

VUE DU CANADA

OBJECTIVITE SCIENTIFIQUE ET

REDUCTIONNISME CHEZ JACQUES MONOD

Depuis la publication au début des années 70 de sa conception biophilosophique, Jacques Monod a souvent été la cible de critiques plus ou moins sévères. Il s'est pourtant imposé et présente l'image d'un scientifique éminent, dont le raisonnement philosophique reste fondé sur l'approche mécaniste de la métaphysique cartésienne, inacceptable aux yeux des philosophes contemporains. Aujourd'hui il paraît naturel que ses idées soient souvent citées comme un exemple de réductionnisme radical ou "vulgaire" en biologie contemporaine.

La conception biophilosophique de Monod s'inscrit dans un contexte de discussions vigoureuses en matière de réductionnisme scientifique, provoquées par les grands succès de la biologie moléculaire à cette date.¹ L'erreur la plus grave que ses critiques anciens et

¹ Ces discussions qui se sont déroulées en pleine force jusqu'au milieu des années 1970, ont cédé ensuite la place aux questions concernant l'évolutionnisme. Néanmoins, l'importance et l'actualité des problèmes liés au réductionnisme n'ont pas diminué, ce dont témoignent quelques publications récentes. Voir P. Kitcher, "Genes", in the *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 33, 1982; "1953 and All That", in *The Philosophical Review*, vol. XCIII, 1984; A. Rosenberg, *The Structure of Biological Science*, Cambridge: Cambridge University Press, 1985; J. Jacobs, "Teleology and Reduction in Biology", in *Biology and Philosophy*, vol. 1, 1986; *Reductionism and Systems Theory in the Life Sciences: Some Problems and Perspectives*, edited by P. Hoyningen-Huene and F. Wuketits, Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 1989; J. Collier, "Supervenience and Reduction in Biological Hierarchies", in the *Canadian Journal of Philosophy*, 1988, Supplement, pp. 209-234.

modernes lui reprochent, est son interprétation réductionniste de la connaissance biologique, ainsi que le modèle mécaniste de la vie qu'il croit refléter l'esprit de la nouvelle science. Afin de démontrer que la biologie contemporaine a écarté toute possibilité d'une vision vitaliste ou animiste de la vie, le scientiste français suit une démarche cartésienne, selon laquelle le vitalisme et le mécanisme sont les seules alternatives possibles, s'excluant l'une de l'autre.² Suivant la méthodologie réductionniste inspirée par la métaphysique cartésienne, Monod aboutit à la conclusion que dans les phénomènes vitaux il n'y a que des molécules en mouvement, tout en rejetant l'existence de niveaux supérieurs d'organisation avec leur spécificité.

Mon intention n'est pas de juger dans quelle mesure ces critiques sont correctes ou même simplement exagérées. Je vise plutôt à détacher l'interprétation philosophique que Monod fait du phénomène biologique, de l'analyse scientifique sur laquelle elle paraît s'appuyer. Ces deux aspects de sa conception doivent être considérés séparément, afin de pouvoir révéler le caractère non nécessaire de la liaison entre eux. Ainsi l'idée est de démontrer que l'interprétation philosophique que Monod donne à certains résultats de son analyse scientifique n'est pas la seule possible ou nécessaire, ce qui permet de saisir la vraie portée de sa conception, malgré les critiques et les controverses qu'elle ait pu susciter. En effet, on peut saisir, dans son analyse scientifique, une idée dont la vraie signification est restée inaperçue autant par Monod lui-même que par ses critiques; c'est l'idée qui, loin de servir d'appui à son interprétation mécaniste, implique un point de vue bien différent sur la nature du phénomène biologique.

