

Université de Montréal

Épistémologie du mécanisme et sélection naturelle

par

Nicolas Paradis

Département de philosophie

Faculté des études supérieures

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de maîtrise

en philosophie

option enseignement au collégial

Août 2012

© Nicolas Paradis, 2012

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

Épistémologie du mécanisme et sélection naturelle

Présenté par :

Nicolas Paradis

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Président-rapporteur

Frédéric Bouchard

Directeur de recherche

Membre du jury

Membre du jury

Représentant du doyen de la FES

Résumé

Le présent mémoire a pour objet de vérifier si (et comment) la sélection naturelle peut être comprise comme mécanisme de l'évolution. En effet, la notion de mécanisme en philosophie des sciences doit encore beaucoup aux développements de l'épistémologie de la physique au cours du 20^{ième} siècle. Or, il n'est pas évident que ces développements soient adéquats au domaine biologique. De plus, même si un intérêt renouvelé pour la notion de mécanisme en biologie a entraîné une abondante littérature épistémologique portant sur la notion de mécanisme, il n'est pas clair que les conceptions offertes sont en mesure de rendre compte de la sélection naturelle.

Peter Machamer, Lindley Darden, Carl Craver, Stuart Glennan, James Woodward et William Bechtel -entre autres- ont tous contribué à une analyse des mécanismes en tant qu'alternative à une approche nomologique qui a dominé le 20^{ième} siècle. Il reste à déterminer quelle caractérisation du mécanisme réussit à s'accommoder de la sélection naturelle à la lumière de sa nature probabiliste.

Mots-clés : Philosophie, épistémologie, biologie, évolution, mécanisme.

Abstract

This thesis considers whether natural selection can (and should) be understood as an evolutionary mechanism. Indeed, in the philosophy of science, the very notion of what it means for something to be a mechanism is still much indebted to 20th century advances within the epistemology of physics. However, it is far from certain that these advances adequately capture the nature of biological mechanisms. Moreover, even with a renewed interest for the notion of biological mechanism, interest which has spawned a copious literature focused on the epistemology of mechanism, it's unclear that the conceptions offered are able to account for natural selection.

Peter Machamer, Lindley Darden, Carl Craver, Stuart Glennan, James Woodward and William Bechtel (to name a few), have all contributed to an analysis of mechanisms as an alternative to the nomological account which has dominated much of the 20th century. It remains to be seen if (and how) one of these representations of mechanism can account for the probabilistic nature of natural selection.

Keywords : Philosophy, epistemology, biology, evolution, mechanism.

Table des matières

Chapitre 1 : Introduction	1
1.1 Portée du projet de recherche.....	1
1.2 Causes, mécanismes et explications.....	5
1.3 D'une philosophie mécaniste à une épistémologie du mécanisme.....	7
1.4 Explication et sélection naturelle.....	10
1.5 Plan du mémoire.....	12
Chapitre 2 : Le mécanisme selon James Woodward	14
2.1 Introduction.....	14
2.2 Motivations de la théorie de Woodward.....	15
2.3 Explication, causation et manipulation.....	18
2.4 Intervention et invariance.....	24
2.5 Conception interventionniste du mécanisme.....	29
2.6 Valeur de l'approche interventionniste.....	32
2.7 Conclusion.....	34
Chapitre 3 : Deux conceptions alternatives du mécanisme	36
3.1 Introduction.....	36
3.2 Le mécanisme selon Machamer, Darden, Craver.....	37
3.3 Modélisation et explication selon Machamer, Darden, Craver.....	42
3.4 Le mécanisme selon William Bechtel.....	48
3.5 Identification et modélisation des mécanismes chez Bechtel.....	54
3.6 Conclusion.....	61
Chapitre 4 : Interprétation mécaniste de la sélection	62
4.1 Introduction.....	62
4.2 Synthèse des caractérisations du mécanisme.....	63
4.3 La sélection naturelle en tant que mécanisme.....	67
4.4 Mécanisme de sélection et organisation.....	70
4.5 Mécanisme de sélection et modularité.....	77
4.6 Mécanisme de sélection et causalité.....	82
4.7 Mécanisme de sélection et régularité.....	94
Chapitre 5 : Conclusion	100
Bibliographie	102

*À ma mère pour me pointer le chemin. À mon
père pour me rappeler qu'il n'y a pas de fil
d'arrivée.*

Remerciements

Il me faut tout d'abord remercier mon directeur de recherche, Frédéric Bouchard, pour ses commentaires constructifs ainsi que pour son aide tout au long de ma maîtrise. Le parcours d'un étudiant à la maîtrise s'étale typiquement sur deux ou trois ans. Il suffira de mentionner que le mien ne fut pas un parcours typique. Remerciements aussi à l'ensemble du département de philosophie pour leur soutien, particulièrement à Mme Pierrette Delisle. Finalement, merci aux collègues étudiants auprès de qui j'ai pu confronter certaines de mes idées. Il me serait impossible de tous les nommer, mais merci surtout aux membres du *CIRST* et aux membres du *Consortium d'histoire et de philosophie de la biologie*, particulièrement à Mathieu Charbonneau, Guillaume Loignon et Jordan Raymond.

Chapitre 1: Introduction

*«Nothing in Biology makes sense except in the light of evolution»
(Dobzhansky 1973, 125)*

1.1 Portée du projet de recherche

La sélection naturelle est-elle un mécanisme? La question pourrait en laisser certains indifférents. Après tout, plusieurs manuels ne présentent-ils pas la sélection comme un des mécanismes, voire le principal mécanisme de l'évolution? C'est là en effet une caractérisation de la sélection naturelle fréquemment proposée autant par des manuels de biologie de l'évolution (Skelton & Gilmour 1993, 136), de génétique (Raven & Johnson 2002, 428), que d'écologie (Hail 2008, 28).

Néanmoins, deux raisons justifient de nous poser la question. D'une part, les sens habituellement donnés au terme 'mécanisme' ne semblent pas correspondre à ce qu'est compris être la sélection. D'autre part, la caractérisation de la sélection naturelle comme 'mécanisme' de l'évolution ne fait consensus ni chez les philosophes de la biologie, ni chez les biologistes.

Une première raison expliquant le projet de recherche prend racine dans les deux sens habituellement réservés au terme 'mécanisme': un premier sens réfère à une partie d'une machine et un deuxième réfère à une cause effective.

In ordinary English this word has two distinct meanings. Sometimes it means mechanical contrivance, a device that works with rigid connections, like levers, the intermeshing teeth of gears, axles, and strings. Sometimes it means something much more general, namely any kind of connection through which causes are effective (...) It is in this latter sense that the word is

used in science generally, in such diverse expressions as the mechanism of the distribution of seeds and the mechanism of star formation (Ruse 2005, 286).

Ces deux sens de *mécanisme* ne sont guère satisfaisants. Le premier sens, où un mécanisme est une partie d'une machine, ne correspond que difficilement à une conception contemporaine de la sélection naturelle. La sélection n'a pas -à proprement parler- de leviers, d'engrenages et d'autres rouages de cette sorte.

Il nous resterait alors le deuxième sens, où la sélection naturelle est un mécanisme parce qu'elle *cause* certains changements biologiques. Si on limite le sens de ce qu'est un mécanisme à ce deuxième sens, où *n'importe quelle* connexion causale peut être qualifiée de 'mécaniste', une caractérisation mécaniste de la sélection apparaîtra ou bien triviale ou alors forcée. Pourquoi ne pas alors parler simplement de cause ?¹

Considérer la sélection naturelle comme mécanisme de l'évolution revient ainsi -au moins en partie- à distinguer les mécanismes d'autres causes et à mieux cerner quelles sont les conditions qui permettent à une cause (ou un ensemble de causes) d'être qualifiée de mécanisme. Aussi, même si la conception paradigmatique de ce qu'est un mécanisme amène les rouages d'une montre à l'esprit, cela ne veut pas dire que d'autres formes de mécanismes ne sont pas possibles. Il convient simplement de clarifier le flou conceptuel et ainsi d'éviter les abus de langage où toute relation de cause à effet est désormais considérée comme mécaniste. «*As an ontological thesis mechanism is vague and open-ended in comparison to either holism or reductionism*» (Brandon 1996, 192). Ce flou ontologique

¹ Nous verrons en section 4.6 que l'apport causal de la sélection naturelle est lui-même sujet de vifs débats.

servirait toutefois bien la cause de l'approche mécaniste qui peut s'accommoder aussi bien de visées réductionnistes qu'émergentistes (*ibid.*, 193).

What is a mechanism? A spring-powered watch with its interconnected gears is a paradigm example of a mechanism. Indeed, many opponents of mechanisms (...) have taken the strategy of offering a restrictive characterization of mechanism and then arguing that some phenomenon cannot be explained in such terms. (...) A modern digital watch with its miniature electric circuit boards is no less mechanical than an old spring and gear watch even though there is a time in the not too distant past when its mechanical workings could not have been conceived (Brandon 1996, 193).

C'est justement à ce flou terminologique et conceptuel que plusieurs auteurs se sont attaqués au cours des deux dernières décennies (Bechtel & Richardson 1993 ; Bechtel 2008; Glennan 1996 ; 2002; Machamer, Darden & Craver 2000; Woodward 2002). Ce sont ces auteurs qui fourniront la majeure partie du cadre théorique à notre projet de recherche. En effet, un tel flou conceptuel n'est aucunement nécessaire au maintien d'un usage de *mécanisme* à la fois au sein de démarches réductionnistes et émergentistes.

Une deuxième raison qui justifie de poser explicitement la question 'la sélection naturelle est-elle un mécanisme?' est l'absence de consensus quant à cet usage. Si plusieurs manuels présentent la sélection naturelle comme mécanisme, d'autres manuels choisissent de la présenter comme une cause ou un processus (Smith 1998, 7; Ridley 1996, 670) ou même encore comme une théorie.

Cette même ambiguïté est manifeste auprès de philosophes de la biologie. «(...) *what kind of a thing is natural selection, anyway? A law, a principle, a force, a cause, an agent, or all or some of these?*» (Hodge 1992, 218). Certains considèrent la sélection

naturelle comme ‘processus’, ‘cause’ ou ‘facteur causal’ (Lewontin 1978, Brandon 1990). Elle est parfois qualifiée de ‘force’ de manière analogue aux forces newtoniennes (Sober 1984; Millstein 2006; Shapiro & Sober 2007), ou, de manière conceptuelle, de ‘principe’ (Rosenberg & Bouchard 2005).

C'est un peu en ce sens qu'écrivent Robert A. Skipper et Roberta L. Millstein: «*evolutionary biologists call natural selection, and the other evolutionary mechanisms, many things, which they all seem to think amount to the same thing. Natural selection is a cause, a force, a process, a mechanism, a factor. (...) sometimes, natural selection is called a principle or a concept, but when the explication continues, cause, force, or mechanism talk is apparent*» (Skipper & Millstein 2005, 328). C'est là le deuxième sens du terme, ou 'mécanisme' est compris comme 'processus causal'. Affirmer que ces appellations reviennent généralement au même, c'est-à-dire à une conception mécaniste-causale de la sélection naturelle, présume une notion faible de ce que constitue un mécanisme.

De plus, Darwin n'aurait à aucun moment, ni dans ses écrits publiés, ni dans ses correspondances personnelles, utilisé le terme *mécanisme* en référence à la sélection naturelle. «(...) [Darwin] *simply does not speak of natural selection as a mechanism. He does not use the language of the 'nature is a machine' general metaphor at all*» (Ruse 2005, 291). Cela n'empêchait pas Darwin d'utiliser la notion de mécanisme pour rendre compte de certains aspects physiologiques ou comportementaux (*ibid.*, 292-293). Ainsi, ni Darwin, ni

plusieurs de ses successeurs n'utilisèrent le terme 'mécanisme' pour qualifier la sélection naturelle².

Ce sont-là deux raisons qui motivent le projet de recherche du présent mémoire. Il convient donc d'examiner attentivement ce que nous concevons être un mécanisme pour ensuite déterminer si la sélection naturelle peut effectivement être considérée comme un mécanisme de l'évolution.

1.2 Causes, mécanismes et explications

La deuxième moitié du vingtième siècle a vu le foisonnement de réflexions philosophiques sur ce qui constitue une bonne explication scientifique, réflexions qui ont progressivement délaissé le modèle déductivo-nomologique élaboré par Carl Hempel (Hempel & Oppenheim 1948; Hempel 1965) au profit d'approches où figurent des explications causales (Cartwright 1989, Giere 1999, Lipton 1991, Salmon 1984, 1998, Scriven 1959). Nonobstant la critique de la causalité formulée par David Hume, la popularité relative de ces approches tient en partie au fait qu'un grand nombre de scientifiques ne semblent pas assujettir leurs recherches à des lois de la nature³. Ce passage d'un modèle nomothétique de l'explication, c'est-à-dire qui fait explicitement ou implicitement référence à une loi de la nature, à un modèle causal s'avère spécialement

² «*I do not know who actually first called natural selection a 'mechanism' (...) even R. A. Fisher in his The genetical theory of natural selection of 1930 and J. B. S. Haldane in his The causes of evolution (1932) do not come right out with the language*» (Ruse 2005, 297 n3).

³ Une autre partie de l'abandon du modèle déductivo-nomologique tient aux nombreux contre-exemples. Pour un survol particulièrement éclairant du passage de l'approche nomothétique (basée sur des 'lois' de la nature) aux différentes approches causales, ainsi qu'un examen critique de ces diverses approches causales voir Cartwright 2006).

éclairé en biologie, étant donnée l'absence présumée de lois dans ce domaine (Beatty 1995, Brandon 1996, Sober 1996).

Une certaine confusion existe en effet quant à l'équivalence entre l'usage des notions de cause et de mécanisme de manière interchangeable. Ainsi, la démarche préconisée par Wesley Salmon -qualifiée de *causal-mechanical*- liait la notion de cause et d'explication: «(...) *causal processes, causal interactions, and causal laws provide the mechanisms by which the world works; to understand why certain things happen, we need to see how they are produced by these mechanisms*» (Salmon 1984, 132). Un exemple plus récent de la combinaison des notions de cause et mécanisme conçoit explicitement que le mécanisme serait en mesure de fournir la fondation d'une théorie de la causation (Glennan 1996, 51). Les mécanismes permettraient de distinguer les connexions nécessaires des généralisations accidentelles (*ibid.*, 49) : «(...) *events are causally related when there is a mechanism that connects them (...)*» (*ibid.*, 49). «(...) *The best way to evaluate [causal] claims is to find the mechanism responsible for the supposed causal connection (...)* (*ibid.*, 66).

Par exemple, Mario Bunge défend une conception du mécanisme comme processus au sein d'un système qui s'accorde avec cette deuxième version : «(...) *a mechanism was conceived of as a process (or sequence of states, or pathway) in a concrete system, natural or social*» (Bunge 2004, 186). «*Scientists have always known that to explain the behavior of a system is to exhibit or conjecture the way it works, that is, its mechanism(s)*» (*ibid.*, 205). Dans cette optique, le mécanisme est le fonctionnement ou processus par lequel un phénomène prend forme. «*Of course, a mechanism need not be mechanical. There are thermonuclear, thermo-mechanical, electromagnetic, chemical, biological (in particular*

neurophysiological), ecological, social, and many other mechanisms as well. This kind of explanation is usually called mechanistic. I prefer to call it mechanismic, because most mechanisms are nonmechanical» (ibid., 203).⁴

1.3 D'une philosophie mécaniste à une épistémologie du mécanisme

Il est important de noter que le projet du présent mémoire diffère de ce qu'il convient d'appeler la *philosophie mécaniste*, c'est-à-dire la philosophie des 16^{ième} et 17^{ième} siècles. Il n'est certes pas question d'ignorer l'héritage philosophique que nous devons à plusieurs philosophes. Au contraire, *«the study of the history of philosophy can be seriously relevant to contemporary philosophical concerns»* (Dauler 1999, 463).

Il ne s'agit donc pas d'ignorer la richesse de cet héritage. Nombreux sont ceux qui se sont penchés sur les notions de causes et de mécanisme au cours de l'histoire, à commencer par Aristote qui différenciait quatre sortes de causes (matérielle, formelle, efficiente, finale). Cette distinction d'Aristote visait à mettre l'accent sur le rôle de la fonction, distinction sur laquelle nous nous attarderons (Bechtel 2008, 11). *«(...) all phenomena in nature are directed toward an end, or telos, that was linked to what Aristotle called the form that determined the identity of a given object. Explanation then consisted in identifying the form of something and showing how it was directed towards its telos (ibid., 11).*

L'intérêt renouvelé pour le concept de mécanisme, intérêt que Skipper et Millstein ont qualifié de *«new mechanistic philosophy»* (Skipper & Millstein 2005, 343) s'est

⁴ C'est en ce sens que le terme *mécaniste* sera préféré au terme *mécanique* dans ce mémoire.

manifesté par un nombre croissant de recherches au cours des deux ou trois dernières décennies. Et, quoique ces recherches soient souvent motivées par des visées différentes, une meilleure compréhension de ce que constitue un mécanisme reste un objectif central, largement partagé. En quoi cette *épistémologie du mécanisme* est-elle différente de la philosophie moderne, ou philosophie mécaniste? D'abord, la philosophie mécaniste était caractérisée par la métaphore de la nature comme semblable à une machine.

The framework that modern natural philosophers preferred to Aristotelian teleology was one that explicitly modelled nature on the characteristics of a *machine*. So central was the machine metaphor (...) that many exponents liked to refer to their practice as the *mechanical philosophy* (Shapin 1996, 30).

Les chercheurs convoitaient certaines explications de phénomènes naturels qui soient exemptes de références à des qualités occultes ou à des 'miracles'. «*Mechanists held that all macroscopic phenomena result from the motions and impacts of submicroscopic particles (...) each of which can be fully characterized in terms of a strictly limited range of (primary) properties: size, shape motion and, perhaps, solidity*» (Dauler 1999, 11). Un phénomène pouvait être dit naturel s'il était explicable mécaniquement (*ibid.*, 405 n32). En d'autres mots, l'explication mécaniste faisait consensus, mais aucun consensus n'existait quant à ce qui rendait une explication mécaniste, ou, plus simplement, ce en quoi consistait un mécanisme. Ainsi, cerner ce qui réunissait les philosophes mécanistes, outre une opposition aux causes finales, et à la scolastique aristotélicienne, s'avère une tâche

délicate⁵. En effet, derrière certaines thèses liées aux explications, se sont trouvés regroupés des philosophes aux origines, intérêts et démarches différents, parfois contradictoires. Par exemple, les philosophes se targuant d'être mécanistes ne s'entendaient pas tous sur les causes finales d'Aristote⁶, Descartes et Bacon voulant limiter leur rôle à la théologie alors que Boyle et Leibniz leur reconnaissaient un rôle certain (principalement en biologie) (Ruse 2005, 289). Ces philosophes ne s'entendaient pas non plus ni sur le rôle de l'expérience sensible, ni sur la manière d'évaluer une connaissance (Shapin 1996, 90). C'est cette quantité de perspectives diverses qui pousse d'ailleurs certains à critiquer la conception même de philosophie mécaniste comme un tout. «*No adequate analysis of the various meanings of the 'mechanical philosophy' has yet been given*» (Mcguire 1972, 523).

Par opposition, l'objet du présent mémoire se limitera à considérer *si et comment* la sélection naturelle peut être considérée en tant que mécanisme. Aussi, bien que la littérature offre une abondance de traitements de la philosophie du vivant, il est assez juste de noter qu'il faut traiter toute question qui porte sur la sélection naturelle à partir de Charles Darwin, qui est reconnu pour sa formulation. En ce sens, le traitement qui sera offert dans les chapitres qui suivent se veut résolument contemporain. Il s'agit d'une part de considérer certaines conceptions (ou caractérisations) de ce qui constituerait un mécanisme pour ensuite déterminer si ces conceptions du mécanisme peuvent être appliquées à la sélection naturelle.

