance du vivant nécessite la maîtrise de ses structures fonctionnelles ; qui est l'organe.

Ce travail a été motivé par la conviction que cet effort de clarification pourrait être utile non seulement à la philosophie, mais aussi à la biologie moderne. Les chercheurs doivent donc s'interroger sur les bases des techniques qu'ils emploient dans leur étude des phénomènes naturels, sur le sens des concepts qu'ils élaborent, sur la portée et les limites des explications qu'ils proposent. Ils pourraient bénéficier de l'analyse philosophique de Pichot pour ce travail. Dès le début de cet article, il est important de mettre en évidence une difficulté à laquelle nous devons faire face. Le domaine scientifique de la biologie des systèmes est très récent et évolue très rapidement. Nous avons été très attirés par la nouveauté de ces méthodes, mais elle représente, pour le philosophe qui s'intéresse aux progrès scientifiques, une difficulté dont il ne faut pas sous-estimer l'importance. À cet effet, François Duchesneau (1997, p.1) affirme : « Au début du XIX^e siècle, la biologie elle-même naît de l'histoire naturelle lorsque la question de la genèse des formes vivantes surgit au cœur de toute tentative pour expliquer les structures et processus caractéristiques des types d'organismes ». Selon cet auteur, la biologie moderne provient de sources naturelles émanant de la création de diverses formes vivantes.

L'émergence d'un nouveau courant de recherche constitue une excellente opportunité pour la philosophie des sciences de poser de nouvelles questions et de renouveler d'anciens problèmes. S'il est évident que notre enquête est philosophique, nous espérons qu'elle pourra tout de même susciter l'intérêt des scientifiques qui sont impliqués dans ces changements et qui cherchent à apprendre davantage sur ce qu'est en train de vivre la biologie. Dès lors, une interrogation majeure se pose : la biologie des systèmes vivants est-elle en rupture avec le réductionnisme de la biologie moléculaire ? Cette réflexion donnera lieu à une réévaluation de certains principes essentiels des sciences du vivant. Pour amorcer une réponse à ses préoccupations, nous épousons l'analyse pichotienne sur les enjeux de la biologie des systèmes vivants. Spécifiquement, nous voulons montrer que l'analyse des systèmes vivants, chez Pichot épouse une réflexion qui se veut épistémologique. Notre démarche est donc historico-critique et analytique. Car cette étude historique, dans le cadre de l'épistémologie, conduit à l'évaluer, à comprendre sa valeur scientifique et épistémologique. Elle permet alors d'éclairer le sujet à résoudre, puisqu'elle l'a fait sortir de son contexte historique, dresse sa carte historique et évalue sa portée scientifique.

Afin de tenter d'analyser les divers aspects de la biologie des systèmes vivants et des interrogations philosophiques qu'elle pose, nous avons décidé de répartir cet article en trois parties principales. Le premier aspect sera principalement historique et vise principalement à décrire l'origine et le développement de la biologie des systèmes vivants. Dans le deuxième point, il faudra définir ce qu'il faut comprendre par biologie



des systèmes. Le troisième et dernier point examine la place du réductionnisme dans la biologie des systèmes vivants et expose les principaux obstacles qui l'ont empêchée de se faire une place digne dans les sciences de la vie.

1. Origine et développement de la biologie des systèmes vivants

La biologie des systèmes vivants s'inscrit dans son objectif d'analyse des questions philosophiques. Une telle réflexion ne pourra être menée sans qu'au préalable le contexte scientifique dans lequel ces approches ont été élaborées ait été exposé. Il sera essentiellement descriptif et probablement peu original. Bien que ce thème ait déjà été largement discuté par les scientifiques, historiens et philosophes des sciences, notre approche posera des questions particulières qui orienteront cette étude. Nous présenterons donc rapidement le développement de ce nouveau domaine, qui est indissociable du mouvement vers la biologie des systèmes. La solution naturelle au problème de l'interprétation des données a été l'intégration. La biologie des systèmes vivants est d'ailleurs souvent présentée comme une biologie intégrative. Dans cette mesure, l'importance de l'interdisciplinarité dans la recherche contemporaine est essentielle pour aborder la complexité des systèmes biologiques. Cette idée est importante et elle recouvre plusieurs aspects.