On se souvient que la visée principale de la conception biophilosophique de Monod est de démontrer qu'on peut interpréter entièrement le phénomène biologique, et avant tout ses propriétés téléonomiques, en termes du principe d'objectivité qui, selon lui, est consub-

² Une des conclusions principales de la plupart des articles réunis dans le livre *Beyond Chance and Necessity. A Critical Inquiry into Professor Jacques Monod's Chance and Necessity*, edited by J. Lewis, (New Jersey: Humanities Press, 1974), porte sur l'anachronisme philosophique de la conception de Monod.

stantiel à la science moderne. Une des conclusions principales que Monod tire de son analyse, est que la révélation des mécanismes moléculaires de l'organisation vivante donne la clef pour la compréhension de la nature de la téléonomie, en la libérant de toute implication finaliste. Sa thèse affirme que l'essence de cette caractéristique, c'est-à-dire l'origine, l'accomplissement et l'évolution des structures et des fonctions téléonomiques, se cache dans les propriétés et les interactions spécifiques des divers biomolécules et on peut, en principe, l'analyser et la décrire entièrement en termes de ces macromolécules. On pourrait alors dévoiler le "secret" de la téléonomie, si l'on connaissait le mécanisme des interactions entre les macromolécules et la nature chimique de leurs propriétés.

Les agents moléculaires qui accomplissent les fonctions téléonomiques dans les organismes unicellulaires, sont les protéines, car ce sont elles qui canalisent les processus chimiques dans la cellule, assurent leur coordination et construisent la structure biologique. Ces trois fonctions téléonomiques principales des protéines se fondent, en fin de compte, sur leurs propriétés stéréospécifiques, qui se traduisent dans leur capacité à reconnaître d'autres biomolécules (y compris d'autres protéines) à partir de leur forme, déterminée pour sa part par leurs structures moléculaires. Autrement dit, on peut analyser, en principe, toutes les structures et les fonctions téléonomiques des organismes en termes de cette capacité de choix, de discrimination élective, des protéines (ou selon l'expression de Monod, de leur capacité presque "cognitive"), qui se base sur leurs interactions stéréospécifiques. Alors, puisque la capacité de distinction stéréospécifique, propre à une protéine, dépend de sa forme tridimensionnelle et, par conséquent, de sa structure, si l'on arrive à décrire l'origine et l'évolution de cette structure, on pourrait de même expliquer l'origine et le développement de l'activité téléonomique liée à la protéine (HN, 60-61).

Les mécanismes moléculaires des fonctions téléonomiques, pour le cas des organismes unicellulaires, ont été rendus accessibles grâce aux quelques-unes des découvertes de la biologie moléculaire, dont le mérite appartient, dans une grande mesure, à Monod lui-même. Le principe de ces mécanismes est fondé sur les interactions allostériques de certaines

protéines, appelées régulatrices, qui assurent la cohérence de l'activité chimique de la cellule. Il est reconnu que les interactions allostériques jouent un rôle fondamental dans les processus de régulation, et constituent l'élément le plus essentiel et caractéristique des systèmes de contrôle de la cellule.³ En généralisant leur rôle, Monod insiste qu'il est impossible même de comprendre l'origine et le développement des systèmes de régulation chez les êtres vivants, hors l'idée des interactions indirectes qui s'exercent par l'intermédiaire de l'enzyme allostérique (HN,85).

Je ne vais pas reproduire le mécanisme des interactions allostériques, qui sont très bien décrites et étudiées, y compris dans quelques articles que Monod a publiés au début des années 60 en collaboration avec François Jacob et Jean-Pierre Changeux. Ce qui est essentiel pour leur interprétation, c'est le fait qu'elles se fondent entièrement sur la capacité différentielle, propre aux protéines dans leurs états allotropes divers, de reconnaître stéréospécifiquement d'autres biomolécules et de se lier avec elles en complexes stéréospécifiques non-covalents. Les interactions entre les ligands qui activent ou inhibent l'activité de l'enzyme allostérique, de même que entre ces ligands et le substrat de l'enzyme, sont totalement indirectes. En effet, chacun des ligands entre séparément en interaction chimique seulement avec la protéine allostérique. Ainsi, grâce aux ces propriétés, les protéines en question se trouvent en relation indirecte entre eux, une relation qui est d'ordre non chimique, mais qui assure la transmission de divers signaux chimiques:

It would appear, in other words, that certain proteins, acting at critical metabolic steps, are electively endowed with specific functions of regulation and coordination: through the agency of these proteins, a given biochemical reaction is eventually controlled by a metabolite acting apparently as a physiological "signal" rather than as a chemically necessary component of the reaction itself.⁴

³ L'idée du rôle particulier que jouent les interactions allostériques dans les systèmes de régulation de la cellule est l'objet principal de l'article de J. Monod, J.-P. Changeux et F. Jacob, "Allosteric Proteins and Cellular Control Systems", in *Journal of Molecular Biology* 6 (1963).