⁵ Même le rejet de la philosophie naturelle d'Aristote ne faisait pas l'unanimité: «(...) *it was by no means clear that doing mechanics entailed one particular natural philosophy over another; in particular, it did not entail being anti-Aristotelian (...)*» (Garber 2002, 189).

⁶ Pour une analyse de la téléologie des causes finales aristotéliennes, en biologie, voir Cooper et Balme 1987. Pour un tour d'horizon contemporain de la question voir Ruse 1988, 43.

1.4 Explication et sélection naturelle

Plusieurs questions liées au rôle de la sélection naturelle au sein d'explications biologiques continuent d'être débattues. Il est ainsi important d'expliciter quelques-uns des présupposés théoriques du présent mémoire. Parmi ces questions qui continuent d'être débattues, deux en particulier sont liées à notre propos, bien qu'elles ne soient pas directement traitées. La première de ces questions porte sur l'unité de sélection : qu'est-ce qui est sélectionné ? La deuxième de ces questions concerne le rôle causal attribué à la sélection naturelle. En d'autres mots, est-ce que la sélection naturelle est une cause de l'évolution ou une distribution statistique des changements de fréquences d'allèles comme l'ont laissé entendre certains auteurs (Matthen and Ariew 2002; Walsh 2000; Walsh et al. 2002; Walsh 2007)? Ces deux questions ne sont pas centrales, mais sont liées à des critiques d'une interprétation mécaniste de la sélection naturelle.

Certains philosophes voudraient privilégier le gène ou génotype (Sterelny & Kitcher 1988), d'autres privilégieraient l'organisme ou certains de ses traits (Sober & Lewontin 1984), et d'autres encore accepteraient que la sélection naturelle puisse opérer autant au niveau des gènes que des organismes ou même à d'autres niveaux (Waters 2005, Wilson 2003). Cette question aura une portée sur les conclusions du quatrième chapitre, il est donc important de préciser quelle approche nous comptons accepter⁷.

En l'absence de consensus sur ces deux questions, nous nous baserons sur une caractérisation de la sélection naturelle offerte par Richard Lewontin, et utilisée entre autres

⁷ Pour plus d'information, voir Brandon & Burian (1984).

par Robert Brandon, caractérisation que nous jugeons être en accord avec la théorie de l'évolution initialement défendue par Darwin ainsi qu'avec les grandes lignes de la synthèse du néo-darwinisme. Ainsi, la sélection naturelle est constituée de trois principes : la variation phénotypique, la *fitness*⁸, et l'héritabilité (Lewontin, 1968, 203).

La variation phénotypique implique simplement qu'au sein d'un ensemble d'entités ou d'individus, il existe des différences entre les membres qui composent cet ensemble ou cette population. La *fitness* signifie que ces différents membres ou individus n'ont pas tous le même rythme de reproduction. En d'autres mots, certains se copient avec plus de succès que d'autres. Finalement, l'héritabilité indique que les générations subséquentes ressembleront plus à leurs parents directs qu'à d'autres membres de la population. À ces principes, il nous faudra ajouter la nécessité d'un lien entre le succès reproductif et l'adaptabilité différentielle. Afin d'affirmer qu'une différence est le résultat de la sélection naturelle, il nous faut être capable de démontrer *comment* cette différence permet à certains des membres d'avoir plus de succès, bref *comment ils sont mieux adaptés*.

Cette perspective permet d'offrir l'ébauche de réponse aux questions soulevées précédemment, qui demeurent débattues par plusieurs philosophes de la biologie. Le degré d'abstraction offert permet à Lewontin d'admettre que la sélection naturelle puisse opérer à plusieurs niveaux. « (...) *any entities in nature that have variation, reproduction and heritability may evolve (...). This axiomatization makes clear that the principles can be*

⁸ On doit à François Duchesneau l'une des bonnes traductions du terme *fitness* «Ce principe (de sélection naturelle) suscite des difficultés particulières de détermination selon la signification que l'on attribue au concept de disposition adaptative (*fitness*)» (Duchesneau 1997, 270-271). Toutefois cette traduction présuppose qu'il s'agit d'une disposition, en ce sens l'usage de l'anglais n'est pas accidentel. Pour plus de détails sur les problèmes liés à la notion de *fitness* en tant que disposition voir Brandon (1978) Brandon & Beatty (1984); Mills & Beatty (1979); Beatty & Finsen (1987)

applied equally to genes, populations, species and at opposite ends of the scale, prebiotic molecules and ecosystems » (Lewontin, 1970, 1-2). Il n'est donc pas possible de limiter le rôle de la sélection naturelle à un seul niveau, et il n'est même pas nécessaire de défendre une unité de sélection qui serait privilégiée⁹. Une interprétation mécaniste de la sélection naturelle peut demeurer agnostique vis-à-vis ces deux débats tout en clarifiant ce qu'est précisément un mécanisme.

1.5 Plan du mémoire

Le deuxième chapitre de ce mémoire portera sur la notion de mécanisme articulée par James Woodward (2002) en tant qu'une partie intégrale de sa théorie causale (Woodward 2000, 2001, 2005). Nous illustrerons comment son approche de la causalité comme modelée par des généralisations invariantes sous certaines interventions se trouve être particulièrement appropriée à la théorie de l'évolution par la sélection naturelle, depuis Darwin. Nous analyserons les notions centrales à cette approche, soit les notions de causalité, d'intervention et d'explication. Nous concluons en considérant les implications théoriques quant à la notion de mécanisme défendue par Woodward selon laquelle les mécanismes sont des structures ou ensembles (*set*) de plusieurs composantes où le comportement de chacune des composantes peut être défini par une généralisation qui reste invariante sous des interventions, où ces composantes sont modifiables indépendamment

⁹ Il ne s'agit toutefois pas de nier que certains auteurs se sont (à un moment ou un autre) attardés à harmoniser les explications adaptatives (qui impliquent la sélection naturelle) à des explications nomothétiques. Voir Sober 1984 chapitre 2 ou Ruse 1973, 90-95.

les unes des autres et où le produit du mécanisme variera en fonction des manipulations opérées sur chacune des composantes. (Woodward 2000, 375).

Le troisième chapitre considérera ensuite certaines alternatives proposées quant à ce qui constitue un mécanisme, alternatives développées entre autres par William Bechtel et Bill Richardson (Bechtel & Richardson 1993 ; Bechtel 2007), par Stuart Glennan (Glennan 1996, 2002) et par Peter Machamer, Lindley Darden and Carl Craver (MDC 2000). Nous considérerons d'abord la caractérisation proposée conjointement par Machamer, Darden et Craver, ces auteurs ayant communément ou individuellement publié plusieurs articles sur la notion de mécanisme. Nous évaluerons ensuite l'apport de Bechtel, les distinctions qu'il propose et sa contribution à la notion de mécanisme. Le chapitre s'achèvera sur une synthèse des divergences déterminantes ainsi que des implications de ces divergences sur la notion d'un mécanisme de la sélection naturelle.

Finalement, le quatrième chapitre examinera la relation entre la sélection naturelle et les conceptions des mécanismes proposées afin de déterminer s'il est possible d'établir une correspondance avec l'une, ou avec plusieurs de ces caractérisations des mécanismes. Dans cette optique, nous comparerons les différentes caractérisations du mécanisme et tenterons de les appliquer à un cas paradigmatique de la biologie évolutionnaire, afin de déterminer si une approche (ou plusieurs d'entre elles) est en mesure de rendre compte de la sélection naturelle. Cette interprétation mécaniste de la sélection sera ensuite soumise à quelques critiques.

Chapitre 2: Le mécanisme selon James Woodward

2.1 Introduction

James Woodward défend une conception de ce qu'est un mécanisme qui s'inscrit au sein de sa théorie interventionniste de l'explication et de la causalité. Selon cette conception, la représentation d'un mécanisme devrait correspondre à quatre caractéristiques (Woodward 2002, 375) soit : (1) de décrire un ensemble ou une structure organisé(e) (2) où le comportement de chaque partie de l'ensemble peut être décrit par une généralisation demeurant invariante sous certaines interventions (3) où on peut manipuler chacune des parties indépendamment les unes des autres et finalement, (4) dont la représentation permet en vertu de (1), (2) et (3), de voir comment l'output final¹⁰ de l'ensemble variera en fonction de manipulations de l'apport de chacune des parties ou de changements des parties elles-mêmes.

Dans ce chapitre, nous considérerons les questions indispensables à une compréhension d'une telle notion de mécanisme. D'abord, en section 2.2, nous considérerons la portée de la théorie défendue par Woodward, en nous attardant particulièrement sur le lien entre ses motivations et la sélection naturelle. Nous examinerons ensuite à la section 2.3, la notion de causalité articulée par Woodward. Nous expliquerons en section 2.4, les rôles cruciaux joués par les notions d'intervention et d'invariance dans la conception qu'a Woodward de l'explication. Nous illustrerons ensuite

¹⁰ L'utilisation du terme output n'est pas accidentelle, car différentes caractérisations insisteront sur différentes terminologies (par exemple : *condition*, *état*, *effet*, *fonction*, etc.). Le terme output a l'avantage d'être neutre vis-à-vis plusieurs représentations du mécanisme.

comment ces notions d'intervention et d'invariance s'agencent dans une conception du mécanisme défendue à la fois par James Woodward et par Stuart Glennan, et adoptée en tout ou en partie par plusieurs philosophes de la biologie (voir entre autres Raerinne 2000, 16; Lewens 2009, 8; Reisman & Forber 2005 ainsi que Sober & Shapiro 2007). Finalement, nous concluons, à la section 2.7, avec un survol critique de la valeur de cette notion de mécanisme.

2.2 Motivations de la théorie de Woodward

Dans la perspective défendue par Woodward, nos intérêts quant à la causalité et l'explication sont liés à notre condition d'agents pratiques, peu importe si ces intérêts s'inscrivent dans une démarche scientifique ou une démarche plus terre-à-terre (Woodward 2003, 150). Les notions de manipulation et de contrôle sont centrales à cette perspective: un énoncé sera jugé causal et explicatif s'il procure de l'information pertinente à ce que quelque chose puisse être manipulée ou contrôlée (*ibid.*, 199). La question de l'application de la théorie de Woodward (ou d'une approximation de cette théorie) à la sélection naturelle sera centrale au chapitre 4, il convient cependant de s'attarder sur les raisons qui motivent la place qu'occupe l'approche préconisée par Woodward à notre projet. D'une part, l'approche de Woodward offrirait un cadre favorable à une perspective mécaniste de la sélection naturelle. D'autre part, cette approche a déjà été adoptée à la fois en philosophie de la biologie et en science sociale (Skipper & Millstein 2005, Raerinne 2000, Lewens 2009, Reisman & Forber 2005, Sober & Shapiro 2007).

Comment l'approche préconisée par Woodward offre-t-elle un cadre favorable à une conception de la sélection naturelle comme l'un des mécanismes de l'évolution ? Cette question implique d'abord un caractère normatif : pourquoi *devrait-on* considérer la sélection naturelle comme un mécanisme ? Un traitement approfondi sera offert au chapitre 4, mais une brève réponse est proposée par Woodward lui-même. Citant un article de Machamer, Darden et Craver (MDC 2000, 3), il affirme être en accord avec ces derniers que la recherche scientifique, implique en partie la recherche de mécanismes : «*the construction of explanations and the identification of causal relationships is closely bound up with the discovery of mechanisms*» (Woodward 2002, 366). En ce sens, il est aisé de comprendre pourquoi la sélection naturelle est souvent conçue comme un mécanisme (Skipper & Millstein 2005, 328)¹¹.

Outre la popularité croissante de la démarche préconisée par Woodward, une autre raison pour laquelle elle s'avère fournir un cadre favorable à une perspective mécaniste de la sélection naturelle est liée à la démarche qu'a employée Charles Darwin lui-même afin de rendre explicite l'existence de la sélection naturelle. On conçoit en effet intuitivement pourquoi une approche axée sur la manipulation semblerait favorable à une formulation de la sélection naturelle en tant que mécanisme.

¹¹ Ainsi que nous l'avons noté en section 1.1, l'une des raisons qui justifie le présent mémoire est l'existence d'un flou conceptuel quant à l'usage du terme mécanisme. Lorsque Skipper et Millstein écrivent que: «*Natural selection is a cause, a force, a process, a mechanism, a factor. (...) sometimes, natural selection is called a principle or a concept, but when the explication continues, cause, force, or mechanism talk is apparent*» (Skipper & Millstein 2005, 328), ceci nourrit la confusion déjà existante entre les notions de *processus causal* et de mécanisme (confusion qui est en partie à l'origine du présent travail).

En effet Darwin s'était lui-même servi de l'analogie entre les manipulations des caractères jugés utiles par les éleveurs et les traits phénotypiques obtenus afin d'illustrer son propos : c'est la sélection artificielle qui sert à préparer à l'acceptation de la sélection naturelle dans *l'Origine des espèces*. «Un des caractères les plus remarquables de nos races domestiques, c'est que nous voyons chez elles des adaptations qui ne contribuent en rien au bien-être de l'animal ou de la plante, mais simplement à l'avantage ou au caprice de l'homme» (Darwin 1859, 74). C'est précisément parce que les éleveurs pouvaient *contrôler* quels individus de leurs élevages se reproduisaient avec quels autres individus que les éleveurs pouvaient *manipuler* certains traits et caractéristiques jugés utiles que Darwin voulait convaincre qu'une sélection analogue se déroulait dans la nature (Ruse, 2008, 23). Dans la mesure où cette approche est intégrale à la stratégie adoptée par Darwin, il est possible de concevoir comment la perspective interventionniste offrirait un cadre favorable à un mécanisme de la sélection naturelle¹².

À cet égard, il est intéressant de noter l'usage que fait Woodward d'un article de Robert Weinberg, dans lequel ce dernier écrivait que la biologie avait traditionnellement été une 'science descriptive'. Pour Weinberg, les développements contemporains de certains instruments et des techniques expérimentales permettraient désormais de considérer que la biologie procure des explications causales et identifie des mécanismes causaux. Les biologistes moléculaires croient que «les agents submicroscopiques qu'ils étudient peuvent

¹² C'est en ce sens qu'on qualifie la théorie de Woodward de manipulationniste ou d'interventionniste. Nous avons privilégié la deuxième afin de distinguer la démarche de Woodward de celles de Price et Menzies (voir Woodward 2003, 25).

expliquer, à un niveau essentiel, les complexités de la vie [et] rendent possibles des changements d'éléments critiques du modèle biologique à volonté» (Weinberg, 1985, 48 cité par Woodward 2002, 373 ma traduction).

Woodward ne précise pas s'il endosse ou non la position selon laquelle la biologie se limitait à un rôle descriptif jusqu'à tout récemment. Une telle position semblerait aller à l'encontre de la stratégie adoptée par Darwin dans *l'Origine*, où les éleveurs pouvaient déjà manipuler certains des caractères physiologiques visibles des individus dont ils faisaient l'élevage. Peu importe s'il endosse ou non la position selon laquelle la biologie se limitait à des descriptions, Woodward voit dans l'opinion de Weinberg un appui à la perspective qu'il présente. «*Weinberg explicitly links the ability of molecular biology to identify causal mechanisms with the fact that it provides information of a sort that could in principle be used for manipulation and control*» (Woodward 2002, 373).

2.3 Explication, causation et manipulation

Un mécanisme, peu importe comment le terme est défini, est généralement compris comme entraînant, produisant ou engendrant un effet; il s'agit-là de notions causales. Il semble donc salutaire de s'attarder à la conception de la causalité offerte par Woodward, celle-ci étant centrale au reste de son propos. Deux aspects de cette conception s'avéreront particulièrement pertinents à cette section: la distinction opérée par Woodward entre causes directes, causes participantes et causes totales ainsi que la distinction entre les causes générales (*type cause*) et instanciations particulières (*token cause*) de celles-ci.

Comme plusieurs philosophes des sciences, Woodward considère qu'une bonne explication sera une explication causale, au sens où la cause permet d'expliquer un effet (Woodward 2003, 3). On doit à Carl Hempel (1966) une approche de l'explication scientifique qui a dominé la littérature philosophique sur le sujet pour une bonne partie du 20^{ième} siècle. Les modèles de Hempel (le modèle déductif-nomologique ou D-N, déductif-statistique ou D-S et inductif-statistique I-S) ont, dominé la philosophie de l'explication au cours du 20^{ième} siècle. S'ils sont désormais largement remis en question, c'est que plusieurs contre-exemples tendent à démontrer que ces modèles ne proposent ni les conditions suffisantes, ni les conditions nécessaires à formuler une bonne explication (Woodward 2003, 181). La constatation est habituellement qu'une solution à ces objections passe par une référence aux causes dans une explication (Cartwright 2004, 236 ; Salmon 1989, 47 ; Hausman 1998, 158).

Woodward défend une théorie de la causalité selon laquelle un énoncé de forme «*X* cause *Y*» implique qu'il existe (au moins) une manipulation de *X* qui entraînera un changement de *Y*. Woodward résume sa conception interventionniste de la causalité par le slogan : «*No causal difference without a difference in manipulability relations, and no difference in manipulability relations without a causal difference*» (Woodward 2003, 61), où il qualifie les manipulations adéquates d'interventions. Par exemple, nous pouvons manipuler la hauteur du mât d'un drapeau et ainsi modifier la zone d'ombre qui sera projetée, nous ne pouvons toutefois pas manipuler la longueur de l'ombre afin de modifier la hauteur du mât. L'idée de base qui se veut également l'idée derrière le design

expérimental (*ibid.*, 27) est de chercher à varier un effet en manipulant (c.-à-d. en faisant varier) sa cause tout en figeant l'ensemble des autres sources possibles de variation.

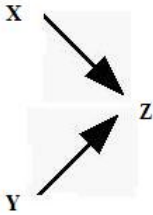


Figure 2.3.1

Ces relations causales peuvent être représentées à l'aide de graphes et d'équations structurelles (comme dans la figure 2.3.1)¹³. Dans un graphe orienté, ou digraphe, des flèches appelées arêtes directionnelles servent à identifier la cause et l'effet. En ce sens, la figure 2.3.1 constitue une représentation d'un ensemble de variables $V \{X, Y, Z\}$ dont les arêtes indiquent que les variables énoncent « X est causalement lié à Z ». Les structures causales qui nécessiteraient l'inclusion d'un nombre de variables plus élevé contiendraient un plus grand nombre de variables et d'arêtes (*ibid.*, 42). Dans la théorie de la causalité défendue par Woodward, la notion de variable renvoie à une propriété ou magnitude pouvant prendre minimalement deux valeurs (*ibid.*, 39). Les valeurs d'une variable peuvent prendre des formes qualitatives (couleur, présence ou absence) ou quantitatives (poids, vitesse); elles peuvent être discrètes, graduelles ou continues. Par exemple, soit une

¹³ Il existe une tradition en économétrie qui légitime l'usage de graphes et d'équations structurelles ; nous ne nous attarderons qu'à illustrer visuellement deux conséquences de la théorie interventionniste : le passage de *type* à *token* et les différences entre *cause totale* et *cause contributive*.

variable X , ses valeurs pourraient être $\{x1 = \text{blanc}, x2 = \text{noir}\}$ ou encore sa condition $\{m1 = \text{chute}, m2 = \text{ne chute pas}\}$ ou une valeur quantitative $\{n=1, n=2, n=x \dots n= 57 \text{ etc.}\}$ ¹⁴.