Dans le cadre de la génomique fonctionnelle, le principe a été de combiner les différentes données pour pouvoir attribuer des fonctions aux séquences dont on commençait à disposer. Il s'agit d'une part fondamentale du projet génomique. Ceci dit, la théorie de l'évolution étant incluse dans la biologie systémique, Jacques Monod (1970, p.42) affirme que : « C'est la théorie de l'évolution sélective qui assure en définitive la cohérence épistémologique de la biologie et lui donne sa place parmi les sciences de la nature objective ». L'étape qui est sans doute la plus essentielle pour comprendre le développement de la biologie des systèmes (peut-être plus au sens conceptuel qu'historique) correspond à la prise de conscience de ce que les approches bio-informatiques classiques et d'annotation des génomes n'étaient pas suffisantes pour approfondir notre connaissance du fonctionnement des systèmes biologiques. François Jacob (1970, p.11) stipule que « Pour la biologie moderne, ce qui caractérise notamment les êtres vivants, c'est leur aptitude à conserver l'expérience passée et à la transmettre » Ce qui fait cruellement défaut à ces approches, c'est la vision dynamique des processus. Choisir un point de départ lorsque l'on se propose de relater un processus historique est, bien entendu, quelque chose d'assez arbitraire. On peut toutefois considérer que si l'on s'intéresse aux bouleversements qui ont révolutionné la biologie expérimentale et conduit à la biologie des systèmes, il est assez naturel de partir de l'origine des projets de génomique.

Le terme anglais « genomics » doit son origine au biologiste Thomas Roderick qui l'inventa en 1986 pour la création d'un nouveau journal (*genomics*). Roderick s'est inspiré du terme génome, qui a lui-même été créé par le biologiste allemand H.

Winkler en 1920 (*Genom*, en allemand qui a été traduit en anglais en 1930), à partir des mots gènes et chromosomes. Le génome désigne l'ensemble des chromosomes et donc de l'ADN présent dans une cellule ou un organisme.

D'après Mayr, ce problème est résolu par les découvertes fondatrices de la biologie moléculaire que sont les découvertes de la structure de l'ADN et surtout du code génétique. Ces découvertes permettent de traiter les mécanismes de transfert d'information et de caractériser les macromolécules importantes, ADN et protéines, comme des molécules porteuses d'informations. Henri Atlan (1999, p. 14).

Ce terme s'est si rapidement et si bien rependu en biologie que peu de temps après son apparition, il était devenu connu du grand public. La génomique a été définie de différentes manières : étude de tous les gènes d'un organisme ; étude du génome entier ; étude de la structure et de la fonction des gènes en procédant par cartographie et séquençage du génome entier. Nous n'allons pas faire l'historique détaillé de la génomique, mais seulement esquisser le développement à grands traits en rappelant quelques étapes essentielles.

Le génome est souvent associé, voire identifié, au projet de séquençage du génome humain (HGP). Car le but principal et la dimension la plus novatrice de la génomique est toutefois le séquençage. La question de la pertinence directe de cette séquence pour comprendre le vivant se posait en effet avec force. Certains commentateurs ont tenté de présenter cette étape comme une désillusion des biologistes, qui se seraient rendu compte que la séquence ne permettait pas vraiment de mieux comprendre le vivant. Il est vrai que l'analyse des génomes s'est révélée plus ardue que prévu, notamment en ce qui concerne la prédiction des gènes et des autres séquences fonctionnelles.

L'ampleur de cette déception est difficile à estimer, mais elle est certainement très fréquemment exagérée. S'il est évident que les biologistes savaient bien que cette entreprise ne se terminerait pas avec l'obtention de la séquence, il faut cependant se rendre compte que certains en attendaient beaucoup. La manière dont s'exprimait ce biologiste au début de la génomique est assez révélatrice : Le nouveau paradigme qui émerge actuellement est que tous les « gènes » seront connus (au sens où ils seront dans des bases de données disponibles électroniquement) et que le point de départ d'une recherche biologique sera théorique.

Ce que nous venons de présenter permet de se faire une idée un peu plus précise des changements qui sont intervenus récemment en biologie, mais nous n'avons pour l'instant parlé de la biologie des systèmes que de manière indirecte. Pour compléter cette présentation, il convient donc de décrire rapidement comment le terme est apparu et comment très rapidement il s'est imposé, tant au niveau du discours scientifique qu'au niveau institutionnel.