⁴ J. Monod, J.-P. Changeux and F. Jacob, "Allosteric Proteins and Cellular Control Systems", in *Journal of Molecular Biology* 6 (1963): 306.

L'indépendance chimique entre le substrat d'un enzyme allostérique et les ligands qui influencent son activité, signifie une indépendance chimique entre la réaction enzymatique et la nature des signaux chimiques auxquels elle est soumise:

The primary reason for considering allosteric proteins as essential and characteristic constituents of biochemical control systems is their capacity to respond immediately and reversibly to specific chemical signals, effectors, *which may be totally unrelated to their own substrates, coenzymes or products.*

We have discussed several examples which illustrated this point (and need not to be recalled here), leading us to the paradoxical conclusion that the structure and *sui generis* reactivity of an allosteric effector is "irrelevant" to the interpretation of its effects. There remains no real chemical paradox, once it is recognized that an allosteric effect is indirect, being mediated entirely by the protein and due to a specific transitions of its structure (MCJ, 324).

En d'autres termes, l'effet des interactions allostériques est entièrement indépendant de la structure des ligands, car il est déterminé par la structure de l'enzyme allostérique dans ses états divers. Les interactions allostériques sont indirectes, puisqu'elles s'effectuent grâce à la capacité différentielle de la protéine, dans les états divers qui lui sont propres, de reconnaître stéréospécifiquement d'autres molécules. Pour cette raison il n'y a aucune liaison chimiquement nécessaire, structurelle ou réactive, entre le substrat de l'enzyme allostérique et les ligands qui exercent une influence sur son activité. Cette particularité des interactions allostériques permet d'expliquer l'orientation de l'activité des protéines et la cohérence des réactions chimiques au sein de la cellule, ainsi que la régulation de la synthèse des macromolécules. Il est à noter que Monod souligne la signification biologique extrême de ces mécanismes:

It is hardly necessary to point out the critical role, indeed the physiological necessity, of such metabolic interconnections. (...)

The *absence* of any inherent obligatory chemical analogy or reactivity between substrate and allosteric effector appears to be a fact of extreme biological importance. (...)

Still, the arbitrariness, chemically speaking, of certain allosteric effects appears almost shocking at first sight, but it is this very arbitrariness which confers upon them a unique physiological

significance and the biological interpretation of the apparent paradox is obvious (MCJ, 306, 307, 324).

Un autre effet, dont l'importance biologique est soulignée par Monod, est le fait que le principe des interactions allostériques offre à l'évolution moléculaire des possibilités d'explorations presque illimitées, ce qui rend possible la création des systèmes complexes d'interactions cybernétiques dans les organismes vivants. En effet, ces systèmes de contrôle ne pouvaient pas opérer, si leurs mécanismes élémentaires étaient restreints aux interactions chimiques directes. Cette restriction, cependant, est évitée dans les processus allostériques où il n'y a pas d'interactions directes entre l'effecteur et les substrats de la réaction, mais seulement entre eux et la protéine allostérique séparément. Ainsi, l'interaction indirecte s'établissant entre les divers métabolites qui sont dépourvus d'affinité chimique les uns à l'égard des autres, permet que la réaction devienne soumise au contrôle des composés qui lui sont chimiquement indifférents. Elles peuvent devenir alors sujettes à une sélection qui opère selon leurs effets sur la cohérence et l'efficacité du fonctionnement de l'organisme (MCZ,324-325; HN, 91).

Le dévoilement des mécanismes biochimiques de ces processus, apporté par la biologie moléculaire, permet à Monod de formuler sa conclusion générale concernant les propriétés téléonomiques des êtres vivants. Le point essentiel dans cette conclusion est l'idée que la téléonomie se fonde, en fin de compte, sur les propriétés associatives stéréospécifiques des protéines et qu'on peut l'analyser et la décrire entièrement en termes de ces propriétés. Alors, le "secret" de la téléonomie réside dans les structures spatiales de ces molécules, dans la mesure où ces structures sont responsables de leurs propriétés associatives stéréospécifiques, et pour qu'on puisse le dévoiler, on doit décrire le mécanisme de la formation et de l'évolution de ces structures (HN, 105). Or, le processus de la formation, ainsi que celui de l'évolution de la structure des protéines est bien connu. Le mécanisme de l'épigénèse moléculaire est un processus chimique déterminé. D'après Monod il n'y a rien en lui qui ne puisse être entièrement expliqué en termes physiques et chimiques. L'accroissement de l'information que contient la structure spatiale de la protéine est un résultat nécessaire de l'apparition de nouvelles formes et fonctions, dont elle est l'agent. Le déterminisme du