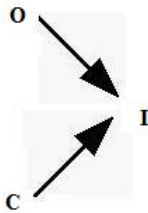


Figure 2.3.2

Woodward offre parmi plusieurs exemples, celui d'un incendie ayant lieu à la suite d'un court-circuit. Il nous est dès lors possible de représenter graphiquement la structure causale où les variables C (court-circuit), O (présence d'oxygène) et I (incendie) comme représenté graphiquement en 2.3.2. Nous pouvons concevoir qu'une manipulation empêchant C de se produire résultera en un changement de I . Dans un même ordre d'idée, nous pouvons tester que la présence ou absence de la variable O affectera son effet I . Il est à noter (ainsi que le remarque Woodward lui-même), que ces représentations portent sur les causes générales:

Although there is a distinction between type -and token- causal claims, it does not follow that there are two kinds of causation – type and token – or that in addition to token-causal relationships involving particular values of variables possessed by particular individuals, there

¹⁴ Les variables seront mises en majuscules mises en italiques, leurs valeurs demeureront en minuscules.

is a distinct variety of causal connection between properties or variables that is independent of any facts about token-causal relationships (Woodward 2003, 40).

Afin d'illustrer les ramifications d'une telle approche, supposons que deux appareils soient positionnés et synchronisés de manière à ce que deux projectiles P et Q soient lancés simultanément contre une fenêtre Y qui se brise sous l'impact. Afin de déterminer laquelle des variables P ou Q a brisé la fenêtre, nous pouvons concevoir une manipulation où l'un et l'autre des projectiles ne sont pas lancés. Nous avons donc un ensemble de variables V incluant trois variables: un projectile P , un deuxième projectile Q et une fenêtre Y représentées par la figure 2.3.3. Or, une manipulation des variables pourrait nous mener à la conclusion que ni P ni Q ne brise Y individuellement ou au contraire, qu'à la fois l'une et l'autre variable suffit à briser Y .

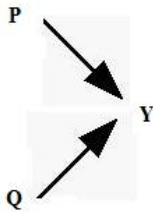


Figure 2.3 3

Bien que ces deux scénarios soient adéquatement représentés par 2.3.3, ils ne semblent pas équivalents: dans le premier cas P et Q sont des causes totales de Y , alors que dans le deuxième elles sont des causes contributives. Une variable de X sera perçue comme cause totale de Y si une manipulation de X seule suffit à changer la valeur de Y ou la

probabilité qu'a Y de prendre une certaine valeur (*ibid.*, 51). Ainsi, dans la figure 2.3.2, les variables C et O sont chacune une cause totale de I au sens où manipuler l'une ou l'autre variable changera la présence / absence d'un incendie. Dans un même ordre d'idée, s'il nous est possible de changer la valeur de Y en manipulant le projectile P , et vice-versa, bref si les deux projectiles sont nécessaires à briser la fenêtre, alors P et Q , sont chacun une partie de la cause totale de Y .

Ensuite, une variable X sera considérée comme une cause contributive de Y si une manipulation de X entraîne un changement de la valeur ou de Y tandis que toutes les autres causes possibles de Y sont maintenues à une valeur fixe (*ibid.*, 51). Donc, si a fenêtre Y brise alors que nous n'avons pas lancé P , il nous faudra fixer la valeur de Q (ne pas lancer le projectile Q) et vérifier si le projectile P est une cause contributive, et vice-versa. Dans ce scénario les deux projectiles sont suffisants à briser la fenêtre, ils sont chacun cause contributive de Y . Finalement, Woodward introduit aussi la distinction (nécessaire) de cause directe. Une variable X sera une cause directe de Y si une manipulation de X entraîne un changement de la valeur de Y tandis que les causes possibles de Y sur une même route causale sont maintenues à une valeur fixe (*ibid.*, 55). En d'autres mots, il n'existe pas d'intermédiaire sur la route causale reliant la variable cause et la variable effet.

Ces deux exemples illustrés par les figures 2.3.2 et 2.3.3 montrent qu'une même représentation graphique peut s'instancier de multiples façons. Bref, le passage de la causalité générale (*type-cause*) à une instanciation particulière hypothétique (*token-cause*) ou à une instanciation de cause actuelle (*actual cause*) ne se fait pas sans problème (*ibid.*,

87). Une structure causale identique peut également générer différents jugements causaux, quant au statut d'une variable en tant que cause contributive, cause totale et cause directe¹⁵.

2.4 Intervention et invariance

Woodward articule une conception du mécanisme selon laquelle le comportement d'un mécanisme est compris «*in terms of the notion of invariance under intervention*» (Woodward 2002, 370). Les manipulations qui rencontrent certaines caractéristiques sont identifiées en tant qu'interventions.

An intervention on some variable X with respect to some second variable Y is a causal process that changes the value of X in an appropriately exogenous way, so that if a change in the value of Y occur, it occurs only in virtue of the change in the value of X and not through some other causal route (...) (Woodward 2003, 94).

Dans l'éventualité où nous voudrions déterminer si des variables X et Y sont causalement liées, une manipulation adéquate (*testing intervention*) sera possible par le biais d'une variable d'intervention I que Woodward formalise en offrant quatre conditions :

(I1) I cause X ;

(I2) I agit comme un interrupteur vis-à-vis des autres variables (possibles) causant X (au sens où pour certaines valeurs de I la variable X ne dépend plus des valeurs d'aucune autre variable causant X excepté la valeur de I) ;

¹⁵ Cette richesse à laquelle fait référence Woodward, sera utile lorsque viendra le temps de déterminer quelles sont les composantes d'un mécanisme de sélection naturelle (voir section 4.2).

- (13) Tous les chemins dirigés de I vers Y passent par X (en d'autres mots, I ne cause pas directement Y et n'est une cause d'aucune cause de Y autre que X , excepté celles des causes de Y , s'il en existe, se trouvant sur le chemin I - X - Y lui-même : c'est-à-dire exceptées (a) les causes de Y qui sont des effets de X (c.-à-d. les variables situées causalement entre X et Y) et (b) toute cause de Y située entre I et X et n'ayant pas d'effet sur Y indépendamment de X .)
- (14) I est statistiquement indépendant de toute variable Z causant Y et ne se trouvant pas sur un chemin passant par X . (*ibid.*, 98)

Nous pouvons illustrer la notion d'intervention en reprenant l'exemple de la section 2.3, dans lequel deux projectiles P et Q étaient lancés simultanément contre une fenêtre Y qui se fracassait sous l'impact. Intuitivement, nous pouvons concevoir deux manipulations possibles qui permettraient de déterminer la cause du bris de la fenêtre, soit des manipulations des valeurs de P ou des valeurs de Q . Quatre résultats sont envisageables : il est possible qu'une manipulation de P seule entraîne un changement de la valeur de Y , qu'une manipulation de Q seule entraîne un changement de la valeur de Y , ou qu'aucune manipulation conjointe. Une variable d'intervention I adéquate tenterait de changer la valeur des variables P et Q afin de déterminer quel changement aura lieu quant à la valeur de Y (si changement il y a). Soit les valeurs suivantes :

- (1) $P = p1$ lorsque le projectile P est projeté contre la fenêtre et $P = p2$ lorsque qu'il ne l'est pas.
- (2) $Q = q1$ lorsque le projectile Q est projeté contre la fenêtre et $Q = q2$ lorsque qu'il ne l'est pas.

(3) $Y = y1$ lorsque la vitre se brise et $Y = y2$ lorsque ce n'est pas le cas.

Une intervention I sur P de manière à faire passer la valeur de $P = p1$ à $P = p2$ tandis que les autres variables demeurent fixes où Y changerait de $Y = y1$ à $Y = y2$ satisferait les critères I1-I4 de même qu'une intervention sur W permettant de faire passer sa valeur de $W = w1$ à $W = w2$, tandis que les autres variables demeureraient fixes. Ainsi que nous l'avons écrit, pour chacune de ces interventions, les scénarios possibles incluent ceux où la valeur de Y changerait de $Y = y1$ à $Y = y2$, ainsi que ceux où la valeur de Y demeure inchangée.

L'une des caractéristiques distinctives des relations causales dans la perspective interventionniste est que celles-ci sont invariantes : elles demeurent stables sous certaines interventions actuelles ou hypothétiques¹⁶. L'invariance porte sur «*whether a relationship would remain stable if, perhaps contrary to actual fact, certain changes or interventions were to occur*» (Woodward 2000, 235). Tout énoncé, peu importe son degré de généralité, sera invariant sous certaines interventions.

Il est à noter que toutes les manipulations ne constitueront pas des interventions. Des considérations quant à la discipline ou au sujet détermineront souvent ce qui est considéré comme un changement de variable pertinent. Par exemple, la majorité des généralisations de l'économie ne tiendraient plus suite à une manipulation chirurgicale ou autre ayant pour but de modifier les processus neurologiques des agents que nous supposons rationnels. Néanmoins, les économistes n'abandonneraient pas pour autant leur

¹⁶ Woodward 2006 et 2009 utilise les termes robustesse, insensitivité et invariance de manière interchangeable. Toutefois, voir Woodward 2001.

pertinence et il est envisageable, selon Woodward d'accepter qu'il s'agit de généralisations invariantes sous certaines interventions (*ibid.*, 263).

Woodward insiste sur trois aspects : la relativité à un domaine d'invariance, le non-anthropocentrisme de l'intervention et le caractère contrefactuel des notions d'intervention et d'invariance. Ainsi, Woodward affirme que la notion d'intervention, même lorsqu'elle ne semble pas *a priori* vraisemblable, demeure heuristiquement utile en tant que contrainte permettant de clarifier ou de rendre intelligibles les contrefactuels qui correspondent à nos intérêts causaux. Les variables se doivent d'être bien définies afin d'être en mesure de concevoir au moins hypothétiquement d'une intervention qui permettrait d'en changer les valeurs (Woodward 2003, 114). Ce qui compte n'est pas la possibilité qu'une manipulation des valeurs ait lieu concrètement, mais plutôt qu'il nous soit possible de concevoir des circonstances et conditions hypothétiques à une intervention comprise de manière contrefactuelle.

The sorts of counterfactuals that cannot be legitimately used to elucidate the meaning of causal claims will be those for which we cannot coherently describe what it would be like for the relevant intervention to occur at all or for which there is no conceivable basis for assessing claims about what would happen under such interventions because we have no basis for disentangling, even conceptually, the effects of changing the cause variable alone from the effects of other sorts of changes that accompany changes in the cause variable (*ibid.*, 132).

Par exemple, une étude sociologique sur la discrimination raciale ne pourrait utiliser la race comme variable puisque nous pouvons difficilement concevoir d'une intervention qui changerait la valeur d'une telle variable (c.-à-d. par exemple comment changer notre

groupe ethnique). Il est toutefois relativement aisé de manipuler la *perception* que les personnes en position de discriminer auraient de la race (Woodward 2003, 116). Un design expérimental pourrait ainsi inclure des formulaires à compétences égales¹⁷. Il suffirait sans doute de modifier des formulaires d'embauche (ou autre document tel qu'un curriculum vitae) de façon à refléter des origines raciales ou géographiques différentes pour des profils qui seraient à tout autre niveau rigoureusement identiques.

À l'intérieur de leurs domaines d'invariance, ces généralisations décrivent des relations qui sont potentiellement exploitables à des fins de manipulation et contrôle (Woodward 2000, 217). Selon Woodward, même certaines lois de la physique ne sont plus valables hors d'un domaine donné (Woodward 2000, 227 ; voir aussi Woodward 2003, 286)¹⁸. Il doit être noté que la question de l'invariance d'une relation est indépendante de la question du statut nomique de celle-ci. Certaines relations peuvent être décrites par des généralisations invariantes, mais ne seraient pas comprises comme lois. À l'opposé, Woodward insiste sur le fait que certaines lois ne sont pas nécessairement invariantes (Woodward 2003, 266) ou alors ne sont qu'invariantes relativement à des domaines d'interventions importants comme c'est le cas pour certaines lois de la physique.

Par exemple, Woodward juge certaines lois invariantes relativement à un domaine d'invariance limité, par exemple la loi de Hooke telle qu'appliquée à un ressort. À l'inverse, certaines lois de la physique sont maximalelement invariantes et ne sont pas

¹⁷ Mise en pratique par Morgan 2007 voir ch. 8.

¹⁸ Woodward s'efforce de démontrer que même les lois de la physique ne sont plus valables à de très petites échelles (c.à-d. longueur de Planck).

productives de changements (au sens où il est difficile de concevoir d'un changement des valeurs d'une variable de cette relation) et en ce sens, la loi n'est pas invariante et donc n'est pas explicative (Woodward 2000, 223). Finalement, Woodward admet que l'invariance est une question de degrés et que «(...) *generalizations that are invariant under a larger and more important set of changes often can be used to provide better explanations*» (*ibid.*, 214).

2.5 Conception interventionniste du mécanisme

Woodward propose deux exemples afin d'illustrer explicitement sa conception du mécanisme comme ensemble organisé de parties ou composantes, aux comportements rendus intelligibles par des généralisations invariantes sous certaines interventions. Un premier exemple tiré de la physique est celui d'un bloc sur un plan incliné (Woodward 2002, 367). Un deuxième exemple, tiré de la biologie, est celui de la modélisation de l'opéron lactose offerte par Jacob et Monod.

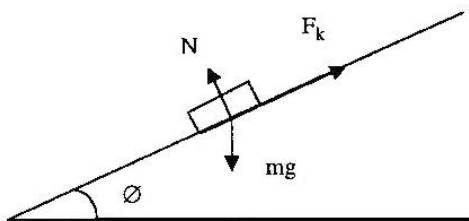


Figure 2.5.1

Dans le premier exemple, un bloc est posé sur un plan incliné de telle sorte que le glissement du bloc vers le bas se conforme à deux forces : la force gravitationnelle et une force de friction du bloc contre la surface du plan incliné (figure 2.5.1, reproduite de Woodward 2002, 367 et 2003, 48). La force de frottement F_k se conforme à la relation :

$$F_k = \mu_k N$$

où μ_k est le coefficient de frottement cinétique et N est la force normale, exercée perpendiculairement à la direction du mouvement du bloc. Tel qu'illustré par la figure 2.5.1, il est possible d'exhiber les parties ou composantes comme la force gravitationnelle due au poids du bloc sur le plan incliné qui correspond à $mg \sin \vartheta$, aussi la force normale $N = mg \cos \vartheta$ et ainsi, la force de frottement F_k qui obéit à la relation :

$$F_k = \mu_k mg \cos \vartheta.$$

La force nette sur le bloc sur le plan incliné correspond à :

$$F_{\text{nette}} = mg \sin \vartheta - mg \cos \vartheta$$

Finalement l'accélération A du bloc concorde avec :

$$A = g \sin \vartheta - g \cos \vartheta.$$

Nous pouvons presque instantanément concevoir des interventions possibles sur certaines parties du mécanisme. Par exemple, changer la valeur de l'inclinaison ϑ du plan changerait la valeur de l'accélération A . Dans un même ordre d'idée, changer la valeur de la force gravitationnelle (constante mg) changerait à la fois les valeurs de A et de N , et ainsi de suite.

Ensuite, Woodward s'attarde sur le modèle de l'opéron lac de la bactérie *E. coli* articulé par Jacob et Monod en tant qu'exemple d'un mécanisme biologique¹⁹. Dans ce cas-ci, l'opéron sert à transporter et à métaboliser le lactose : lorsque le lactose est présent dans l'environnement, *E. coli* produit des enzymes afin de le métaboliser en glucose ; à l'opposé, lorsque le lactose est absent, un gène régulateur est activé qui produit une protéine de répression et empêche l'expression de ces gènes structurels. Il s'agit-là d'une illustration d'un mécanisme biologique par lequel il est encore une fois possible de constater comment une intervention sur la variable lactose {*présent, absent*} serait causalement liée à l'expression des gènes (Woodward 2002, 372).

En plus de pouvoir être décomposé en généralisations qui demeurent invariantes sous certaines interventions, ces deux mécanismes remplissent la condition de Woodward selon laquelle les comportements des parties de mécanismes devraient être modulaires au sens où « (...) *the components of a mechanism should be independent in the sense that it should be possible in principle to intervene to change or interfere with the behavior of one component without necessarily interfering with the behavior of others* » (*ibid.*, 374).

2.6 Valeur de l'approche interventionniste du mécanisme

L'apport de l'approche interventionniste de Woodward peut difficilement être occulté. Bien entendu, les notions d'invariance et d'interventions ont été plus ou moins intégralement adoptées par plusieurs philosophes, mais il faut surtout reconnaître

¹⁹ Un opéron est un groupement de gènes et de séquences régulatrices du génome où les gènes concourent à la réalisation d'une même fonction physiologique et sont transcrits ensemble.

l'importance d'une intuition où le changement de valeur d'une variable est compris comme lien causal: c'est une intuition qui servira bien une interprétation mécaniste de la sélection naturelle. Toutefois, Woodward n'opère aucune distinction forte entre des processus causaux et des mécanismes. Sous cet angle, la démarche de Woodward n'est d'aucune utilité à clarifier le flou conceptuel.

Peut-être cette absence de distinction est-elle liée à la démarche de Stuart Glennan, l'une des premières personnes à avoir intégré plusieurs éléments de la théorie de Woodward à une conception de ce qu'est un mécanisme (Glennan 2002, 344). Il faut préciser que la démarche de Glennan diffère de celle de Woodward, puisque le premier conçoit le mécanisme comme une manière de rendre compte de la nature de la causalité même en distinguant la nécessité de certaines 'lois' de certaines autres généralisations (Glennan 1996, 55). Tout lien causal suppose l'existence d'un mécanisme: «(...) *a relation between two events (other than fundamental physical events) is causal when and only when these events are connected in the appropriate way by a mechanism*» (*ibid.*, 56).

Glennan définit ce qu'est un mécanisme ainsi: «(...) *A mechanism underlying a behavior is a complex system which produces that behavior by the interaction of a number of parts according to direct causal laws*» (Glennan 1996, 52). Dans ses articles subséquents, le rôle attribué aux lois à l'intérieur du mécanisme a été éventuellement remplacé par des généralisations invariantes sous interventions (Glennan 2002, 344)²⁰. Il

²⁰ Glennan lui-même explicite la motivation derrière ce glissement vers une perspective définitivement interventionniste «*In earlier papers (Glennan 1992, 1996) I have called generalizations describing interactions between parts "laws." I did so with the caveat that these laws must be understood in a more*

n'est toutefois pas clair que Glennan ne persiste pas à distinguer les lois qu'il juge mécaniques des lois qu'il juge fondamentales. Ainsi, il écrit initialement que : « *There is an important class of laws that are not mechanically explicable - fundamental laws. The essential feature of fundamental laws is that they are taken to represent facts about which no further explanation* » (Glennan 1996, 61). Il précisera cependant plus tard :

Mendel's laws describe aspects of the behavior of mechanisms that transmit genetic material; Kepler's laws describe aspects of the behavior of gravitational mechanisms, and so on. Laws of this kind I call mechanically explicable laws. While most laws are mechanically explicable, inevitably there must be some laws that are not. (Glennan 2002, 348).

Il s'agit-là d'une distinction importante face à l'attitude que préconise Woodward. De plus, étant donné que Glennan veut établir une théorie du mécanisme comme fondement de sa théorie de la causalité, il conçoit que sa notion de mécanisme devrait être applicable «(...) *equally to chemical, biological, psychological and other higher level mechanisms*» puisqu'il voudrait pouvoir rendre compte de la causalité (Glennan 1996, 61). Néanmoins, comme les grandes lignes de l'analyse offerte aux notions d'invariance, d'intervention et de modularité s'appliquent aussi bien à la conception du mécanisme de Woodward qu'à celle défendue par Glennan²¹, les approches seront traitées conjointement au chapitre 4, nonobstant leurs motivations métaphysiques distinctes.

homely way than philosophers typically understand them. Woodward and others have convinced me that, given that many philosophers think laws must be exceptionless, my use of the term "law" was liable to lead to misunderstanding (...)» (Glennan 2002, 345).

²¹ Glennan endosse une certaine forme de modularité des parties du mécanisme même préalablement à son

2.7 Conclusion

L'approche préconisée par Woodward a le double avantage de mettre fin à la fausse dichotomie entre *lois de la nature* (habituellement comprises comme celles auxquelles il nous est possible d'accéder en physique) et *généralisations accidentelles*. Toute généralisation invariante sous certaines interventions *aura une certaine valeur explicative*. Une interprétation mécaniste de la sélection naturelle n'aura qu'à illustrer quelles sont les variables présentes au sein d'une généralisation invariante sous certaines interventions (généralisations invariantes que seront plusieurs mécanismes évolutionnaires).