La biologie des systèmes a une histoire relativement ancienne. Jacques Monod (1970, p. 181) suggère que « le système vivant le plus simple que nous connaissions, la cellule bactérienne, petite machinerie d'une complexité comme d'une efficacité



extrême, avait peut-être atteint son présent état de perfection, il y a plus d'un milliard d'années ». L'origine remonte aux discussions sur les applications de la théorie générale des systèmes (d'abord formulée par Ludwig Von Bertalanffy) à la biologie. Mais dans le cadre des bouleversements récents que nous venons de rappeler, c'est à la fin des années 90 qu'il s'est répandu.

La biologie des systèmes étant souvent considérée comme la suite logique des projets de génomique et de génomique fonctionnelle, il n'est pas étonnant qu'elle profite de financements de grande ampleur. Il faut à ce sujet noter que ce fait n'aide pas la biologie des systèmes à se définir clairement, pour la simple raison que certains groupes de recherche espèrent tirer des avantages financiers en se rattachant à cette vague qui jouit d'un prestige grandissant. Dans ce sens André Pichot (1993, p.940) disait « Aujourd'hui, on a l'impression que ce que vise la biologie n'est pas tant l'étude de la vie (ou des êtres vivants en ce qu'ils ont de spécifique relativement aux objets inanimés) que sa pure et simple négation, le nivellement et l'unification de l'univers par la physico-chimie. » C'est pourquoi, nous tenterons de montrer que le terme biologie des systèmes est parfois utilisé à tort et à travers. Mais nous renoncerons toutefois à donner une définition ou des critères stricts qui permettraient de cerner précisément ce qu'est la biologie des systèmes vivants.

2. Caractérisation de la biologie des systèmes vivants

Le contexte scientifique dans lequel se sont développées les approches que l'on regroupe sous le terme biologie des systèmes est appréhendé par des méthodes d'analyses de structure fonctionnelle avec le vivant. François Jacob (1970, p. 106) estime que « la vie joue un rôle précis dans le savoir. Elle est ce qu'on interroge dans l'animal ou la plante, l'objet même de l'analyse. » Pour ainsi dire, dans l'ordre de la connaissance, il est essentiel de chercher l'essence des choses, car c'est elle qui constitue la réalité des phénomènes.

Avant d'approfondir dans la suite de ce travail les différentes questions que soulèvent ces nouvelles approches, il sera certainement utile de donner une première caractérisation de ce domaine de recherche à partir des remarques que nous avons faites. S'agissant d'un domaine en plein développement (il serait plus juste de dire en pleine explosion), il serait hasardeux et peu intéressant de chercher à en donner une définition très précise. C'est un aspect essentiel de la biologie des systèmes que de prendre des formes et des directions très différentes et sa diversité doit être soulignée et non pas masquée par une caractérisation trop rigide.

D'un point de vue historique et philosophique, il est crucial de souligner que l'apparition et le développement de la biologie des systèmes ont été rendus possibles, en grande partie, grâce aux avancées technologiques et institutionnelles associées à la génomique. D'autre part, la biologie des systèmes correspond à un déplacement de l'étude des composants et des « petits » mécanismes à celle de larges réseaux

moléculaires. Enfin, et c'est sans doute l'aspect le plus important, elle est fondée sur la modélisation biologique. L'idée que la biologie des systèmes est fondée sur les progrès technologiques récents est vraie dans un double sens : premièrement, elle est en partie apparue comme réponse au flot des données (mais il ne faut pas la réduire à cela) et deuxièmement, elle ne pourrait fondamentalement pas exister sans elles. De ce point de vue, on peut dire que les progrès technologiques sont en grande partie responsables de ce bouleversement scientifique.

Depuis l'époque de Norbert Wiener, la compréhension au niveau systémique a été un thème récurrent dans les sciences biologiques. La raison principale pour laquelle elle jouit d'un regain d'intérêt aujourd'hui est que les progrès en biologie moléculaire, particulièrement dans le séquençage du génome et dans les mesures à haut-débit, permet de récolter des ensembles de données complets sur les performances du système, et d'obtenir des informations sur les molécules qui les composent. Cela n'était pas possible au temps de Wiener, lorsque la biologie moléculaire était encore une discipline émergente. Il existe actuellement une opportunité en or de fonder l'analyse systémique dans la compréhension du niveau moléculaire, avec pour résultat un spectre continu de connaissance.