processus épigénétique moléculaire, et par conséquent du développement morphogénétique autonome de l'organisme, provient de l'information génétique, inscrite dans la chaîne polypeptidique et filtrée par les conditions initiales. Alors les propriétés téléonomiques retrouvent leur raison, en dernier compte, dans les séquences des radicaux de la chaîne polypeptidique:

En un sens, très réel, c'est à ce niveau d'organisation chimique que gît, s'il y en a un, le secret de la vie. Et saurait-on non seulement décrire ces séquences, mais énoncer la loi d'assemblage à laquelle elles obéissent, on pourrait dire que le secret est percé, l'ultima ratio découverte (HN, 110).

C'est la loi du hasard que la biologie moléculaire a révélée.

On voit bien, dans ce bref exposé, que la thèse fondamentale de Monod avance l'idée que la nature intime de la performance téléonomique réside dans la spécificité chimique et les mécanismes moléculaires des processus à travers lesquels elle s'effectue. De plus, dans la mesure où la téléonomie traduit une propriété fondamentale de l'organisation vivante, on pourrait dévoiler le "secret" de la vie si l'on décrit les mécanismes moléculaires de son fonctionnement. Cette idée est à la base de l'interprétation philosophique que Monod donne à la téléonomie et, par conséquent, de sa vision mécaniste de la nature du phénomène biologique. Dans l'analyse biochimique des mécanismes moléculaires à travers lesquels s'effectue la performance téléonomique, il croit avoir trouvé le fondement scientifique irréfutable de sa thèse biophilosophique. Cependant, l'interprétation mécaniste que Monod donne au phénomène biologique est complètement arbitraire par rapport à l'analyse scientifique dont elle paraît s'inspirer. Loin de supporter la vision mécaniste, cette analyse suggère une toute autre interprétation philosophique.

L'action téléonomique s'effectue, en général, à travers certains processus orientés qui s'accomplissent entre les biomolécules, et pour déterminer sa spécificité par rapport aux autres processus chimiques orientés, il faut révéler la cause et le mécanisme de cette orientation. Monod rattache l'explication du mécanisme des propriétés téléonomiques au niveau moléculaire sur la base du principe des interactions allos-

tériques. Il démontre, dans son analyse scientifique, que cette orientation se fonde entièrement sur les propriétés différentielles des protéines au sein des complexes stéréospécifiques non-covalents, propriétés qui entraînent l'apparition entre elles d'une liaison nouvelle d'ordre non chimique. Cette liaison entre les protéines, propre à toutes les interactions allostériques, est un nouveau type de relation entre les biomolécules, dont la nature est non chimique, bien qu'elle se réalise à travers des interactions chimiques et peut être expliquée entièrement par ces interactions. Son résultat conduit à un effet physiologique précis, concernant les conditions de survie de la cellule. Cette relation nouvelle distingue les interactions allostériques des autres processus chimiques entre les biomolécules. On peut dire que l'essence de la propriété, appelée téléonomie, se traduit par la spécificité des interactions chimiques entre les protéines et par la liaison nouvelle entre les biomolécules qui émerge au cours de ces interactions, liaison dont la nature n'est pas chimiquement déterminée, c'est-à-dire qu'elle est chimiquement arbitraire ou physiologique.