L'utilisation du terme *mécanisme* pourrait ici sembler problématique, étant donné que nulle part dans sa démarche Woodward ne procède à quelque distinction entre *ensembles de causes* et *mécanisme qua mécanisme*. Woodward se penche explicitement sur ce qu'il conçoit être les éléments constitutifs de ce qu'est un mécanisme (Woodward 2002), mais ces éléments constitutifs (invariance sous certaines interventions, modularité, manipulabilité, identification de variables et de leurs valeurs) sont également les éléments constitutifs d'autres ensembles causaux.

Il est toutefois difficile de mettre l'approche interventionniste de côté. D'abord, tous les auteurs ayant fait usage de l'approche interventionniste n'adoptent pas l'ensemble des présupposés métaphysiques. Ensuite, il est possible qu'envisager un mécanisme comme composé de relations invariantes sous interventions fasse au moins partie des conditions

intégration de l'invariance : « *It should in principle be possible to take the part out of the mechanism and consider its properties in another context (...)* » (Glennan 1996, 52).

nécessaires d'une caractérisation adéquate, sans toutefois être une condition suffisante. Ce sont ces autres conditions à une caractérisation adéquate de ce qui constitue un mécanisme qu'il nous faut désormais identifier.

Chapitre 3: Deux conceptions alternatives du mécanisme.

3.1. Introduction

Ce chapitre porte sur ces deux conceptions alternatives du mécanisme, soit celle proposée conjointement ou séparément par Peter Machamer, Lindley Darden et Carl Craver (ci-après MDC), ainsi que celle défendue par William Bechtel. Ces deux conceptions sont réunies d'abord parce qu'elles se rejoignent sur plusieurs points importants, comme nous le verrons sous peu, et ensuite parce qu'elles diffèrent fondamentalement de la conception du mécanisme de James Woodward, adoptée plus ou moins intégralement par Stuart Glennan.

Les conceptions du mécanisme défendues par MDC et Bechtel se rejoignent en ce qu'elles s'inscrivent dans des projets restreints d'explications scientifiques. Le rôle du mécanisme au sein des explications offertes en neurobiologie chez MDC (MDC 2000, 13) et celles des sciences cognitives chez Bechtel (Bechtel 2008). Les conceptions de Bechtel et MDC n'ont en ce sens pas les mêmes visées métaphysiques que les approches défendues par Woodward et Glennan. Il s'agit de programmes de recherches sur l'épistémologie des mécanismes *qua* mécanismes, par opposition aux programmes de recherches sur la causalité et l'explication (programmes de recherche où le mécanisme est intégré après le fait).

Deuxièmement, les conceptions défendues par Bechtel et MDC sont caractérisées par les aspects suivant: les composantes ou constituantes du mécanisme, les comportements ou procédés du mécanisme et l'organisation qui permet à ceux-ci d'engendrer un output.

Ces caractéristiques seront abordées de manière plus précise, mais il est à noter que ces caractéristiques seront différenciées de l'approche interventionniste qui s'articulait en termes de variables (et des valeurs que pouvaient prendre ces variables).

Dernièrement, les conceptions du mécanisme de Bechtel et MDC procèdent toutes deux à une distinction entre mécanismes à proprement parler, et chaînes causales, distinction qui n'est pas apparente dans l'approche interventionniste. «*There is a fundamental difference between explaining a phenomenon by identifying the responsible causal factors and explaining the coordinated operations within the system that enable it to respond in that way*» (Bechtel 2008, 13). Ces points de rapprochement n'empêchent pas l'existence de plusieurs nuances sur lesquelles les auteurs ont mis l'accent, mais elles justifient leur incorporation au sein d'un même chapitre.

Le chapitre illustrera d'abord en section 3.2 la conception du mécanisme offerte par MDC. Nous considérerons ensuite à la section 3.3 comment les mécanismes peuvent être identifiés et modélisés dans cette perspective. Aux sections 3.4 et 3.5, nous nous pencherons sur la conception du mécanisme défendue par William Bechtel ainsi que sur la manière par laquelle des mécanismes sont identifiés et utilisés au sein d'explications.

3.2. Le mécanisme selon Machamer, Darden, Craver

MDC proposent une conception du mécanisme où «*(...) mechanisms are entities and activities organized such that they are productive of regular changes from start or set-up to finish or termination condition*» (MDC 2000, 3). Lindley Darden, l'une des membres du

collectif, prend bien soin de préciser qu'il ne s'agit-là que d'une caractérisation de ce qui constitue un mécanisme et non pas d'une définition de ce qu'est un mécanisme (Darden 2008, 960), où la définition fournirait les conditions nécessaires et suffisantes de l'usage du terme. Cette caractérisation comporte les notions d'entités, d'activités, de production, d'organisation, de régularité ainsi que de conditions initiales et terminales. Ce sont-là les notions sur lesquelles porte cette première section.

Les mécanismes tels que les conçoivent MDC sont composés à la fois d'entités et d'activités où entités et activités ont toutes deux un apport aussi important les unes que les autres. «*There are no activities without entities, and entities do not do anything without activities*» (MDC 2000, 8). Bien qu'aucune activité ne soit possible qui n'est l'activité d'une entité (*ibid.* 5), les auteurs remarquent que les activités demeurent centrales à une compréhension du mécanisme (*ibid.* 8-9).

(...) Entities having certain kinds of properties are necessary for the possibility of acting in certain specific ways, and certain kinds of activities are only possible when there are entities having certain kinds of properties. Entities and activities are correlatives. They are interdependent (MDC 2000, 6).

Les entités n'étant pas, par elles-mêmes, en mesure d'engendrer quelque effet, ce sont les activités qui peuvent être discernées comme l'élément causal d'un mécanisme (Craver 2001 58; MDC 2000, 6). Les activités sont: «*the things that entities do and the ways that the entities act and interact with one another*» (Craver 2009, 582). Par exemple, un mécanisme de la circulation sanguine serait composé d'entités (cœur, poumons, veines,

artères, valvules, etc.) ainsi que d'activités (pomper, filtrer, diriger) (Craver 2001, 59-60). Les activités d'un mécanisme ou d'une partie d'un mécanisme peuvent être l'activité d'une entité par elle-même, l'activité de deux ou plusieurs entités collectivement ou même l'activité d'un processus impliquant l'ensemble du mécanisme (Darden 2008, 964).

Les activités sont ainsi comprises autant comme ce que les entités *font* que ce que les entités *subissent* (Machamer 2004, 27)²². Si on considère le cas de la circulation sanguine, par exemple, le sang (*entité*) se déplace (*activité*) du cœur aux autres tissus, mais n'est pas responsable de son propre déplacement; il subit un mouvement qui lui est imposé (exemple inspiré de Craver 2001). Cette perspective des activités en tant que causes n'exigerait pourtant pas d'examen de la causalité en elle-même, à l'opposé des approches de Woodward et Glennan, où un examen de la causalité constituait le point de départ d'une conception du mécanisme. En ce sens, Darden écrit que sa conception de ce qu'est un mécanisme «(...) *has yet found little need for a general philosophical analysis of the problematic concept of cause*» (Darden 2006, 283). C'est également un point de vue partagé par Machamer qui propose l'analogie avec le terme 'organisme'. «*Just as one cannot have, or does not need, a theory of organism per se and tout court, equally one does not need a theory of cause*» (Machamer 2004, 27; italiques dans l'original).

²² Machamer se penche ici sur la critique de Tabery (2004) qui propose l'intégration des thèses d'*interaction* de Glennan et celle d'*activités* de MDC en soutenant qu'une caractérisation adéquate du mécanisme exige ces deux notions à la fois: «*there are no productive activities that are not also property-changing interactions*» (Tabery 2004, 9). Une caractérisation du mécanisme exigerait, selon lui, qu'il soit question d'*interactivité* (*ibid.* 12). Pour Machamer «*There is no dispute about interaction if the 'action' part is taken to refer to activities (...) and not as is usually done to refer to relations that exist among static states*» (Machamer 2004, 37 n4).

MDC insistent également sur la productivité des mécanismes. Il s'agit donc d'une conception fonctionnelle du mécanisme, où un mécanisme est nécessairement un mécanisme *pour* quelque chose et où les activités sont perçues comme les fonctions d'un mécanisme donné (MDC 2000, 6).

(...)It is common to speak of functions as properties "had by" entities (...) Functions, rather, should be understood in terms of the activities by virtue of which entities contribute to the workings of a mechanism (MDC 2000, 6).

L'accent est ici mis sur l'output, au sens où un mécanisme a *nécessairement* un résultat. «*Mechanisms do things*» (*ibid.*, 5) et ce résultat, qu'il s'agisse d'un changement d'état ou d'un changement des conditions de départ, constitue généralement un phénomène d'intérêt, point de départ à une étude du mécanisme (Darden 2008, 964). Ainsi, l'identification de mécanismes passe au moins en partie par l'identification de ces 'phénomènes d'intérêt', c'est-à-dire ce à quoi aboutissent ces mécanismes. Une description adéquate d'un mécanisme devrait rendre explicite le lien entre l'organisation du mécanisme et son effet, ou output: «(...) *Descriptions of mechanisms characterize how entities and activities are organized to do something* (Craver 2001, 58 italiques dans l'original).

Finalement, MDC insistent sur les concepts d'organisation et de régularité, concepts absents des approches interventionnistes préconisées par Woodward et Glennan²³. D'abord, il y a régularité au sens où, sauf anomalie, une attente existe quant au résultat d'un

²³ Glennan parle de configuration ou d'arrangement stable.

mécanisme. «*Mechanisms are regular in that they work always or for the most part in the same way under the same conditions (...)*» (MDC 2000, 3). En d'autres mots, exception faite de causes empêchant le déploiement normal des entités et/ou de leurs activités, un mécanisme devrait arriver à un output anticipé. Il est à noter que cette régularité, est nuancée par la possibilité de mécanismes stochastiques, qu'il s'agisse d'un mécanisme n'opérant qu'à une reprise ou de manière répétée, mais à intervalles irréguliers ou aléatoires (Darden 2008, 964).

En plus de la régularité, la perspective offerte par MDC stipule que le mécanisme est doté d'une organisation particulière, soit l'arrangement spatio-temporel des entités et activités qui le constituent. «*The components of mechanisms in contrast to those of mere aggregates, have an active organization; they act and interact with one another*» (Craver 2001, 59). Dans cette optique, les mêmes entités et activités réordonnées différemment produiront un mécanisme fort différent (*ibid.*, 60). Cette organisation est caractérisée par un passage à travers un certain nombre de stades: l'origine (*set-up condition*), le stade intermédiaire et les conditions terminales (MDC 2000, 11-12) où les activités d'un stade entraînent les activités de ce qui lui succède.

Understanding how a mechanism works is just understanding how one activity leads to the next through the spatial layout of the components and through their participation in a stereotyped temporal pattern of activities from beginning to end. This is what it means to say that a mechanism is "organized" (...) An analytic account for a mechanism is not just a list of entities and activities; it is a description of a mechanism. And that description involves, in addition to a list of entities and activities, a description of how they are organized together actively, spatially, and temporally (Craver 2001, 61)

Au-delà de ces exigences spatio-temporelles, l'organisation des mécanismes implique qu'ils peuvent être hiérarchisés en ce que MDC appellent *nested hierarchies* (MDC 2000, 13). En d'autres mots, les entités et activités contenues au sein d'un mécanisme sont potentiellement elles-mêmes des mécanismes (Craver 2001, 66). MDC identifient certains types d'activités qu'ils jugent terminales (*bottom-out activities*) (MDC 2000, 13); ces activités peuvent être rassemblées en géométrico-mécaniques, électrochimiques, énergétiques et électromagnétiques (*ibid.*, 14). Il est à noter qu'il s'agit-là des activités terminales associées à la neurobiologie moléculaire et, bien évidemment, que les activités jugées terminales varieront selon la discipline pour laquelle un mécanisme est étudié (*ibid.*, 22).

3.3. Modélisation et explication selon Machamer, Darden, Craver

MDC conçoivent les mécanismes comme jouant un rôle explicatif. «*Mechanisms are sought to explain how a phenomenon comes about or how some significant process works*» (MDC 2000, 2). Cette explication exige d'abord l'identification, puis l'étude et la description du mécanisme. Une modélisation adéquate d'un mécanisme devrait décrire un phénomène et retracer comment les entités et activités sont organisées de manière contiguë dans le temps et l'espace afin d'entraîner ce phénomène (Darden 2007, 142).

Il existe trois façons de décrire un mécanisme, soit de formuler une description constitutive, isolée ou contextuelle (Craver 2001, 60). La description constitutive se limite à décrire les activités et entités ainsi que leur organisation en vue de produire un phénomène

de manière analytique (*ibid.*, 62). La description contextuelle rend compte de la place du mécanisme en relation avec un autre niveau, par exemple en intégrant le mécanisme comme une partie d'un autre mécanisme (*ibid.*, 63). Ces différents niveaux ne doivent toutefois pas être pris comme renvoyant à des niveaux de la nature; un même mécanisme (et un même phénomène) peut être décrit par ces différentes perspectives (*ibid.*, 67). La description isolée, à l'opposé, fixe le mécanisme en imposant des frontières temporelles, spatiales bref, en ignorant le contexte au sein duquel ce mécanisme existe (*ibid.*, 64). Par exemple, le cœur au sein d'une explication mécaniste de la circulation sanguine peut être décrit de plusieurs façons : le cœur pompe le sang à travers le système circulatoire, distribue l'oxygène et les calories à l'ensemble du corps, se contracte etc. (*ibid.*, 64). Toutes ces descriptions exigent de tenir compte d'autres entités; ce sont des fonctions que le cœur ne peut assurer pris individuellement (le cœur ne peut faire circuler le sang sans le sang, ni distribuer les calories sans calories, etc.).

In it is possible to describe an item's activity in three distinct ways, depending on how one looks at it with respect to a hierarchy of mechanisms. Ignoring its context, one can describe [it] in isolation. Looking down to lower-level mechanisms, the activity is described constitutively. And looking up to higher-level mechanisms the activity is described contextually (Craver 2001, 65).

Une description d'un mécanisme exige cependant l'identification de ce mécanisme. Tel que noté, l'identification passe d'abord par un phénomène d'intérêt. La recherche du mécanisme qui explique le phénomène d'intérêt est en quelque sorte la recherche des causes

de ce phénomène: «*Uncovering mechanisms is a process of learning about causes. Particularly, discovering activities, the 'doing' or productive parts of mechanisms, is the finding of causes*» (Machamer 2004, 28). Les entités et activités qui sont associées à un phénomène d'intérêt dépendront des intérêts théoriques des chercheurs (MDC 2000, 13) ainsi que des activités terminales qui sont jugées pertinentes (Darden 2008, 960).

En effet, chaque discipline présuppose certaines notions de base au sujet des entités dont sont composés les mécanismes ainsi que des activités qu'elles rendent possibles (Darden 2006, 51-56). Par exemple, MDC s'intéressent particulièrement aux mécanismes tels qu'utilisés par la neurobiologie. Ils notent, avec raison, que les chercheurs au sein de cette discipline n'approfondissent généralement pas leurs explications de la neurotransmission jusqu'au niveau des liaisons chimiques entre deux protéines ou encore au niveau quantique (MDC 2000, 13). En ce sens, le phénomène d'intérêt, ainsi que la reconnaissance des activités et entités derrière ce phénomène, dépendent en partie du domaine ainsi que du focus des scientifiques (Darden 2008, 960).

In an ongoing series or cycles of mechanisms, with nested levels of mechanisms, exactly where investigators choose to focus may well be influenced by their interests, as well as their available model experimental systems and techniques (Darden 2008, 960).

Ce constat n'entraîne toutefois pas une modélisation radicalement arbitraire des mécanismes puisque plusieurs éléments en contraignent l'adéquation. D'une part, les descriptions de mécanismes supposent des activités terminales relativement non-

problématiques, ou qui ne requièrent pas d'explication additionnelle au sein d'une communauté scientifique (MDC 2000, 22). Ensuite, certains mécanismes, ou parties de mécanismes, n'opèrent qu'à l'intérieur de frontières naturelles, par exemple la membrane cellulaire (Darden 2008, 960). Finalement, certaines activités de mécanismes nécessitent des entités de tailles, de formes ou de positions particulières (*ibid.*, 961)²⁴.

L'étude d'un mécanisme commence par une ébauche schématique des entités et activités qui le composent. Ces ébauches, aussi appelées *schémas* des mécanismes, sont des descriptions plus ou moins complètes où plusieurs différentes représentations d'un même mécanisme peuvent rendre compte d'un phénomène (MDC 2000, 16). «*Mechanism schemata, as well as descriptions of particular mechanisms (...) are discovered, evaluated, and revised in cycles as science proceeds*» (*ibid.*, 16-17). Les schémas sont par contre associés à des démarches concrètes des chercheurs, servant entre autres à des fins d'explication, de prédiction et de design expérimental (*ibid.*, 17) par opposition aux *esquisses* de mécanismes (*mechanism sketch*) qui se distinguent des schémas par l'absence de certaines des parties, de lacunes dans la continuité productive (le passage d'un stade du mécanisme à un autre) (*ibid.*, 18)

A mechanism schema is a truncated abstract description of a mechanism that can be filled with more with more specific descriptions of component entities and activities. (...) In contrast, a mechanism sketch cannot (yet) be instantiated. Components are (yet) unknown (Darden 2008, 966).

²⁴ Craver 2009 s'est penché sur le problème de l'abstraction en lien avec la possibilité que des mécanismes soient des *natural kinds* (voir particulièrement pp. 584-589).

Par conséquent, trouver de quelle façon une entité s'intègre à un mécanisme constitue une percée scientifique importante. Il s'agit en quelque sorte d'identifier le rôle joué par cette entité, sa contribution à l'ensemble du mécanisme (Craver 2001, 62), où le rôle doit être compris de manière fonctionnelle (*ibid.*, 67)²⁵. Trois stratégies guident cette démarche : l'instanciation schématique (*schema instantiation*), la décomposition modulaire (*modular subassembly*) et les raisonnements quant aux chaînes causales en amont ou en aval (*forward / backward chaining*) (Darden 2002, 355).

L'instanciation schématique se veut le passage d'un schéma à une reproduction plus tangible du mécanisme. Les représentations schématiques des mécanismes sont en ce sens des descriptions plus ou moins détaillées, qui permettent de remarquer leurs fonctionnements en démontrant «(...) *with more or less detail, how the mechanism operates to produce the phenomenon in a productively continuous way*» (Darden 2008, 966). Les sources des schémas incluent les analogies tirées de l'histoire des sciences, la mathématisation, ainsi que l'attribution de rôles hypothétiques aux entités ou activités (Darden 2002, 360). La décomposition modulaire, quant à elle, réfère à la découverte d'entités et d'activités, organisées en modules plus ou moins autonomes (*ibid.*, 355). Les

²⁵ Craver insiste entre autres qu'il est préférable de concevoir la fonction d'un mécanisme ou d'une partie d'un mécanisme indépendamment de sa nature adaptative ou non-adaptative : «(...) *my account of mechanistic role functions does not appeal to any sense of adaptiveness in an environment; instead it appeals only to roles in contextual systems. These contextual systems may be adaptive or destructive and they need not even be the kinds of systems for which talk of adaptation is appropriate. Heart disease, high blood pressure, cardiac arrhythmia and arterial hardening all have mechanisms that span multiple levels, and this three-tiered perspective is as useful in those contexts as in those that are adaptive* (Craver 2001, 67); voir les sections 3.5 et 4.2 du présent mémoire.

raisonnements quant aux chaînes causales au sein d'un mécanisme sont une méthode permettant de conjecturer des parties d'un mécanisme en utilisant des parties connues comme point de départ. Raisonner sur les chaînes causales en amont (*forward chaining*) permet des conjectures quant aux stades subséquents d'un mécanisme, alors que raisonner sur les chaînes causales en aval (*backward chaining*), part d'entités et d'activités de stades ultérieurs afin d'identifier les entités et activités des stades initiaux «*Forward chaining uses the early stages of a mechanism to reason about the types of entities and activities that are likely to be found in later stages. Backward chaining reasons from the entities and activities in later stages in a mechanism to find entities and activities appearing earlier*» (Darden 2006, 287).