La biologie des systèmes est souvent présentée comme l'étude des réseaux biologiques. Mais ce n'est pas si simple, car les réseaux ont toujours eu une certaine importance en biologie moléculaire. Comme nous l'avons souligné, il ne s'agit pas uniquement de reconstruire des réseaux biologiques, mais de comprendre leurs propriétés, notamment dynamiques. Cette insistance sur l'aspect dynamique des systèmes biologiques est généralement considérée comme la marque distinctive de la biologie des systèmes vivants et son apport majeur. La complexité que présente le vivant, c'est-à-dire sa structure moléculaire, va pousser le biologiste à prendre appui sur le modèle de la machine électronique. Mais en quel sens celle-ci présente-t-elle des analogies de structure, de fonction avec le vivant ? Commençons par définir de façon sommaire l'organisme comme étant un système de molécules où tout est agencé en vue de la reproduction. Partant de cette définition, il ressort qu'à la manière d'un système électronique, l'organisme est structuré à partir de ses propres composantes ; à savoir ses organes. À chacun de ces organes est assigné une tâche spécifique telle que la respiration, la digestion, la reproduction et bien d'autres. Cette division des activités implique un principe de coordination qui assure le fonctionnement interdépendant des organes. C'est précisément dans ce réseau d'implication réciproque que le vivant trouve tout son sens.

En ce qui concerne la machine électronique, elle est dotée d'une mémoire où sont stockées et conservées sous forme de programme des données. Une fois interrogée à partir d'un ensemble de code qui structure ces données, la machine, avec une fiabilité et une régularité remarquables, fournit les informations ou les messages relatifs aux problèmes identifiés ou posés. De ce point de vue, nous pouvons affirmer



avec Pichot que la machine électronique apparaît comme un système de régulation interne à l'intérieur duquel un ensemble de données sont recensées sous forme de programmes. C'est pourquoi il énonce que « l'information génétique pallie en quelque sorte l'impossibilité d'expliquer l'être vivant actuel dans son milieu actuel par les seules lois physico-chimiques » (André Pichot, 1993, p. 947). Pour lui, l'information en biologie est le seul libre jeu en ce qui concerne l'explication de l'être vivant actuel dans son milieu actuel. Par contraposition, la structure de l'ADN telle que perçue par Watson et Crick ; c'est-à-dire sur le modèle d'une double hélice. Cette structure est donc représentée par deux brins enrôlés l'un autour de l'autre, suivant une règle stricte d'appariement, une guanine sur un brin faisant face à une cytosine. Or tout le matériel génétique se trouve contenu dans cette séquence de l'ADN, sous la forme d'un programme génétique. Dans cette perspective, Vignais (2001, p. 197) affirme que :

L'organisation des molécules d'ADN en double hélice, avec appariement des bases puriques et pyrimidiques de chacun des deux brins de la double hélice, expliquait comment l'ADN pouvait se répliquer en conservant l'information contenue dans la séquence de ses nucléotides, fournissant ainsi une assise moléculaire aux lois de transmission des caractères héréditaires portés par les gènes.

Cela signifie que l'information génétique qu'il faut déchiffrer au moyen d'une grille de traduction est transmise d'une cellule à sa descendance ou d'un couple d'individus à leur progéniture dans le cas de la reproduction sexuée par le biais des gamètes. Toutefois, des modifications génétiques peuvent survenir. De tels phénomènes sont dus à la manière dont l'ADN est lu ou interprété. Il s'agit dans ces cas de synthèses ou de réactions chimiques susceptibles de modifier l'ordre ou la disposition des acides (A, G, T et C), ou même d'en supprimer.

Dans la compréhension systémique, l'approche défendue en biologie des systèmes exige un déplacement dans notre idée de ce qu'il faut chercher en biologie. Si une compréhension en termes de gènes et de protéines continue d'être importante, l'important est de comprendre la structure et la dynamique d'un système. Parce qu'un système n'est pas qu'un assemblage de gènes et de protéines, mais de ses propriétés. Malgré l'absence de critères stricts pour définir ce qu'est la biologie des systèmes, on peut néanmoins rejeter l'identification des grands programmes de génomique fonctionnelle à cette démarche. Il ne suffit donc pas d'utiliser des approches expérimentales à l'échelle du génome pour faire de la biologie des systèmes vivants.