Du point de vue de l'interprétation philosophique de la téléonomie, cela signifie que c'est sur cette nouvelle relation entre les protéines (qui joue le rôle d'une liaison rétroactive dans la régulation des processus chimiques) que se fonde la performance téléonomique, et par conséquent cette dernière est un phénomène tout à fait "naturel" ou "objectif". La téléonomie, ainsi interprétée, reçoit son explication scientifique et son statut d'un phénomène objectif, sans la nécessité d'invoquer un principe vitaliste quelconque. Mais en même temps ce n'est pas, non plus, une interprétation mécaniste au sens philosophique du mot, c'est-à-dire une interprétation qui nie toute spécificité de la performance téléonomique en tant que phénomène biologique, par rapport aux processus chimiques ordinaires. C'est ainsi puisque, dans cette optique, l'essence ou le secret de la téléonomie ne réside pas tout simplement dans les interactions chimiques spécifiques aux protéines, mais dans la relation nouvelle, de caractère non chimique, entre les biomolécules (qui sont privées d'affinité chimique les unes à l'égard des autres), relation qui émerge au cours de leurs activités et qui est quelque chose de différent, ou peut-être faut-il dire quelque chose de plus, par rapport aux processus chimiques ordinaires.

C'est une interprétation des propriétés téléonomiques qui est loin de les réduire aux interactions stéréospécifiques entre les protéines, déterminées par leurs structures. En d'autres termes, la performance téléonomique n'est pas considérée comme un processus chimique ordinaire, bien qu'elle se fonde sur de tels processus, déterminés entièrement par les propriétés stéréospécifiques structurales des biomolécules, et qu'on peut l'expliquer par elles. Cette interprétation, qui est sous-jacente dans le contexte de l'analyse scientifique de Monod, souligne la spécificité de la performance téléonomique, la qualité nouvelle qui la distingue des autres processus chimiques orientés dans la matière non vivante. En d'autres termes, la nature spécifique des processus téléonomiques de régulation dans la cellule se fonde sur la nouvelle relation, qui s'instaure entre certains composants chimiques, et qui est différente de toutes les interactions chimiques entre ces composants. C'est une relation qui détermine le fonctionnement biologique de la cellule, du point de vue de son adaptation aux conditions du milieu. Elle est fondée sur et s'effectue entièrement à travers des interactions stéréospécifiques entre les biomolécules, qui sont des relations purement chimiques; mais elle a pour critère la survie de la cellule et pour résultat son adaptation au milieu, ce qui représente une relation physiologique et exprime la spécificité biologique des processus de régulation biomoléculaires.

On peut dire que Monod, dans son analyse scientifique des mécanismes moléculaires des propriétés téléonomiques, révèle la spécificité de ces processus qui ne permet pas de les réduire aux interactions chimiques ordinaires entre les biomolécules. Mais dans ses conclusions interprétatives de l'analyse, il identifie la spécificité biologique de ces performances téléonomiques avec leur chimisme, ce qui l'amène à leur donner une interprétation mécaniste inadéquate. Ses assertions concernant la possibilité d'analyser entièrement les propriétés téléonomiques de la cellule en termes d'interactions stéréospécifiques entre les protéines, interactions qui, à leur tour, sont déterminées par la structure de ces molécules, ignorent leur nature spécifique. Ces affirmations qui soulignent que les processus en question se fondent, en fin de compte, sur les propriétés stéréospécifiques des biomolécules, sont tout à fait exactes au niveau de l'analyse scientifique. Mais au niveau de l'interprétation philosophique, il n'est pas suffisant de dire que la "source ultime" de

l'autonomie qui caractérise les êtres vivants dans leurs performances est dans les structures moléculaires des protéines régulatrices. Ce qui est essentiel pour cette interprétation, c'est le fait que les processus de régulation engendrent un nouveau type d'interaction, d'ordre non chimique, entre les molécules, interactions qui gouvernent et orientent les réactions chimiques entre ces molécules et rendent possible le fonctionnement physiologique de la cellule. Dans son interprétation mécaniste de ces processus, Monod reste au niveau de leur base chimique, sans rendre compte de leur spécificité biologique qui émerge sur cette base et qu'il a révélée implicitement dans son analyse scientifique. C'est une approche incohérente qui se trouve à l'origine de sa conception mécaniste, dont la prise en conscience pourrait suggérer une voie différente pour l'interprétation philosophique du phénomène biologique.

Université de Montréal

SPAS SPASSOV

BIBLIOGRAPHIE

(HN) Monod, J. *Le Hasard et la nécessité*. Paris: Seuil, 1970.

(MCJ) Monod, J., J.-P. Changeux et F. Jacob. "Allosteric Proteins and Cellular Control Systems", in the *Journal of Molecular Biology*, vol. 6, 1963.