L'étude des mécanismes procède ainsi d'esquisses, à des schémas de plus en plus raffinés, à l'instanciation de ces mécanismes (Darden 2008, 967). Il convient de préciser que la modélisation des mécanismes ne se limite pas à une de ces étapes. «*'Model' in this sense may refer to any of the three terms discussed: a mechanism 'schema,' an 'instantiation' of a mechanism schema, or a 'sketch'*» (Darden 2007, 144).

Au sujet de la modélisation du mécanisme, il est intéressant de noter qu'au moins un membre du collectif MDC, Carl Craver, accepte explicitement le programme de recherche avancé par Woodward (Craver 2006, 372). Comme le suggère Woodward dans *Making Things Happen*, il est d'une part possible et d'autre part désirable de tester empiriquement un mécanisme hypothétique (*ibid.*, 358). Un test de cette nature comprendra un dispositif expérimental comportant le mécanisme, une intervention (comprise au sens *woodwardien*

du terme) sur ce mécanisme ou une partie de ce mécanisme, ainsi qu'une méthode de détection des changements au sein du mécanisme (Craver 2002, 91).

Trois modes d'interventions permettent des tests de la sorte soit l'activation, la modification par interférence ou la modification par addition des mécanismes. L'activation du mécanisme consiste simplement à rendre le mécanisme effectif pour ensuite déceler son output, par exemple en mesurant l'activité cérébrale de rats pendant qu'ils parcourent un labyrinthe pour activer le mécanisme de la mémoire spatiale (*ibid.*, 93). Les deux types de modifications requièrent une anomalie quant au fonctionnement d'un mécanisme. L'intervention modifie alors la valeur d'une variable (partie du mécanisme) soit en la détériorant pour ainsi diagnostiquer l'interruption du mécanisme, soit en l'augmentant ou en la stimulant (*ibid.*, 94). Ce serait par exemple le cas si l'expression d'un groupe de gènes était excitée ou enrayée.

3.4 Le mécanisme selon William Bechtel

Parallèlement à MDC, William Bechtel s'est penché au cours des deux dernières décennies sur la notion de mécanisme. Dans sa formulation la plus récente²⁶, il offre une conception du mécanisme selon laquelle «(...) *a mechanism is a structure performing a function in virtue of its component parts, component operations and their organization. The orchestrated function of the mechanism is responsible for one or more phenomena (...)*»

²⁶ Une formulation précédente concevait le mécanisme comme: «*a number of parts performing different activities and interacting with one another to produce the particular outputs of the system that are of interest*» (Bechtel 1995, 141), formulation qui illustre bien les liens entre les deux démarches.

(Bechtel 2008, 13; Bechtel & Abrahamsen 2005, 423). Cette caractérisation du mécanisme partage avec celle défendue par MDC quelques points importants: nonobstant leurs choix terminologiques, les deux approches conçoivent le mécanisme comme causal, productif, organisé, et multiniveau²⁷.

Certes les notions-clés défendues par Bechtel sont les parties et opérations, ce que Bechtel qualifie de *component parts*, *component operations* (Bechtel 2008, 14) en lieu et place d'entités et d'activités. Cependant, l'accent est mis sur des composantes qui doivent être considérées en tant que parties *et* opérations (*ibid.*, 18) le but étant de lier les parties et opérations les unes aux autres (Bechtel & Abrahamsen 2005, 430). Les parties d'un mécanisme sont celles qui jouent un rôle dans la production d'un phénomène. «*Parts of mechanisms are not just any physically separable part of a mechanism (...) rather, they are working parts, parts involved in the operations*» (Bechtel 2008, 14). En ce sens, le mécanisme est peut-être une structure, mais rien n'exige qu'il s'agisse d'une structure matérielle, ou physique. Bechtel préfère le terme *opération* au terme *activité* parce que pour toute partie active, qui initie ou continue une opération, il y a communément une partie passive, qui est l'objet de cette opération et qui est changée par celle-ci (*acted upon*). Les changements peuvent être changement d'emplacement, de composition ou toute autre propriété des parties composantes d'un mécanisme.

²⁷ Bechtel lui-même commente les différentes conceptions du mécanisme en écrivant «*[they] overlap in some important respects but also vary in terminology, scope, and emphasis (..)*» (Bechtel & Abrahamsen 2005, 422). Voir section 4.2.

By parts I designate the structural components of a mechanism whereas by operations I refer to processes or changes involving the parts. I use the term operation to emphasize that in each operation not only is something performing an operation but something is operated on (Bechtel 2008, 14).

Par exemple, le mécanisme de la transmission synaptique (transmission chimique d'un neurone à l'autre) semble tenir compte des réceptacles avec, entre autres exemples d'activités, le transport, l'insertion et le recyclage.. En effet, toutes ces activités présupposent un côté actif ainsi qu'un côté passif (dans ce cas un transporteur et ce qui est transporté) (Bechtel 2008, 18)²⁸.

De plus, le mécanisme est caractérisé comme causal et productif, où l'output est associé à la *fonction* de ce mécanisme. En effet, Bechtel, tout comme MDC, insiste sur la productivité du mécanisme: «(...) *mechanisms are identified in terms of the phenomena for which they are responsible*» (Bechtel 2008, 13). La compréhension d'un mécanisme implique d'abord un output, activité ou changement qui sont compris comme phénomènes d'intérêt (*ibid.*, 20) et où l'identification des parties et opérations du mécanisme suit l'identification du phénomène. «*Before it is possible to develop a mechanistic explanation of how a system performs some function, it is necessary to identify what functions are performed*» (Bechtel & Richardson 1993, 35).

Ensuite, le mécanisme est organisé de manière à rendre intelligible de quelle façon les composantes et leurs opérations permettent d'en arriver à un résultat. «*One reason organization is important is that the functioning of the mechanism requires the different*

²⁸ Cette question est également abordée par Tabery (2004).

operations to be linked to one another» (Bechtel 2008, 17). La complexité des mécanismes émerge de leur agencement particulier (*ibid.*, 2). C'est l'organisation des parties et des opérations qui distingue un ensemble quelconque d'un tout identifié en tant que mécanisme, puisque les parties prises isolément n'entraînent pas l'output du mécanisme (Craver & Bechtel 2007, 548). Ainsi, il n'est pas suffisant d'avoir identifié l'ensemble des parties et des opérations qui composent un mécanisme afin d'en rendre compte. Il faut également élucider de quelle manière ces parties et opérations sont liées les unes aux autres (Bechtel & Abrahamsen 2005, 430).

Il y a plusieurs niveaux à l'organisation d'un mécanisme, les parties d'un mécanisme étant à un niveau inférieur tandis que le mécanisme en lui-même, comme un tout interagit à un niveau supérieur.

The account of the mechanism straddles two levels of organization (that of the mechanism and that of its component parts and operations). It involves showing how the mechanism, when situated in appropriate contexts, performs its function *as a result of the organized set of operations performed by its parts* (Bechtel 2008, 22 italiques ajoutés).

Comme au sein de la caractérisation de MDC, ce constat entraîne une dernière facette de la conception défendue par Bechtel, soit que les mécanismes sont *hiérarchisés*, au sens où une partie d'un mécanisme peut elle-même être un mécanisme (et vice-versa, un mécanisme étant souvent partie intégrante d'un autre mécanisme à un niveau supérieur) (Bechtel & Abrahamsen 2005, 424). Cette perspective s'accorde avec celle de MDC, et explique comment l'organisation des parties et des opérations engendre de nouvelles

propriétés ou changements d'états (Craver & Bechtel 2007, 551). Bechtel distingue donc les relations causales intraniveau, c'est-à-dire les opérations qui ont lieu au sein (et composent) un mécanisme, des relations interniveau, soit celles entre un mécanisme et un autre mécanisme dont le premier est une composante (*ibid.*, 561). Afin de différencier l'opération d'une partie du mécanisme du résultat du mécanisme lui-même, des termes distincts sont parfois offerts afin de différencier plusieurs phénomènes d'intérêt. «*Thus, the respiratory system catabolizes glucose to carbon dioxide and water, whereas a given enzyme catalyzes a reaction. There are contexts in which scientists use the same term to describe what the mechanism does and what a part of it does*» (Bechtel 2008, 146).

Bechtel insiste sur deux autres éléments reliés à sa conception des mécanismes. Le premier élément est la distinction qu'il effectue entre le mécanisme et les conditions externes, le contexte auquel répond le mécanisme. «*A mechanism is always contextually situated. It functions in an environment, and its behavior is often altered by conditions in the environment*» (Bechtel 2008, 17). Un deuxième élément sur lequel Bechtel insiste est la nature auto-organisée des mécanismes biologiques. Ces derniers sont intrinsèquement actifs et réactifs (Bechtel 2008, 221)²⁹. Ceci s'avère particulièrement vrai des mécanismes biologiques. «*Biological mechanisms are not just organized parts and operations that are responsible for a phenomenon, but are constituents of organisms and are regulated by the organisms in which they exist*» (*ibid.*, 225). En effet, Bechtel opère une distinction entre les mécanismes biologiques et les mécanismes conçus par l'humain, où les premiers font

²⁹ Il ne faut pas confondre le caractère actif du mécanisme à sa composition (un mécanisme comme un tout actif doit être distingué de l'ensemble des activités ou opérations qui le composent).

preuve d'une autonomie relative (Bechtel & Abrahamsen 2005, 424). «*We build machines to perform work we seek to have done and ensure they have the necessary energy. But the first target of work for a living organism, unlike a machine, is to maintain itself*» (Bechtel 2008, 215).

Cette distinction est liée avec ce que Bechtel conçoit comme des mécanismes actifs qui sont parties intégrantes d'agents autonomes adaptés (*autonomous adaptive agents*) (*ibid.*, 212-215). Les notions d'auto-organisation des mécanismes, ainsi que d'agent, doivent être comprises au sens large. L'auto-organisation implique que les mécanismes biologiques ne peuvent demeurer passifs et implique une participation active à un maintien homéostatique (*ibid.*, 218)³⁰. Bechtel prend soin de distinguer l'auto-organisation, qu'il offre comme une sorte d'autonomie, d'une téléologie forte.

One of the important features that arises with a basic autonomous system is a naturalized sense of teleology –operations are functional for an autonomous system if they contribute to the system's maintaining itself (...) The idea is that if a current entity with a specific trait exists because an ancestor was selected to reproduce as a result of having that trait, then the function of the trait is set by the forces operative on the ancestor (...) The trait does not have the goal or purpose in itself, but only in light of its history (Bechtel 2008, 222-223).

L'agent, quant à lui, implique minimalement une réaction vis-à-vis des conditions externes changeantes. Ainsi, Bechtel offre le cas paradigmatique du modèle de l'opéron lac permettant à des bactéries de métaboliser le lactose afin de profiter de sa présence dans

³⁰ Voir section 3.3, note 4 pour le commentaire de Craver sur cet aspect.

l'environnement. Cet exemple permettrait à la fois d'illustrer une instance d'auto-organisation, et 'd'agent'. «*Such a bacterium is thus an autonomous adaptive agent; it functions in the environment in an adaptive fashion to promote its own existence*» ((*ibid.*, 224; italiques dans l'original). Il s'agit d'un mécanisme, mais d'une sorte de mécanisme en mesure de réagir à des conditions variées et changeantes.

3.5 Identification et modélisation des mécanismes chez William Bechtel

La démarche que préconise Bechtel quant à l'identification et l'investigation des mécanismes est semblable à celle de MDC en plusieurs points. D'abord, Bechtel associe le rôle des mécanismes à l'explication, particulièrement à l'explication scientifique des phénomènes mentaux (Bechtel 2008, 23). Cette approche s'apparente à celle de MDC, où le mécanisme était lié aux explications de la neurobiologie, comme alternative aux explications faisant appel à des lois. Bechtel note en effet que le cadre nomologique ne correspond guère aux pratiques des chercheurs en biologie «*In biology, identifying phenomena precedes and invites explaining them (...) That is, biologists explain why by explaining how* (Bechtel & Abrahamsen 2005, 422 italiques dans l'original).

Bechtel s'oppose toutefois à l'identification du mécanisme en tant qu'explication en soi. «*The problem (...) is that mechanisms do not explain themselves. They are operative in the world whether or not there are any scientists engaged in offering explanations*» (Bechtel 2008, 18). Il distingue ainsi le rôle du mécanisme au sein d'une explication, du mécanisme à proprement parler. L'explication est une activité épistémique (*ibid.*, 21) où les

représentations des mécanismes servent à expliquer, mais où ces représentations peuvent s'avérer erronées (*ibid.*, 19)

Thus, since explanation is itself an epistemic activity, what figures in it are not the mechanisms in the world, but representations of them (...). Generically, one can refer to these internal and external representations as *models* of the mechanism (Bechtel & Abrahamsen 2005, 425).

Ces représentations, ou modèles, sont porteurs d'explications, ce indépendamment de leur exactitude vis-à-vis du mécanisme *in natura*. Elles débutent par l'identification d'un phénomène d'intérêt. «*First, mechanisms are identified in terms of the phenomena for which they are responsible*» (Bechtel 2008, 13). Bechtel, tout comme Lindley Darden, postule ce point de départ à toute identification d'un mécanisme. Cela ne veut toutefois pas dire que les chercheurs appréhendent correctement l'output du mécanisme préalablement à quelque étude de ce mécanisme.

Sometimes [investigators] will arrive at the characterization of the phenomenon itself only as they investigate the mechanism and will revise their characterization of the phenomenon as they develop a better understanding of the internal operation of the mechanism (Bechtel and Richardson, 1993, refer to this as *reconstituting the phenomenon*) (Bechtel 2008, 14).

Cette *reconstitution du phénomène* permet d'arriver à une nouvelle compréhension au fur et à mesure que les détails de chacune des composantes (parties et opérations) sont restitués. Deux stratégies guident la reconstitution du phénomène: la *localisation* et la

décomposition. La localisation suppose l'association d'opérations à une ou plusieurs parties (Bechtel & Richardson 1993, 24). «*To localize an operation is to assign it to a specific part*» (Bechtel, 2008, 14). La décomposition suppose la division du mécanisme en unités distinctes (Bechtel 1995, 141; Bechtel 2008, 14). Ces deux stratégies se complètent l'une l'autre et sont toutes deux nécessaires à la formulation d'une explication mécaniste adéquate. D'une part, la localisation ne constitue pas en elle-même une explication mécaniste car il faut également individualiser les opérations qui composent la structure (Bechtel 2008, 93). D'autre part établir les liens entre parties et opérations sert à corroborer chacune des décompositions (*ibid.*, 94).

Il est possible de décomposer un mécanisme en parties, ce que Bechtel appelle décomposition structurelle, ou encore décomposer un mécanisme en opérations, ce qu'il qualifie de décomposition fonctionnelle (Bechtel 2008, 14)³¹. Cela implique que le chercheur ait connaissance des parties opérantes (*working parts*), ensuite des actions performées par ces parties et finalement, de leur organisation, soit comment les parties et opérations concordent de manière à engendrer un output (Bechtel & Abrahamsen 2005, 427). Toutefois, il arrive que le chercheur n'ait pas de connaissance préalable des parties ou opérations liées à un phénomène à l'étude. C'est dans ce contexte qu'il peut être nécessaire

³¹ Bechtel distingue la décomposition *phénoménale* et la décomposition *mécaniste*. La décomposition phénoménale décompose un système en phénomènes alors que la décomposition mécaniste (qui peut être structurelle ou fonctionnelle) différencie les parties et opérations qui figurent dans la production d'un phénomène (Bechtel 2008, 50).

de manipuler les parties ou opérations d'un mécanisme afin d'identifier de quelle manière il génère un output, ce que Bechtel nomme interventions.³²

Interventions that control the values of variables thought to affect the mechanism and record the effects these have on the functioning of the mechanism help provide a detailed account of the phenomenon to be explained (Bechtel 2008, 38).

Bechtel offre deux techniques qui constituent des interventions: l'inhibition et l'excitation. L'inhibition consiste à bloquer l'opération d'une partie d'un mécanisme, alors que l'excitation vise à stimuler l'opération d'une partie d'un mécanisme (Bechtel & Richardson 1993, 17-19). Une intervention sera jugée fiable si elle produit des résultats clairs, pouvant être reproduits et si les éléments de preuve qu'elle fournit s'accordent avec le cadre théorique (Bechtel 2008, 36).

Il existe deux sortes d'interventions permettant d'examiner le comportement d'un mécanisme hypothétique: il s'agit de modifier l'input ou les conditions du mécanisme, ou encore de modifier l'opération de l'une des parties du mécanisme. Deux niveaux d'analyse découlent de ces deux sortes d'interventions: il est possible de détecter un changement dans le comportement du mécanisme, ou il est possible de détecter un changement d'une des opérations composantes impliquée dans le comportement global du mécanisme (*ibid.*, 38).

³² Il est important de noter que Bechtel utilise le terme 'intervention' dans son sens générique, ce sans référence explicite à Woodward (2003), ce même s'il reconnaît l'importance d'avoir une «théorie de l'intervention» (Bechtel 2008, 36).

Ces interventions, ainsi que les stratégies préconisées par Bechtel -localisation *et* décomposition- requièrent toutes une certaine modularité du système à l'étude, comprise au sens large comme «*the separability of different causal contributions to an overall effect*» (Mitchell 2008, 699). Un système causal que l'on juge être modulaire doit pouvoir être décomposé, c'est-à-dire que les composantes doivent pouvoir être examinées séparément. La décomposition suppose la modularité puisqu'un système doit être divisible en unités de composantes, soit en parties, soit en opérations, tandis que la localisation implique qu'un système est composé de modules identifiables isolément les uns des autres, ce même si leurs fonctions ne sont pas identiques à celles de l'ensemble (Bechtel & Richardson 1993, 25). Néanmoins tous les systèmes n'affichent pas le même degré de modularité (Bechtel 1995, 145-147; Bechtel & Richardson 1993, 228). Plus l'intégration des composantes est grande, moins les stratégies de décomposition et de localisation demeurent efficaces.

Dans cette perspective, la recherche sur les mécanismes procède de modèles hypothétiques à des représentations de plus en plus précises. «*Mechanistic research does not require that investigators identify the component operations correctly before they attempt to localize them*» (Bechtel 2008, 71). Bechtel reconnaît, ainsi que le faisaient MDC, que l'investigation des mécanismes procède par étapes, allant de modèles plus ou moins achevés à des représentations visuelles (diagrammes) qui permettent d'inférer précisément le fonctionnement d'un mécanisme (*ibid.*, 160). Il fait de plus explicitement référence aux notions de *mechanism schema* et de *mechanism sketch* proposées par MDC et reconnaît qu'il s'agit d'un état de choses courant en science (*ibid.*, 127).

C'est aussi dans cette optique que Bechtel souligne le rôle non-négligeable des diagrammes en tant qu'aides visuelles, et affirme que l'identification et la représentation des mécanismes ne sauraient se limiter à des énoncés écrits. Les diagrammes ont deux avantages sur les descriptions langagières. D'une part, ils permettent de rendre compte de multiples relations, soit entre plusieurs parties vers une même opération, soit entre de multiples opérations (Bechtel & Abrahamsen 2005, 427). D'autre part, les diagrammes exhibent de manière immédiate l'agencement spatial (*spatial layout*) des parties et opérations qui constituent un mécanisme ainsi que la séquence temporelle, à l'aide de flèches (*ibid.*, 428). Par conséquent les diagrammes permettent d'appréhender l'importance de ces aspects. Toutefois, les diagrammes sont des représentations statiques (*ibid.*, 430). Or pour être pertinents, les diagrammes doivent être dynamiques.