Si l'on pense aux sources historiques de la biologie des systèmes, les analyses systémiques ont dès le début été associées à l'utilisation des mathématiques et des simulations et ce n'est pas un hasard. Car ces outils sont nécessaires pour étudier les aspects structuraux et dynamiques des systèmes. En d'autres termes, la biologie des systèmes vivants n'est pas seulement le passage à des analyses globales sur les aspects du vivant. C'est finalement tout ce qu'elle apporte de plus qui va devoir être analysé. Si l'on reprend une définition souvent citée : La biologie des systèmes étudie les systèmes biologiques en les perturbant systématiquement (biologiquement,

génétiquement, ou chimiquement) ; en mesurant les réponses au niveau des gènes, des protéines et des voies informationnelles ; en intégrant ces données ; et finalement, en formulant des modèles mathématiques décrivant la structure du système et sa réponse aux perturbations individuelles. On peut dire que c'est le dernier aspect qui est vraiment caractéristique de la biologie des systèmes vivants. Sur ce point, François Dagognet (1962, p.35) écrit : « Avec la physiologie, la biologie pénètre dans le monde authentique des problèmes de la vie ; on en arrive à toucher du doigt cette fameuse dialectique biologique d'un organisme appelé à résoudre les problèmes qu'exigent son maintien et son fonctionnement ». Pour lui, la physiologie ne se préoccupe que des moyens mis en œuvre, que de la dynamique des processus vitaux qui assurent la régulation d'un organisme sans cesse sollicité. Ces caractéristiques de la biologie des systèmes que nous venons de décrire ont plus été affirmées que démontrées.

La brève présentation que nous avons faite de l'évolution récente de la biologie moléculaire et du passage à la biologie des systèmes n'avait pas pour but de montrer que c'est en ces termes que ces transformations peuvent être le mieux décrites. Il aurait pour cela fallu se plonger dans une étude à la fois vaste et détaillée de l'histoire récente de ce mouvement, ce qui aurait été clairement au-delà des objectifs de cet article. D'autre part, cette manière de décrire ces nouvelles approches est loin d'être originale, comme le prouvent les nombreuses expressions énumérées. Que la biologie des systèmes repose sur les technologies à haut-début, qu'elle consiste pour une large part dans l'étude et la modélisation des réseaux et qu'elle soit enfin par nature largement mathématique, n'est pas quelque chose que nous cherchons à établir. Nous pensons que les nombreux exemples qui seront discutés tout au long de cette étude suffiront à convaincre le lecteur qu'un nombre considérable de travaux en biologie présentent effectivement ces caractéristiques.

3. La biologie des systèmes vivants entre réductionnisme et organicisme

Les biologistes et les philosophes qui se sont interrogés sur le développement de la biologie des systèmes et sur son interprétation ont donné des réponses parfois très différentes. La biologie des systèmes est perçue par certains comme une extension logique de la biologie moléculaire et de ses modèles réductionnistes, tandis que d'autres y identifient l'apparition d'une véritable biologie organiciste et antiréductionniste, qui corrige les excès des approches moléculaires. Il est donc évident que la question du réductionnisme détermine le plan sur lequel se développe cette divergence ou cette opposition d'interprétation. Cette interrogation est ancienne, complexe et a pris des formes extrêmement diverses. Il est évident que cela dépasse le cadre de cet article et nous serons vigilants à ne pas nous laisser entraîner trop loin dans les subtilités de ces débats. Toutefois, elle est importante et nous occupera dans cette section ainsi que le suivant pour au moins deux raisons :



D'une part, comprendre dans quelle mesure la biologie des systèmes prolonge, dépasse ou rejette les approches réductionnistes de la biologie moléculaire nous aidera à mieux saisir son potentiel disruptif pour les sciences biologiques. D'autre part, la question générale du réductionnisme constitue une des problématiques autour de laquelle s'est construite la philosophie des sciences à partir des années 50 et elle reste un sujet important de discussions, et c'est à ce débat que nous voulons essayer d'apporter une contribution. Il nous semble que le cas de la biologie des systèmes représente une bonne occasion de confronter certaines conceptions philosophiques à la réalité de la recherche scientifique et de déterminer ainsi la pertinence des différentes positions. Cette discussion ne pourra être menée sans un rappel préalable des débats philosophiques qui ont eu lieu autour de la question du réductionnisme. Nous verrons que le cadre de ce débat a beaucoup évolué, en passant d'un réductionnisme théorique à ce qu'on appelle un réductionnisme explicatif. C'est cette dernière forme, qui correspond aux débats récents, qui retiendra notre attention.