Inference involves a determination of how a mechanism behaves, and this is typically not achieved via logical inference, but by simulating the activity of a mechanism, either by animating a diagram or by creating mental, computational, or scale model simulations (Bechtel & Abrahamsen 2005, 432).

Toutefois, l'identification des parties, des opérations et de leur organisation ne suffit pas à formuler une explication mécaniste adéquate. Il faut également mettre en contexte les conditions, ou circonstances sous lesquelles le mécanisme produit l'output escompté. «*Looking outwards, the mechanism generating a phenomenon typically does so only in appropriate external circumstances*» (Bechtel & Abrahamsen 2005, 426). Bechtel insiste sur le fait que les explications mécanistes seraient intrinsèquement interniveaux, à la fois

réductionnistes et émergentistes (Bechtel 2008, 151-152), rejoignant un constat fait par Robert Brandon.

[I]nsofar as it emphasizes the contributions made by parts of a mechanism to its operation, a mechanistic analysis is, in an important sense, reductionistic. However, insofar as it also recognizes the importance of the organization in which the parts are embedded and the context in which the whole mechanism is functioning, it not only sanctions looking to lower levels but also upward to higher levels (Bechtel 2008, 21).

L'explication mécaniste est réductionniste parce que la décomposition suppose une réduction (Bechtel 2008, 130). «(...) *But the recognition that parts and operations must be organized into an appropriate whole provides for a robust sense of a higher level of organization*» (*ibid.*, 130). La notion de niveau est associée aux parties opérantes du mécanisme. C'est de cette manière que Bechtel dénoue l'objection voulant qu'un niveau soit arbitraire. «*It is the set of working parts that are organized and whose operations are coordinated to realize the phenomenon of interest that constitutes a level*» (*ibid.*, 146). En ce sens, les conditions du mécanisme sont aussi importantes que l'énumération de ses composantes. «*Here it is important to keep in focus the fact that mechanisms generate the phenomenon in virtue of their components performing their own operations in a coordinated manner*» (Bechtel 2005, 430).

3.6 Conclusion

Les deux démarches présentées au sein de ce troisième chapitre se ressemblent en plusieurs points. La conception défendue conjointement ou isolément par Peter Machamer, Lindley Darden et Carl Craver ainsi que la conception défendue par William Bechtel proposent plusieurs rapports de compatibilité. De plus, il s'avère que ces rapports semblent correspondre aux éléments constitutifs du mécanisme, ces conditions nécessaires à un mécanisme *qua* mécanisme, auxquelles il serait possible d'ajouter les notions d'interventions et de relations d'invariance, notions qui sont après tout déjà utilisées par Machamer qui a adopté certains aspects de la démarche interventionniste. Il demeure cependant nécessaire de préciser exactement comment ces divers points de vue peuvent être harmonisés en une caractérisation de la sélection naturelle, mais, ainsi que nous le constaterons, une telle vision d'ensemble semble être possible.

Chapitre 4: Interprétation mécaniste de la sélection

4.1. Introduction

La sélection naturelle est-elle un mécanisme ? Répondre à cette question exigeait une analyse soignée des caractérisations de ce qui constitue un mécanisme, pour ensuite considérer si et comment l'une (ou plusieurs) d'entre elles s'avérait adéquate à rendre compte de la sélection naturelle. Les deux premiers chapitres du mémoire ont présenté les grandes lignes des caractérisations importantes des mécanismes. Il convient désormais de considérer si, et comment, ces caractérisations peuvent être appliquées à la sélection naturelle.

Nous offrirons d'abord en section 4.2 un survol rapide des quatre conceptions de ce qui constitue un mécanisme examinées précédemment, ainsi qu'une synthèse des éléments importants sur lesquelles ces caractérisations des mécanismes se rejoignent. Une interprétation mécaniste de la sélection naturelle sera ensuite présentée en section 4.3, interprétation fondée sur une étude biologique réelle. Les sections 4.4 à 4.7 considèrent quelques-unes des grandes critiques pouvant être formulées à l'égard de cette interprétation mécaniste de la sélection ainsi que certaines solutions à ces critiques.

Les critiques les plus poussées offertes contre une interprétation mécaniste de la sélection naturelle ont été formulées par Robert A. Skipper et Roberta L. Millstein (2005), mais d'autres objections seront considérées ainsi que les ébauches de solutions pouvant être apportées. Bien qu'adressées aux approches de MDC et Glennan, plusieurs des critiques formulées par Skipper et Millstein s'appliquent tout aussi bien à celle de Bechtel ou

Woodward. Il conviendra de présenter des solutions à chacune de ces critiques afin de réfuter leur conclusion selon laquelle «*the new mechanistic philosophy (...) does not capture a main evolutionary mechanism*» (Skipper & Millstein 2005, 343).

Une première critique s'attaque à la notion d'organisation, centrale à l'ensemble des conceptions de ce qui constitue un mécanisme (4.4). Une deuxième critique s'attaque à la modularité supposée du mécanisme (4.5). Une autre critique porte sur la continuité productive (ou causalité) au sein d'un mécanisme (4.6) et une dernière critique porte quant à elle sur la régularité supposée d'un mécanisme (4.7).

4.2. Synthèse des caractérisations du mécanisme

Le troisième chapitre mettait en lumière plusieurs points de rapprochement entre les deux caractérisations du mécanisme, l'une défendue par Machamer, Darden et Craver et l'autre par Bechtel. Il est également possible d'identifier quatre rapprochements entre l'ensemble des différentes caractérisations des mécanismes considérées. Ces concordances portent sur la composition des mécanismes, leur productivité, leur organisation et leur régularité et incluent les démarches de Woodward et Glennan à celles du second chapitre³³.

Il n'existe pas deux caractérisations du mécanisme qui soient en accord sur ce qui précisément compose un mécanisme. Woodward conçoit le mécanisme comme un ensemble de relations invariantes sous certaines interventions, où ces relations sont elles-

³³ Craver et Bechtel se sont penchés sur la question des points communs mais se limitent à trois aspects «(...) (1) mechanisms are organized collections of entities and activities, (2) mechanisms are affected by (and have effects upon) things (3) the parts of the mechanism taken singularly cannot be so affected or have such effects» (2007, 548) mais -ainsi que nous le verrons- les autres points sont implicites et il est important de les expliciter afin d'offrir un traitement adéquat des objections aux sections 4.4 à 4.7.

mêmes composées de variables (Woodward 2002, 375). Glennan maintient que le mécanisme est composé de parties «(...) *by the interaction of a number of parts*» (Glennan, 2005, 445). Machamer, Darden et Craver défendent une caractérisation du mécanisme où ces derniers sont composés d'entités et d'activités (MDC 2000, 3) et Bechtel, de son côté, insiste sur les composantes et opérations (Bechtel 2005, 423). Toutefois, *l'ensemble de ces caractérisations du mécanisme s'accorde sur le fait que les mécanismes sont composés et décomposables*, où les parties (entités et activités, composantes et opérations ou relations d'invariance) peuvent être isolées les unes des autres. Ce point est intimement lié à une exigence de modularité des mécanismes également partagée par Woodward, Machamer, Darden, Craver et Bechtel³⁴.

My notion of modularity is closely connected to what Darden calls in her paper “modular subassembly”(...) it must be possible to add a new module or component to a structure consisting of other modules or to replace one module with another without disrupting or changing the other modules in the structure. This is just another way of expressing the idea that modules or components should be independently changeable (Woodward 2002, 376).

Deuxièmement, l'ensemble des caractérisations s'entendent sur le fait qu'un mécanisme est *responsable de quelque chose*, qu'il s'agisse d'un comportement (Glennan 2002, 344), d'un phénomène d'intérêt (MDC 2000, 3) ou d'une fonction (Bechtel 2005, 475), *le mécanisme est productif d'un output*. Encore une fois, au-delà des différences terminologiques, les auteurs s'accordent sur l'importance de cet output dans la recherche et l'identification du mécanisme. Une description adéquate d'un mécanisme constituera une

³⁴ Voir section 4.5

explication (Bechtel 2005, 426; MDC 2000, 3; Woodward 2002, 376). En ce sens la recherche et l'identification de mécanismes sont des démarches centrales à l'avancement du savoir scientifique. Woodward et Glennan donnent une importance moindre à la distinction entre causes et mécanismes et, par conséquent, entre la distinction qui peut être opérée entre explication causale et explication mécaniste. Néanmoins, ainsi que la précise Bechtel, il existe une différence entre un mécanisme et une série de causes (Bechtel 2008, 13). En effet, les mécanismes ne sont pas seulement des causes, mais des causes organisées selon certaines contraintes.

C'est ce troisième point, selon lequel les parties d'un mécanisme *sont organisées de manière à engendrer un output* qui permet de distinguer le mécanisme *qua* mécanisme d'autres systèmes causaux. En d'autres mots, ces parties n'auraient pas le même output prises individuellement ou organisées différemment. Encore une fois, Woodward et Glennan attribuent une importance moindre à la distinction entre mécanisme et cause et, conséquemment, à l'importance de l'organisation des mécanismes. Glennan n'utilise pas explicitement le terme 'organisation' et défend plutôt un agencement stable des parties (Glennan 2002, 345). Woodward, de son côté, associe la stabilité du mécanisme au degré d'invariance des relations qui le composent : un mécanisme consiste en «*an organized or structured set of parts or components (...) where the behavior of each component is described by a generalization that is invariant under interventions*» (Woodward 2002, 375) mais cette organisation n'est pas davantage explicitée et est généralement sous-entendue en termes identiques à l'organisation de n'importe quelle autre relation causale, soit via l'invariance sous interventions qui lie deux ou plusieurs variables. Woodward insiste tout de

même qu'il devrait être possible de constater «[how] *the overall output of the mechanism will vary under manipulation of the input to each component and changes in the components themselves*» (*ibid.*, 375). Cette importance que concèdent les diverses caractérisations à l'organisation contraint quelque représentation du mécanisme quant à la manière par laquelle les parties sont reliées au tout qu'est le mécanisme décrit.

(...) Internal organization of mechanisms is hence given special attention: the building of mechanical accounts proceeds through accumulation of constraints on the space of possible mechanisms (...) (Campaner 2006, 19).

Les contraintes peuvent être ou bien temporelles, soit un ordre ou une séquence particulière ou encore peuvent être spatiales (Campaner 2006, 20). Bechtel, entre autres, a noté qu'une partie d'un mécanisme doit être spatialement comprise au sein de ce mécanisme (Bechtel 2005, 428). La caractérisation défendue collectivement par MDC propose aussi de telles contraintes à l'identification et la modélisation.

Le quatrième et dernier point porte sur la régularité des mécanismes. Cette régularité peut être comprise comme liée à la production d'un output ainsi que le conçoivent MDC et Bechtel, c'est-à-dire qu'un mécanisme engendre le même output dans les mêmes conditions (MDC 2000, Craver & Bechtel 2007, 548). Cette régularité peut aussi être comprise comme interne au fonctionnement du mécanisme. Ainsi, chez Glennan et Woodward, cette robustesse organisationnelle et cette régularité quant au phénomène sont caractérisées par des relations invariantes sous certaines interventions. Chez MDC, les

mécanismes impliquent un fonctionnement dit 'normal' où les activités des entités se comportent de la même façon dans les mêmes conditions.

Bref, l'ensemble des conceptions des mécanismes concordent, à un degré plus ou moins strict, quant à l'importance accordée à leur composition, leur productivité, leur organisation et leur régularité. Toutefois, mettre l'accent sur ces concordances entraîne une objection quant aux sens des terminologies employées. Établir une équivalence des entités et activités avec des composantes et opérations ou même variables et relations invariantes vise peut-être à assimiler des notions distinctes (Campaner 2006, 22-23). Autrement, ces concordances auraient comme conséquence une conception vague et imprécise de ce que constitue un mécanisme : *«a drawback, though, we are left with notions of entity, interaction, activity and mechanism which prove much looser and, as a consequence, imprecise»* (*ibid.*, 24). Ce sont-là deux préoccupations qui seront présentes tout au long de ce chapitre³⁵ afin de minimiser le flou conceptuel lié à l'usage du terme mécanisme.

4.3. La sélection naturelle en tant que mécanisme

Est-il possible de formuler une interprétation mécaniste de la sélection naturelle qui corresponde aux quatre points de recoupement offerts en section 4.2? Un exemple paradigmatique de sélection mettra en lumière les défis et avantages liés à l'interprétation mécaniste. Vers la fin des années 70, une période de sécheresse a eu lieu sur Daphne Major, une petite île inhabitée des Galápagos. Cette période de sécheresse allait provoquer

³⁵ Pour une critique à la fois de l'usage terminologique d'entités et d'activités ou d'interaction, voir Campaner (2006) qui préconise l'adoption de l'approche interventionniste

des changements importants quant à la disponibilité des sources de nourriture des pinsons. Peter Grant, Rosemary Grant et leur équipe ont étudié la relation entre la taille et dureté des graines disponibles par rapport aux tailles et profondeurs moyennes des becs de pinsons qui ont survécu à la sécheresse (Boag & Grant 1981).

Le phénomène d'intérêt dans cette instance concerne la morphologie changeante des becs des pinsons: s'agit-il d'une adaptation? Ainsi que l'ont fait remarquer plusieurs auteurs (Glennan 1992, 131-134 ; MDC 2000, 17), les explications mécanistes peuvent être formulées en tant qu'hypothèses ou encore après le fait. Il en va de même avec des explications mécanistes de cas de sélection naturelle. «*Adaptation problems can be identified in two different types of situations –by observing a process or observing an adapted product*» (Darden & Cain 1989, 202). Les Grants ont conclu, après le fait, que la morphologie des becs a évolué rapidement en réponse aux nouvelles conditions environnementales. Les pinsons qui ont survécu à cette période de sécheresse avaient des becs plus profonds que les individus qui constituaient la population de 1976 (année précédant la période de sécheresse). Ce changement s'explique par une diminution des quantités de graines molles de petites tailles. Une fois consommées, les seules graines disponibles étaient de plus grandes tailles et plus dures et seuls les pinsons disposant de becs assez gros pouvaient s'en nourrir.

Tout d'abord, l'étude associe une propriété phénotypique à une condition environnementale. Deuxièmement, cette propriété relationnelle entre d'un côté la taille et la profondeur du bec des pinsons et de l'autre côté la dureté des graines disponibles change. Les changements au sein de la population de pinsons constituent un phénomène d'intérêt

notoire³⁶. Compte tenu des changements environnementaux, la baisse de la population ainsi que la morphologie changeante de la taille et profondeur des becs chez les individus survivants suffisent à corroborer l'hypothèse que le changement morphologique conduit à un changement de *fitness* positif où les pinsons les mieux adaptés étaient aptes à se nourrir des graines plus dures. Cette conclusion est corroborée par le dénombrement de 1978 qui a montré une augmentation significative de la moyenne des tailles et profondeurs des becs au sein de la population. Enfin, l'isolation géographique relative (à la fois de l'île et de la population de pinsons) permet une conclusion assez définitive quant aux causes de ces changements populationnels.

Comment ce cas d'adaptation rapide se prête-t-il à une approche interventionniste? D'abord, on associe à chaque pinson une variable B pour le bec et où on associe chaque graine une variable G pour la dureté. La relation entre B et G est invariante au sens où l'ensemble des pinsons se nourrissent de la même manière. En effet, il est possible de changer la valeur d'autres variables (localisation, sexe, température) pour constater que la relation entre B et G demeure invariante sous plusieurs interventions.

Certaines de ces interventions impliquent des variables qui ne sont pas directement mises en cause par la relation entre B et G . Toutefois il est aussi possible de constater, ainsi que le démontre l'étude des Grant, qu'un passage de G (soft) à G (hard) entraîne un changement de la variable B (size1) à B (size2). Il semble ainsi possible de formuler cette

³⁶ Les résultats de cette recherche présentaient la *fitness* en tant que propension (une probabilité mathématique) mais comme les observations couvrent quelques années au plus, il n'est pas nécessaire de souscrire à cette démarche ; la *fitness* est liée à la survie *et* à la reproduction (dans le cas présenté, la survie de certains individus versus la mort de leurs congénères suffit à concevoir un avantage adaptatif). La population estimée est passée de 1400 individus en 1976 à environ 200 individus en 1978 (Grant P. R. 1986).

instance de manière causale où il existerait une relation invariante entre la valeur des graines G et des becs B .

Toutefois, ainsi que nous l'avons mentionné, le mécanisme devrait pouvoir rencontrer certaines conditions quant à leur composition, leur productivité, leur organisation et leur régularité. Les sections 4.4 à 4.7 considèrent ces contraintes à la lumière du cas des Grant ainsi que certaines critiques pouvant être formulées à l'égard de ces contraintes d'une conception mécaniste de la sélection.

4.4. Mécanisme de sélection et organisation

Une première critique contre une interprétation mécaniste de la sélection naturelle s'attarde à la notion d'organisation des mécanismes. Un mécanisme est composé de parties et un premier aspect de cette critique concerne *l'identification* de ces parties: «(...) *is there any sense to decomposing natural selection into its putative parts? What would those parts be? The organisms? Their traits? The environment? Specific aspects of the environment?*» (Skipper & Millstein 2005, 336). Un deuxième aspect de la critique met en doute que les parties, peu importe qu'il s'agisse des traits, organismes ou populations, soient dotées d'une stabilité suffisante. «*What we question is whether the degree of organization among organisms is sufficient to satisfy either MDC's or Glennan's account*» (Skipper & Millstein 2005, 338).

4.4.1 Organisation et identification des parties du mécanisme

La première partie de cette critique met en doute que la sélection naturelle soit effectivement composée de parties. «*The claim that mechanisms are organized implies (1) that mechanisms are comprised of various elements and (2) that those elements are structured in some way*» (Skipper & Millstein 2005, 336). Dans l'exemple présenté en section 4.3, il semble intuitivement que les pinsons ainsi que les graines soient des parties. Les auteurs considèrent cette possibilité pour la rejeter.

(...) at first glance, [organisms] appear to be easier to characterize as parts; they are often (but not always) identifiable as individuals, they have relatively stable properties in the absence of interventions, and they do have a spatial location, although do not necessarily have any particular spatial location. (*ibid.*, 336).

En effet, les auteurs rejettent cette possibilité, car ils privilégient une approche populationnelle «*we have made every effort to respect the population-level description that current population genetics theory embodies*» (*ibid.*, 331) et cette approche se prête difficilement à une interprétation mécaniste de la sélection. La question du niveau d'organisation n'est pas le focus de cette section : ainsi que nous l'avons proposé au chapitre 1, une interprétation mécaniste de la sélection naturelle est compatible avec plusieurs niveaux d'organisation. De plus, un certain consensus existe entre les approches concurrentes.

All sides of the debate agree that there are causal processes that (exclusively) involve properties of individual organisms. Further, (...) proponents of the population-level causal

process view acknowledge that the causal processes involving individual organisms are somehow responsible for, determine, or are the basis for the process of natural selection. (Haug 2007, 433).

Le traitement offert se veut strictement en réponse aux doutes soulevés quant aux composantes et la stabilité de ces composantes. Skipper et Millstein présument que ces composantes doivent être des populations ou collections d'individus puisque la variation est un préalable à la sélection naturelle et que la variation est une propriété des populations; un individu ne variera pas face à lui-même il peut donc sembler inévitable de considérer la population comme variable (Millstein 2006, 652). Cette critique du caractère arbitraire de l'identification des parties d'un mécanisme de sélection n'est pas exclusive à Skipper et Millstein. C'est en effet un point soulevé selon lequel les composantes identifiées comme contribuant à des cas d'adaptations seraient arbitraires.

Demarcating the contributors to fitness (and therefore selection) is an arbitrary matter (...) it seems that biologists count facts about variance, but not facts about inheritance, mutation, or migration among the determinants of fitness. This is consistent with there being no interesting principle that determines which factors are bundled into fitness, and which are left to non-selective (Lewens 2009, 19).

Une première solution à cette critique serait de rappeler l'ordre par lequel un mécanisme est identifié (et identifiable) afin d'éviter le choix apparemment arbitraire des entités et activités. La découverte de mécanismes passe *d'abord* par la découverte de phénomènes auxquels le mécanisme servirait d'explication. On identifie donc *en premier lieu* le phénomène d'intérêt (Bogen & Woodward 1988; Craver 2001 ; Darden 2008) ou

l'état de choses, la tâche qui est effectuée (Bechtel & Richardson 1993; Bechtel 2005) pour ensuite seulement procéder à l'identification des parties du mécanisme supposément responsable de ce phénomène, état ou tâche.

First, a problem must be identified as an adaptation problem. Making such an identification may not be an easy task. It involves determining that a process occurs over time such that something becomes better adapted to another. One explanation of something's becoming better adapted is that it is a consequence of a selective process (Darden & Cain 1989, 201).

L'output du mécanisme se veut en quelque sorte une contrainte à l'identification des parties du mécanisme, même si l'identification initiale du phénomène est liée aux intérêts des chercheurs. L'interprétation mécaniste de la sélection naturelle propose ainsi une solution pragmatique à cette difficulté en contraignant l'identification des composantes à celles qui permettent de constater (via une approche interventionniste) *comment* une adaptation prend forme et en quoi elle suppose une plus haute *fitness*. En effet, Skipper et Millstein admettent que les relations invariantes sous certaines interventions offrent une piste additionnelle vers l'identification des entités et activités (Skipper & Millstein 2005, 342). Dans cette optique, seront identifiées comme parties d'un mécanisme, les entités et activités figurant au sein de relations invariantes sous certaines interventions nécessaires afin de rendre compte d'une adaptation. C'est ce lien entre le phénomène d'intérêt et certaines relations d'invariance qui permet l'identification des parties du mécanisme.

According to the position defended in this chapter, (*S*) must be stable or invariant in the right way in the population *P* whose behavior we are trying to explain. This requires that (*S*) must

hold, or hold approximately, in the populations P whose behavior (i.e., changes in genotype frequencies) we are trying to explain, but it also requires that (S) continue to hold under certain changes in those populations» (Woodward 2003, 305).

Plusieurs autres facteurs empêchent cette identification de sombrer dans la confusion. D'une part, certains phénomènes sont naturellement identifiables (par exemple la réplication de l'ADN), d'autre part certains phénomènes sont naturellement limités dans un espace donné. «*Some phenomena come more naturally packaged than others (...) In order to operate, some mechanisms require entities of a given shape and size (and other properties) as the working entities of that mechanism Another factor constraining choice of perspective is that some mechanisms operate only within natural boundaries, such as the nuclear or cellular membrane*» (Darden 2006, 274).

Il est donc permis de constater qu'il serait effectivement possible de décomposer la sélection naturelle en parties, entités et activités ou encore composantes et opérations, si ces termes remplissent deux conditions. Premièrement ils doivent être correctement liés à un output (dans le cas de la sélection naturelle, ils sont liés à une adaptation) et deuxièmement ils doivent être compris de façon modulaire. Cette deuxième condition soulève d'autres questions qui seront traitées en section 4.5.

4.4.2 Organisation et stabilité des parties du mécanisme

La critique contre la notion de la composition met également en doute que les parties qui composent le mécanisme soient dotées d'un agencement suffisamment stable (Skipper & Millstein 2005, 338). Certes les populations (et de surcroît les individus qui les

composent) peuvent être localisées en divers endroits. Par exemple plusieurs organismes tendent à défendre un espace géographique, à privilégier certains endroits pour la reproduction (année après année) etc. (*ibid.*, 338). Quant aux traits (des individus ou des populations), ils varient et seront difficilement perçus comme des propriétés stables étant donné que la variation est un prérequis à la sélection naturelle (*ibid.* 338).

All of these examples call into question the applicability of MDC's mechanism conception to natural selection. Indeed, they also call into question the applicability of Glennan's account; organisms that vary in their location and orientation do not have a 'stable configuration'. And we should not be surprised at the variability of finches and other organisms. Although there has been a great deal of controversy over the source of variation in natural populations, variation is a necessary condition for natural selection. This means that it is unlikely that natural selection has the degree of organization required by either MDC or Glennan (Skipper & Millstein 2005, 338).

Toutefois, il faut éviter de confondre l'organisation du mécanisme avec l'organisation *des parties du mécanisme*. Une configuration stable des parties est effectivement désirable, *entre les variables impliquées dans les relations invariantes qui composent le mécanisme*. Par exemple, même si les pinsons ne restent pas en une place et changent de sources de nourriture ou de partenaires selon qu'ils se déplacent d'un territoire à un autre, leurs physionomie et physiologie demeurent relativement inchangées. Deux individus peuvent ainsi avoir des comportements différents face à une même situation, ce qui est aussi vrai des pinsons que des humains (Ackerman 1969, 223). Toutefois, la relation d'invariance dans le cas qui nous préoccupe porte sur un comportement aisément identifiable, soit celui de l'alimentation.

Les pinsons, pris individuellement, varient les uns des autres, se déplacent, changent de territoires, etc. Ce sont-là des interventions concevables, mais la relation entre un pinson et sa source de nourriture *demeure invariante sous toutes ces interventions*. La graine *G* peut prendre diverses valeurs (dureté, taille) et ces valeurs peuvent être liées avec la taille et largeur des becs des pinsons mais tous les becs sont prévus pour le même usage et donc ne varieront pas *en relation avec* les graines.

Il est à noter que le choix des individus en tant qu'entités n'est pas nécessaire, tant que la relation entre variables exhibe une certaine invariance. Ainsi, dans le cas des pinsons, les becs variaient les uns quant aux autres, mais ils étaient prévus pour le même usage et donc ne variaient pas en relation avec les graines. Même si les organismes demeurent intuitivement les entités privilégiées, une interprétation mécaniste de la sélection naturelle permet aussi de concevoir des populations (groupes d'organismes), ou encore des traits (parties d'organismes) comme variables: «*in the context of natural selection, populations can be seen as abstract entities that describe a set of individuals. (Each individual, of course, also can be seen as an entity)*» (Barros 2008, 310). La population d'organismes ou bien les traits de ces organismes peuvent être parties d'un mécanisme sous certaines conditions : d'abord que la population soit relativement homogène, ensuite que ses membres partagent un sort (ou la probabilité d'un sort) identique. Cette perspective correspond avec l'approche selon laquelle la sélection naturelle peut opérer à différents niveaux (génétique, phénotypique ou populationnel). «*I refer to a population as an 'abstract' entity because the population does not exist in the world independently of its individual members*» (*ibid.*, 316).

La sélection naturelle serait donc composée de parties, pourvu que ces parties soient comprises comme des abstractions ou des variables demeurant relativement homogènes d'un organisme de cette population à un autre et demeurant relativement stables vis-à-vis l'output (l'adaptation). Cette homogénéité est évidemment relative à la relation d'invariance, ce même si les organismes peuvent être différents à plusieurs niveaux.

It is difficult, but not impossible, to find homogeneous classes in biology (...) but homogeneity is relative to some concepts, or laws, or regularities. Thus, a class of pea plants all of which are, say, homozygous for wrinkled skin, is a homogeneous class from the standpoint of skin texture and the relevant genetic anticipations about the skin texture of offspring, but it will otherwise be quite varied (Ackerman 1969, 222).

4.5. Mécanisme de sélection et modularité

Un corollaire à la conception du mécanisme comme composé de parties est la possibilité de le décomposer. Cette *décomposition* du mécanisme présume une certaine modularité, qui doit ici être comprise -au sens large- comme «*the separability of different causal contributions to an overall effect*» (Mitchell 2008, 699). Un système causal que l'on juge être modulaire doit pouvoir être décomposé «*such that the components of the system can be subjected to separate study and investigation; it requires that the components have discrete intrinsic functions intelligible in isolation even if such functions do not independently replicate those of the system as a whole (...)*» (Bechtel & Richardson 1993, 25). Ce genre d'identification de certaines parties (ou entités et/ou activités) en isolation les unes des autres pose problème à une interprétation mécaniste de la sélection naturelle

lorsqu'il est question de coévolution de traits phénotypiques ou de la sélection de traits multiples, ayant tous un impact positif sur la *fitness*. Par exemple, si un organisme est mieux adapté en raison d'un trait *T1*, mais que ce trait *T1* n'est présent que lorsque le trait *T2* est également présent, alors comment affirmer que *T1* est bel et bien l'adaptation?

On doit à Nancy Cartwright une critique contre la modularité de la causalité au sens large. Cartwright offre deux exemples où il semble improbable d'isoler des variables : un carburateur d'automobile et un grille-pain. L'output d'un carburateur dépend de la géométrie de la chambre à combustion et aucune intervention sur cette partie du système ne sera possible sans mettre fin au bon fonctionnement du carburateur. (Cartwright 2007, 16). Dans un même ordre d'idées, le mécanisme de levier du grille-pain dépend des grilles ou panneaux et ces parties ne peuvent être séparées (*ibid.*, 17). Cartwright s'oppose à la modularité implicite à la notion d'intervention défendue par Woodward et adoptée par bon nombre de philosophes. Certaines situations ne se prêteront pas à quelque intervention puisqu'il serait impossible de manipuler une cause sans interférer avec le mécanisme même par lequel cette cause engendre l'effet sous examen (Cartwright 2007, 12). Ce serait également le cas des êtres vivants.

In vast numbers of causal systems, from the human circulatory system to an automobile carburetor, causes are locked together by the design of the system and cannot vary separately in the requisite ways (Cartwright 2004, 242).

Par exemple, le carburateur d'une automobile est un mécanisme et est un tout structurel sur lequel il ne serait pas possible d'intervenir puisqu'une manipulation d'une

partie mettra fin à son fonctionnement. Plusieurs des relations causales d'un carburateur dépendent de la géométrie de la chambre à combustion. Cartwright indique donc qu'aucune intervention sur cette partie du système ne sera possible sans altérer d'autres relations causales ailleurs dans le système. (Cartwright 2007, 16).

We can see a large number of [functional] laws all of which depend on the same physical features – the geometry of the carburetor. So no one of these laws can be changed on its own. To change any one requires a redesign of the carburetor, which will change the others in train. By design the different causal laws are harnessed together and cannot be changed singly. So modularity fails (Cartwright 2007, 16).

Ce genre d'objection peut également être soulevé en lien avec une interprétation mécaniste de la sélection naturelle. D'une part Skipper et Millstein (2005, 338) ainsi que Glennan (2005) et Craver (2007, 107-162) ont tous intégré les grandes lignes de l'approche interventionniste à leurs caractérisations du mécanisme. Comme la notion même d'intervention suppose la modularité, cette critique revêt une importance non-négligeable. Woodward conçoit la modularité d'un système causal comme une condition nécessaire à tout examen (Woodward 2003). Un mécanisme est modulaire au sens où ses activités ou comportements peuvent être isolés et manipulés indépendamment les uns des autres (Woodward 2002, 375) L'identification d'un mécanisme est ainsi associée à cette condition de modularité: «(...) *at least part of what it means to say we have identified the mechanism (...) and that we have correctly segregated that mechanism into components is that we have exhibited (...) a consequence of components that are independently changeable (...)*» (Woodward 2002, 375)

D'autre part, il serait simpliste de penser qu'un individu biologique n'est impliqué qu'à une pression de sélection à la fois. Il y a une quantité potentiellement infinie de pressions; une interprétation mécaniste offre simplement une contrainte permettant de lier clairement chaque adaptation aux entités, activités et organisation pertinentes. Comment alors être certain qu'une pression autre ne serait pas simultanément opposée à celle sous observation (Haug 2007, 449)? Woodward admet sans problème que certaines manipulations ne sont pas impossibles mais ne constitueront pas des interventions. Par exemple, appliquer une force trop grande à un ressort de telle sorte qu'il ne se conforme plus à loi de Hooke (Woodward 2003, 68) ne constituerait plus une intervention puisqu'en dehors du domaine d'invariance des variables qui sont impliquées par la relation. C'est aussi ce qu'affirme Cartwright en démontrant qu'il ne serait pas possible de manipuler la chambre du carburateur sans affecter plusieurs relations causales. Cependant, cette critique revient à exiger une modularité ontologique, dont l'existence soit indépendante de nos capacités d'interventions. Or, la modularité peut également être comprise en un sens strictement épistémique.

(...) her thought seems to be that modularity requires that causal systems come, in effect, ready made with levers that allow one to separately manipulate each component. But that is just not what modularity asserts. Modularity is not a claim about how causal systems *are*; it is a claim about how they can be *modified* (Steel 2010, 11).

En d'autres mots, l'exigence de modularité n'est pas ontique mais strictement épistémique : il s'agit d'une manière par laquelle il nous est possible de comprendre les

relations causales. C'est pour cette raison que l'approche de Woodward est préférée à ces autres caractérisations. Ce choix prête flanc à la critique formulée par Bechtel pour qui trop d'auteurs confondent mécanismes et *représentations* de mécanismes. Par exemple, l'approche de Woodward stipule effectivement que «*a necessary condition for a representation to be an acceptable model of a mechanism is that (...)*» (Woodward 2002) pour ensuite énumérer les conditions. Étant donné qu'il n'est question que des conditions nécessaires à une modélisation d'un mécanisme, l'aspect ontologique est évacué et réduit au strict plan épistémologique. En ce sens, il peut être bon de distinguer la modularité forte d'une modularité épistémique.

Cette solution va dans le sens des recherches poursuivies par les biologistes. Séparer les effets distincts de la sélection naturelle et de la sélection sexuelle constitue un programme de recherche riche et fructueux. Ainsi, Raerinne (2010) pense qu'il est erroné de concevoir la modularité des mécanismes comme s'il s'agissait d'un interrupteur à seulement deux valeurs (ou bien modulaire ou alors non-modulaire). Il faudrait plutôt admettre des degrés de modularité ainsi que le propose Woodward lorsqu'il est question de l'invariance de certaines généralisations.

(...) modularity as a condition should not be understood in an absolute or “either/or” sense, but as a degree condition of components. Thus, it is a mistake to think of modularity as a general, unconditional, and non-relative condition of (representations of) components of mechanisms or to claim that because some (biological) mechanisms are not modular under some interventions (Raerinne 2000, 16).

Cette critique de la modularité peut être transposée à une interprétation mécaniste de la sélection. : «*I will assume that many ecological “component forces,” such as competition and predation, are modular as well*» (*ibid.*, 16). Même s’il peut sembler difficile d’isoler les effets respectifs des pressions de la sélection sexuelle de ceux de la sélection naturelle, il demeure possible en théorie, d’un point de vue expérimental, de maintenir l’effet de la sélection naturelle en prenant un organisme et en modifiant la variable qui nous intéresse du point de vue de la sélection sexuelle.

4.6. Mécanisme de sélection et causalité

Une autre critique à l’égard de l’interprétation mécaniste de la sélection naturelle concerne son rôle causal présumé. Skipper et Millstein s’attardent surtout à une critique de la *continuité productive*, c’est-à-dire les liens causaux internes qui unissent entités et activités (ou parties et opérations) d’un stade du mécanisme aux entités et activités d’un stade ultérieur de ce même mécanisme, ce, jusqu’à la production de l’output (Skipper & Millstein 2005, 331). Cette critique permet d’en extrapoler une autre quant à l’apport causal de la sélection. Cette séparation de la causalité interne et causalité externe est conforme à ce qu’a distingué Glennan «*between a description of the external behavior of a mechanism and a description of its internal workings*» (Glennan 2005, 447)³⁷.

Il est important de s’attarder à la fois à l’un et l’autre élément. D’abord parce que l’apport causal de la sélection naturelle ne fait pas l’unanimité et, d’autre part, parce qu’une interprétation mécaniste de la sélection se veut une explication permettant de comprendre

³⁷ Bien que cette distinction terminologique emprunte à la philosophie de l’esprit, le sens donné diffère.

comment un génotype ou un trait phénotypique peut être considéré comme une adaptation. «*A mechanical model is more than just a set of generalizations about the external behavior of a system; a model purports to describe the structure of the mechanism that accounts for the behavior*» (*ibid.*, 464). Cette distinction de Glennan est associée avec deux sortes de descriptions causales d'un mécanisme soit une description comportementale (*behavioral description*) et une description mécanique (*mechanical description*) (*ibid.*, 447). C'est une distinction semblable à celle défendue par Bechtel à la section (Bechtel & Richardson 1993).

4.6.1 Causalité externe du mécanisme de sélection

Une interprétation mécaniste de la sélection naturelle présuppose une conception causale de la sélection. En effet, les caractérisations de ce qui constitue un mécanisme s'accordent sur le fait que le mécanisme est productif de quelque chose. S'il peut sembler surprenant de devoir insister sur le rôle causal de la sélection, c'est que plusieurs interprétations concurrentes existent quant au rôle causal et quant à la nature de la sélection naturelle. Ainsi, la sélection naturelle peut être comprise comme un phénomène purement statistique au niveau des populations, un processus causal au niveau des organismes, ou finalement un processus causal au niveau des populations (Glennan 2009, 329).

Selon une interprétation 'statistique' de la sélection naturelle (Matthen & Ariew 2002, 2005), la sélection ne consisterait qu'en l'expression d'un résultat plus ou moins probable (Matthen & Ariew 2002, 63). Il va de soi qu'une interprétation mécaniste ne peut

être compatible avec une telle approche³⁸. Il reste donc deux possibilités : soit une interprétation mécaniste implique les organismes, soit elle implique les populations. Skipper et Millstein ne cachent pas leur adhésion à une conception de la sélection naturelle en tant que processus causal populationnel :

(...) in our mechanistic representation of natural selection, we have made every effort to respect the population-level description that current population genetics theory embodies (...). To that end, what we make clear in our schematic of natural selection is the way in which populations enter into causal interactions with their environments to produce relative fitness changes, where relative fitness is a measure of the relative abilities of organisms of different types (specifically, genotypes) to reproduce (Skipper & Millstein 2005, 331).

Or, nous avons montré en section 4.4.1 comment ce présupposé posait problème à la représentation que Skipper et Millstein aspirent à démontrer. Une interprétation mécaniste de la sélection naturelle est aussi bien compatible avec une conception causale au niveau de l'organisme qu'au niveau de la population. C'est le phénomène d'intérêt, l'output du mécanisme, qui contraindra l'identification des parties de ce mécanisme. Par exemple, Barros utilise un cas d'adaptation des structures des coquilles de l'escargot *Littorina obtusata* confronté à un cas de prédation du crabe *Carcinus maenas* afin d'illustrer clairement comment une interprétation mécaniste de la sélection naturelle est possible qui mette l'accent sur l'organisme (Barros 2008, 313-314). Les coquilles de *Littorina obtusata* leur conféraient une protection adéquate contre leurs prédateurs, mais l'expansion du

³⁸ Pour plus de détail, voir Brandon and Grant Ramsey, "What's Wrong with the Emergentist Statistical Interpretation of Natural Selection and Random Drift," in Michael Ruse and David L. Hull, eds., *The Cambridge Companion to Philosophy of Biology* (New York: Cambridge, 2007).

territoire de *Carcinus maenas*, dont les pinces étaient en mesure de casser leurs coquilles entraîne une adaptation (*ibid.*, 314). «*Individuals with low-spired shells predominate not simply because low-spired individuals happened to survive predation more often; they survived predation because the low-spired shells were stronger and therefore more resistant to crushing by a crab's claw*» (*ibid.*, 315).

Cet exemple est compatible avec l'approche interventionniste de Woodward, où l'on considère les organismes (les escargots) ou leurs traits (la structure de leurs coquilles) comme des variables pouvant prendre plusieurs valeurs. Il serait possible de concevoir que la relation impliquant la variable *E* (escargot) et la variable *C* (crabe) demeure invariante sous certaines interventions; si la coquille de *E* change, l'escargot meurt ou survit à une instance de prédation de *C*, ce peu importe les conditions environnementales.