Le réductionnisme explicatif est la thèse selon laquelle tous les phénomènes et les propriétés biologiques (fonctionnelles) peuvent, en principe (et ce qualificatif est fondamental), être expliqués en termes moléculaires. Nous présenterons les différentes difficultés que soulève cette thèse et les réponses qu'on peut y apporter. Nous nous arrêterons sur une des objections qu'on fait souvent aux explications réductives, leur incapacité à rendre compte des phénomènes émergents. Le caractère non problématique de l'émergence a une conséquence importante pour notre analyse. En effet, l'émergence est fréquemment perçue comme un critère distinctif entre la biologie des systèmes et les approches réductionnistes, la première étant vue comme la seule capable d'expliquer les phénomènes émergents. Nous serons donc conduits à rejeter cette caractérisation.

Malgré tout, il y a bien quelque chose de vrai dans cette étude et nous analyserons, de manière plus fine, ce qui distingue les explications complexes de la biologie des systèmes des modèles classiques de la biologie moléculaire. Les modèles formels introduits par la biologie des systèmes permettant de représenter et expliquer autrement et bien mieux les phénomènes émergents. Comme le répètent ses défenseurs, la biologie des systèmes vivants se veut une science de la complexité et de l'émergence. En effet, le but poursuivi par Canguilhem (1965, p.147), est « la biologie doit donc tenir d'abord le vivant pour un être significatif et l'individualité, non pas pour un objet, mais pour un caractère dans l'ordre des valeurs ». Les modèles complexes apparaissent donc comme le meilleur allié du réductionnisme explicatif. Au terme de cette dernière section, nous serons donc conduits à accepter provisoirement la thèse selon laquelle il n'y a pas de limite de principe, absolue ou a priori, à l'analyse et l'explication des phénomènes fonctionnels au niveau moléculaire.

Cependant, comment comprendre les enjeux de l'histoire sur le réductionnisme ? Nous l'avons dit, le réductionnisme est une question qui a passablement agité la

philosophie des sciences et fait couler beaucoup d'encre. Cette problématique a toutefois pris des formes très différentes et donné lieu à des discussions parfois extrêmement techniques, à tel point qu'il n'est pas toujours facile de s'y retrouver. À cet effet, un minimum de rappel et de clarification s'impose. Une première distinction entre trois formes de réductionnisme nous aidera dans cet effort. De ce fait, il y a ce qu'on appelle le réductionnisme constitutif, qui affirme que la composition matérielle du vivant ne diffère en rien de ce que décrivent la physique et la chimie. La deuxième forme est le réductionnisme théorique, qui est une thèse portant sur des relations entre théories scientifiques. C'est cette forme qui a dominé les débats jusqu'à récemment. Le réductionnisme explicatif constitue la troisième position et sera au centre de cette analyse. La première forme n'a pratiquement jamais été remise en question depuis l'abandon du vitalisme au début du XX^e siècle.

Nous verrons qu'au cours des trente dernières années, les discussions sont passées de la deuxième forme à la dernière. Quelle serait donc la position du réductionnisme dans l'empirisme logique ? Il est bien connu que les empiristes logiques ont construit toute leur conception de la science sur l'idée que les théories constituaient le véritable cœur des sciences. Par théorie, il faut ici entendre un système formalisé, fondé sur des axiomes et dont on peut déduire des conséquences dont certaines pourront être testées expérimentalement. Une telle conception s'explique évidemment par le fait que ces philosophes ont quasiment toujours réfléchi à partir d'exemples tirés de la physique, science à laquelle la plupart avaient été formés. Donner une place privilégiée aux théories détermine précisément la nature même des problèmes que le philosophe des sciences va être amené à traiter. C'est ainsi que le problème du réductionnisme a été posé dans ce cadre en termes de relation entre théories.

Dans la mesure où ces problèmes ont d'abord été abordés à partir d'exemples de physique (comme cela fut longtemps le cas en philosophie des sciences), l'application de ce cadre réductionniste à la biologie a engendré des problèmes supplémentaires. Le problème qui a suscité l'intérêt des philosophes de la biologie concerne la possibilité de réduire la génétique classique à la biologie moléculaire. Quand ces discussions ont commencé à susciter l'intérêt des philosophes des sciences, à la fin des années 60, la biologie moléculaire était devenue une entreprise prospère, pleine de succès et, semble-t-il, capable d'expliquer le vivant au niveau moléculaire. Effectivement, n'avait-on pas constaté que les gènes, ces entités théoriques mises en évidence par Mendel et dont les généticiens de la première moitié du XX^e siècle avaient étudié en détail les modes de transmission, étaient en fait composés d'une suite de nucléotides dans de double brin d'ADN ? Il semblait donc raisonnable de croire que la biologie moléculaire pouvait modifier la théorie mendélienne ancienne. Cela inclut ses règles concernant la ségrégation des caractères ainsi que ses notions de gène, d'allèle, de recombinaison et de domination.



Le réductionnisme théorique, appliqué à la biologie, pose le problème essentiel de la réalisation de chaque entité de la génétique classique de manière différente au niveau moléculaire. Au fur et à mesure que les connaissances en biologie moléculaire évoluaient, il devenait clair qu'il n'était pas possible de définir un gène en général exclusivement en termes moléculaires. En fait, ce problème est à deux niveaux. Tout d'abord, si l'on accepte que les gènes sont des parties d'ADN, il est important de reconnaître que la catégorie du gène fonctionnel correspond à une disjonction infinie de séquences d'ADN. Au second point, on peut affirmer que le problème fondamental de cette forme de réductionnisme réside dans la complexité des relations qui unissent les deux domaines de la biologie dont il s'agit.

En ce qui concerne le cadre positiviste dans lequel ce débat a pris naissance, avec son insistance sur les lois, il a maintenant été largement abandonné. Comme beaucoup d'auteurs l'ont souligné depuis longtemps, il n'y a en biologie pas de loin au sens de la physique (à l'exception possible du principe de sélection naturelle) et les biologistes semblent plus intéressés à étudier des phénomènes et des mécanismes particuliers qu'à mettre au jour des principes universels.

Conclusion

En définitive, la biologie des systèmes vivants marque une rupture importante avec le réductionnisme dans le sens où l'interprétation des deux approches ne sont pas totalement opposées, mais plutôt complémentaires. Cette rupture introduit ainsi un changement de perspectives pour mieux saisir les organismes vivants qui nécessitent non seulement de connaître leurs composants, mais aussi d'analyser comment ces composants interagissent pour créer des comportements complexes. Cependant, une synergie est impliquée entre ces deux approches afin de mieux réorienter de façon systématique les structures concernant les systèmes vivants. Ce qui permettra d'aboutir à une meilleure rationalisation des théories des vivants et de ses concepts scientifiques dans l'élaboration d'une philosophie biologique contemporaine pour comprendre de manière épistémologique le progrès scientifique des systèmes vivants. Mais, dans bien des cas, le réductionnisme se positionne comme un facteur essentiel dans l'identification et la compréhension des composants individuels, tandis que la biologie des systèmes vivants permet d'intégrer ces connaissances pour appréhender des niveaux d'organisation plus complexes. De cette démarche, la biologie des systèmes ne remplace pas la biologie moléculaire réductionniste, mais représente une extension nécessaire pour aborder la complexité des systèmes vivants dans leur globalité. En poursuivant donc le projet de la biologie moléculaire, il faut souligner que certains projets systémiques ont été discutés dans le passé, afin de mieux structurer cette question des enjeux de la biologie des systèmes vivants et de ses perspectives. On peut donc dire avec Pichot que la thèse mécaniste affirme qu'il est donc possible de réduire la biologie à la physique et à la chimie. Par conséquent, une position discontinue et continue se concilient dans la rationalisation du véritable mécanisme de l'évolution du système vivant.

Référence Bibliographiques

- ATLAN Henri, 1999, La fin du « tout génétique » ? Vers de nouveaux paradigmes en biologie. Paris, INRA.
- DAGOGNET François, 1962, Philosophie biologique. Paris, P.U.F.
- DUCHESNEAU François, 1997, Philosophie de la biologie. Paris, P.U.F
- CANGUILHEM Georges, 1965, La connaissance de la vie, Deuxième édition revue et augmentée. Paris, J. Vrin.
- JACOB François, 1970, La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité. Paris, éditions Collection Tel Gallimard.
- PICHOT André, 1993, Histoire de la notion de la vie. Paris, Editions Gallimard.
- PICHOT André, 2011, Expliquer la vie. De l'âme à la molécule. Paris, Editions Quae.
- MONOD Jacques, 1970, Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne. Paris, Editions du Seuil.
- VIGNAIS Pierre, 2001, La biologie des origines à nos jours. Une histoire des idées et des hommes. Paris, EDP Sciences.