The account of the change of *L. obtusata* shell structure given above strongly suggests that natural selection is causal, and that in that instance the causation was at the individual level. A different example that implicates the role of frequency-dependent selection would likely support Millstein's (2006) assertion that natural selection can be causal on the population level. Regardless of the location of causality, however, natural selection cannot be fully characterized without understanding of what is happening at both the individual and population levels (Barros 2008, 318 n5)

En d'autres mots, Barros insiste sur une caractérisation du mécanisme de sélection selon laquelle il opérerait à *deux niveaux simultanément*. Au niveau de l'organisme, le mécanisme rend compte des activités et des entités ainsi que de leur organisation. Au niveau de la population, le mécanisme rend compte de la distribution et fréquence d'un trait

ou d'un génotype³⁹. «*At the individual level, low-spired shells are more resistant to crushing, giving snails with low-spired shells a selective advantage. At the population level, the impact of this selective advantage is reflected in the change in prevalence in high- and low-spired shells over time*» (Barros 2008, 321).

Cette approche est similaire au constat auquel arrive Glennan «*natural selection is produced by causal processes operating at the individual level, but that there are many population-level properties that are causally relevant to the dynamics of evolutionary processes*» (Glennan 2009, 331).

(...) natural selection occurs only when there is heritable variation of fitness. Without variation there is no natural selection, and variation is essentially a population concept. An individual cannot vary with respect to itself. It is this fact about natural selection that I believe inclines people like Millstein to insist so strenuously that natural selection is a population level causal process (*ibid.*, 335).

Quant à une interprétation mécaniste de la sélection où le nœud causal se situerait au niveau de la population, certains auteurs ont également adopté l'approche interventionniste de Woodward dans le but d'illustrer son pouvoir causal (Reisman & Forber 2005; Sober & Shapiro 2007). Il s'agirait de considérer une population en tant que variable dont la taille constituerait la valeur. Modifier la valeur (la taille) de la population entraîne une modification quant aux effets respectifs de la sélection et de la dérive

³⁹ Il est surprenant de constater que Barros conclut de son compte-rendu qu'il ne résout pas le débat à savoir si la sélection est ou non causale : «*Describing the mechanism of natural selection in this manner does not fully resolve the debate among Matthen and Ariew (2002, 2005), Bouchard and Rosenberg (2004, 2005), and Millstein (2006) about whether natural selection is causal and, if so, whether it is causal on the individual or population level.*» Certes, une interprétation mécaniste de la sélection est compatible avec plusieurs niveaux de sélection, mais il semble improbable de concevoir de mécanismes qui ne soient pas causaux .

génétique au sein de la population. «*Since both the selection and drift can be manipulated in ways that have systematic impacts on population outcomes, both selection and drift are causes*» (Lewens 2009, 8).

Il est à noter qu'une telle démarche va l'encontre de l'approche interventionniste. D'abord parce qu'elle confond plusieurs relations d'invariance (de plusieurs individus) avec une relation d'invariance de population. Woodward exprime clairement qu'il conçoit la démarche interventionniste «*(...) as applying at the level of (i.e., as purported descriptions of the behavior of) whatever individuals are regarded as possessing particular values of the variables*» (Woodward 2000, 43). Une relation d'invariance «*(...) is not to be understood as merely a claim about the average or aggregate response of the value of Y to various average values (...) in some heterogeneous population, the behavior of the members of which may not be characterized at the individual level (...)*» (*ibid.*, 43). La stratégie préconisée par Glennan (2009) et Barros (2008) se base sur cette distinction (voir aussi Woodward 2000, 234-236).

Ensuite, bien qu'une population puisse effectivement changer de taille (où la population est la variable et sa taille est la valeur qu'elle prendra), il faut préciser que le changement de taille offert en exemple est contrôlé : il s'agit d'une manipulation expérimentale. Afin d'être considéré comme une intervention sur la taille, le changement de valeur doit pouvoir avoir lieu dans la nature, soit être en termes non-anthropocentriques (Woodward 2000, 103-104).

Une interprétation mécaniste de la sélection naturelle serait bénéfique de deux manières: elle rendrait explicite l'hypothèse selon laquelle la sélection naturelle peut opérer

à plusieurs niveaux (tant ceux des gènes, des organismes que des populations) et elle permettrait d'expliciter les cas où il est convenable (voir même nécessaire) de considérer la sélection comme impliquant une population. Par exemple, dans le cas classique de la modification de la couleur d'yeux des mouches à fruits *Drosophila melanogaster*, ce sont des variables génétiques qui peuvent prendre plusieurs valeurs, valeurs qui suffisent à expliciter une relation invariante. Des cas où certaines variables génétiques bien ciblées, pouvant prendre plusieurs valeurs, arrivent à se conformer à une relation invariante où un trait est modifié dans la nature seraient des cas où une interprétation mécaniste de la sélection naturelle serait compatible avec la sélection génotypique.

D'autres cas, où il devient nécessaire de considérer la population comme un tout intégré, partageant une même fin évolutive pourraient aussi être compatibles avec une interprétation mécaniste. Ainsi que l'écrit Woodward, il est nécessaire «(...) *that all the units in the population that was experimentally manipulated shared the same causal structure*» (Woodward 2000, 74). Il faudra donc que (1) le phénomène d'intérêt ne soit pas un agrégat de phénotypes d'organismes, (2) qu'une population partage une même fin évolutionnaire, et (3) que cette fin soit liée de manière invariante à un phénotype commun à l'ensemble des membres. «*To the extent that certain populations form communities or groups with stable structures and who share common fates, we might justifiably treat them as individuals that engage in unified and productive activities*» (Glennan 2009, 333).

Une interprétation mécaniste de la sélection ne présume pas d'elle-même résoudre le débat du niveau privilégié de la sélection naturelle. Elle pourrait néanmoins expliciter la relation causale par le biais de l'identification des composantes du mécanisme

4.6.2 Causalité interne du mécanisme de sélection

Les caractérisations des mécanismes s'entendent sur le fait que leurs parties sont causalement liées les unes aux autres. Ainsi cette critique porte en quelque sorte sur la causalité au sein d'un mécanisme. MDC affirment en effet que c'est cette continuité qui rend intelligibles les liens entre divers stades d'un mécanisme (MDC 2000, 3). Cette critique de la causalité interne du mécanisme émet le constat que la structure causale d'un mécanisme de sélection diffère d'une instance à l'autre.

Par exemple, Skipper et Millstein illustrent cette critique par le biais du cas célèbre du phalène de bouleau, un papillon nocturne, en Angleterre. Une variété de phalènes blancs (*Biston betularia*) formait la majorité de la population (Skipper & Millstein 341)⁴⁰. Vers la fin du 19^{ième} siècle, on constate à Manchester une augmentation d'une variété de phalène noire (*Biston carbonaria*) dans les secteurs industriels où la pollution rend la couleur de l'écorce des bouleaux plus foncée. L'hypothèse généralement admise associe la couleur du phalène avec la couleur de l'écorce, où les phalènes noirs étaient avantagés tant que la couleur de l'écorce était plus foncée. Pour Skipper et Millstein, il s'agirait d'un problème pour une interprétation mécaniste de la sélection. En effet, si la relation invariante postulée associe les phalènes et les bouleaux, il est difficile de concevoir à quelle activité ils sont liés.

⁴⁰ Pour le détail du cadre expérimental et une critique voir aussi Rudge, D.W. 1999; Beatty 1984.

Being camouflaged in the way that the moths are is not an activity. In fact, many defensive selection mechanisms are passive in this way. Being poisonous, or having protective coloration are other examples of passive properties that nonetheless crucially affect the selective interaction. So, we cannot specify activities for the peppered moth case, as we could for the finch case (Skipper & Millstein 2005, 341).

L'alternative considérée par les auteurs serait de concevoir une interprétation mécaniste selon laquelle les *prédateurs* des phalènes seraient en fait les entités engagées dans des activités de prédation (*ibid.*, 341). Toutefois, les récipiendaires de l'adaptation ne seraient donc pas impliqués dans aucune activité en ce sens. Les pinsons en tant qu'entités, même s'ils étaient prédateurs, étaient aussi les bénéficiaires de l'adaptation dont il est question alors que les prédateurs se nourrissant des phalènes ne sont pas les bénéficiaires de l'adaptation sur laquelle nous attardons. «*In the finch case, the working entities are the finches, and the finches are what selection is acting on; they are the locus of the selective interaction*» (*ibid.*, 341)⁴¹.

Pour Skipper et Millstein, cette façon de dénouer l'impasse est inadéquate, car elle aurait comme conséquence une multitude de structures causales pour ce qu'on jugerait être une même sorte de mécanisme. «*what is selected can be active or passive, and likewise, what causes the selection (the critical factor) can be active or passive. We cannot claim that the selection mechanism always has the same working entities (or the same kind). Thus, (...) providing a univocal mechanism for natural selection on MDC's account is unworkable*» (*ibid.*, 341). C'est une critique également admise par Barros, qui reconnaît de

⁴¹ Ceci n'exclut pas qu'une adaptation permette à certains individus de mieux identifier leurs proies malgré le camouflage. Toutefois, ceci serait un phénomène différent dont les parties seraient *de facto* différentes.

plus qu'il n'est pas possible de résoudre le problème en changeant le focus. Il propose toutefois qu'une solution puisse être formulée en changeant notre conception d'activité (Barros 2008, 321).

En effet, une activité peut impliquer plus d'une entité. Les cas de prédatons ne devraient en ce sens pas être perçus comme exclusivement des activités de prédateurs (ou à l'inverse des activités des proies); il s'agit en fait d'activités impliquant *de facto* une relation prédateur et proie. C'est ainsi que MDC forment la notion d'activité mais peut-être Bechtel est-il plus explicite via sa terminologie d'opérations où la composante passive est soulignée de manière explicite : «*I use the term operation to emphasize that in each operation not only is something performing an operation but something is operated on*». (Bechtel 2008, 14).

Ensuite, Skipper et Millstein notent que la notion de continuité productive implique qu'une entité entraîne un changement d'une autre entité via une activité. Chez Woodward (et Glennan qui emprunte l'approche interventionniste), une relation causale entre deux variables *A* et *B* exige que le changement de valeur de *B* suive un changement de la valeur *A* et que ce changement ne soit le fait d'aucune autre variable (voir section 2.4). Par conséquent, ces caractérisations du mécanisme supposent toutes des changements internes, supposition que Skipper et Millstein jugent problématique. «*(...) What is more important to notice, in our view, is that the interaction is between the population and the environment, but there is not a property change in the environment that brings about a property change in the population*» (Skipper & Millstein, 2005, 340). Toutes les variations chez les individus qui composent une population ne seront pas associées à des instances de

sélection. Un lien doit pouvoir être établi entre ces variations et un avantage, lien qui est mis en lumière par une interaction avec l'environnement.

It is not *heritable variation in ability to survive and/or reproduce* that is distinctive of causal selection explanations, but the more specific property of *heritable variation in ability to survive/reproduce due to the interaction of a particular trait and the environment* (Haug 2007, 448).

Bechtel offre une possible solution en précisant que l'environnement ne constitue pas toujours une entité du mécanisme, mais peut plutôt être compris comme un ensemble de conditions extérieures qui entraînent le mécanisme. «(...) *the mechanism generating a phenomenon typically does so only in appropriate circumstances (...)* For numerous phenomena -such as those of gene expression in cell biology and speciation in evolutionary biology- the relevant external circumstances are more complex (...) it is crucial to identify them and to explore how variations affect the behavior of the mechanism» (Bechtel 2005, 426).

Glennan de son côté propose un examen de relations causales non pas entre deux (ou plusieurs) événements, mais bien entre des faits et des événements. «*The main reason for distinguishing between them is that there are a lot more facts than there are events*» (Glennan 2009, 328, n1). Ainsi, c'est un fait que les phalènes ont une coloration ou une autre et c'est ce fait (ou cette propriété) qui est causalement pertinent en rapport avec l'événement (leurs chances de survie et de reproduction).

Here the facts are not simply facts about the occurrence or non-occurrence of an event, but facts about the properties of objects or background conditions that will or may play a causal role in the production of an effect. The shape of the key is a property of a key, and whether the lock turns when the key is put into it depends upon the shape of the key (Glennan 2009, 329).

Considérer les facteurs environnementaux comme 'circonstances externes' à une interprétation mécaniste de la sélection peut sembler vague étant donné la multitude de pressions de sélection. Ces pressions de sélection ne sont cependant pas causalement actives. *«(...) the expression 'evolutionary pressure' is often used, it may convey the wrong impression, since the environment exerts no active pressure; it simply creates an opportunity favoring variants that can profit from it. Furthermore, since environments change continuously, the opportunity is always present and evolution is continuous»* (Mercier 1981, 44). Une solution similaire, envisagée par au moins un membre du collectif MDC est qu'une activité ne requerrait pas d'entité.

(...) it is not clear that all activities are necessarily the activity of some entity, or less strongly, that one always can or needs to identify an entity to which an activity belongs. It is unclear to me that forces, fields, or energy are entities (...) or that the process or activities of equilibrating or reaching stasis need entities in order to be understood (Machamer 2004, 30).

Bref, plusieurs pistes de solutions compatibles avec une interprétation mécaniste de la sélection existent. Un certain travail métaphysique reste à être accompli, dépendamment de la solution potentielle envisagée.

4.7 Mécanisme de sélection et régularité

Une dernière critique d'une interprétation mécaniste porte sur la régularité de la sélection naturelle, ce que Machamer, Darden et Craver ont énoncé en insistant sur le fait qu'un mécanisme fonctionnera «*always or for the most part*» (MDC 2000, 3). L'absence de régularité de la sélection se manifeste par la difficulté (voir l'impossibilité) de formuler des prédictions quant à la composition des traits. En effet, Skipper et Millstein soulignent qu'il est difficile d'envisager la sélection naturelle comme fonctionnant de manière régulière (Skipper & Millstein 2005, 335). Il arrive parfois qu'un individu qui était pensé mieux adapté ne survive pas assez longtemps et ne se reproduise pas. De plus, certains traits, comportements ou génotypes sélectionnés semblent parfois s'opposer les uns aux autres. Cette critique d'une interprétation mécaniste de la sélection naturelle est liée à critique récurrente selon laquelle la sélection ne serait pas prédictive⁴². Comment concevoir la sélection naturelle en tant que mécanisme s'il ne nous est pas possible d'anticiper son output?

Ce problème peut être illustré en revenant sur le cas paradigmatique du phalène du bouleau. Supposons une forêt hypothétique où 40 pour cent des arbres sont clairs et 60 pour cent sont plus foncés. Toute chose étant égale par ailleurs, il semblerait que les phalènes plus foncés soient mieux adaptés à un tel environnement. Il demeure possible que si, par exemple, une plus grande proportion de phalènes foncés se pose sur des arbres clairs que

⁴² Au sujet des prédictions offertes par la biologie évolutionnaire, voir aussi Scriven, Michael (1959). *Explanation and Prediction in Evolutionary Theory*. *Science* 130 Williams, Mary B (1973). *Falsifiable Predictions of Evolutionary Theory*. *Philosophy of Science* 40). Voir aussi la critique de James Woodward 2000, 31

l'opposé, les phalènes foncés périssent, mangés par des prédateurs en plus grand nombre. Le résultat est improbable, mais doit être envisagé (Beatty 1984). Dans une même optique, il est concevable que des phalènes aient aussi bien pu changer leurs comportements, c'est-à-dire cesser de se poser sur les bouleaux (au lieu de changer de coloration afin d'augmenter le camouflage)⁴³. C'est-là l'apport de la dérive, du rôle du hasard. Ainsi que l'explique Beatty «*the problem (...) is that of distinguishing between random drift and the improbable result of natural selection (...)*» (Beatty 1984, 196). Comme il est hautement improbable de ne jamais pouvoir anticiper avec précision tous les possibles facteurs aléatoires, une interprétation mécaniste de la sélection ne semblerait pas en mesure de satisfaire l'exigence de régularité.

Si nous appliquons le même constat au cas des pinsons offert à la section 4.3, il est facile de concevoir que plusieurs populations de pinsons dans des conditions similaires n'évoluent pas de manière similaire. Dans certains cas, la malchance pourrait avoir raison des organismes supposément mieux adaptés à une sécheresse comme celle décrite en section 4.3. «*As a result, the finches that are the fittest may not in fact have the greatest representation in the subsequent generation, due to the vagaries of disease, predators, lack of success in finding food, or simply being 'in the wrong place at the wrong time'*» (Skipper & Millstein 2005, 343).

Trois pistes de solutions existent afin de résoudre cette critique. Une première solution consiste à reconnaître, ainsi que le propose Bechtel, qu'un mécanisme biologique est irrémédiablement distinct de mécanismes physiques en ce que le biologique se veut

⁴³ Présume l'absence de contraintes développementales.

réactif. Bechtel remarquait justement que l'importance accordée par MDC à une procession linéaire au sein d'un mécanisme, faisait abstraction du fait que les mécanismes «*when they are embedded in larger mechanisms, are continuously responsive to conditions in the larger mechanism*» (Bechtel 2005, 423 n5). De plus, ainsi que nous l'avons vu au chapitre 3, les mécanismes demeurent aussi sensibles aux conditions environnementales.

Even deterministic mechanisms, of course, sometimes fail. Predictions about the future operation of deterministic mechanisms therefore need to include the caveat that the mechanism be working properly and that appropriate conditions obtain (Barros 2008, 312).

Une deuxième piste de solution consiste à distinguer la régularité de fonctionnement d'un mécanisme de la régularité de son output (Glennan 2009). En effet, la critique portant sur la régularité d'un mécanisme est intimement liée à la critique de la continuité productive (*productive continuity*) du mécanisme, que formulaient Skipper et Millstein (voir section 4.4.2). En ce sens, la critique de régularité peut être abordée de la même manière que la critique de la causalité : en différenciant l'output d'un mécanisme de son fonctionnement interne. Par exemple, il est possible de distinguer différents types de mécanismes déterministes ou stochastiques : un mécanisme peut être (a) déterministe à la fois dans son output et dans son fonctionnement, (b) stochastique à la fois dans son output et son fonctionnement, (c) stochastique en son fonctionnement mais déterministe en son output ou (d) déterministe en son fonctionnement mais stochastique en son output (Glennan 1992, 131-133; Glennan 1997, 510-514) «*An example of (c) is a random number generator (...). An example of (d) is the classic kinetic theory of pressure*» (Glennan 1992, 134-135). En ce

sens, la régularité devrait être limitée à certains mécanismes. Et même au sein d'un mécanisme déterministe, des circonstances imprévues pourraient survenir.

Cette deuxième piste de solution ouvre la voie à une troisième, où, en distinguant les enchaînements internes d'un mécanisme de son ou ses effets, il est possible de préserver la distinction entre mécanismes et causes. Comme nous distinguons la causalité interne d'un mécanisme de sa causalité externe, il convient de s'interroger sur le type de régularité qui est exigé d'un mécanisme. Il est en effet envisageable de différencier une régularité interne (régularité du fonctionnement du mécanisme), d'une régularité externe (régularité dans l'obtention d'un output. «(1) *regular occurrence of start-up conditions*, (2) *regular triggering of the mechanism once start-up conditions occur*, (3) *Regular operation of specific activities connecting the entities within a single mechanism* (4) *Regular production of termination conditions once mechanism has been triggered*» Anderson 2010)⁴⁴.

Ainsi, les instances de transmissions neurosynaptiques peuvent être comprises de manière mécaniste même si un tel mécanisme opère de manière irrégulière et disjointe (Bogen 2005). Ceci n'empêche pas a priori de rendre compte de ces transmissions de manière mécaniste. Dans un même ordre d'idées, si au sein d'une population P d'organismes O un certain trait T augmente la *fitness*, une interprétation mécaniste de la sélection naturelle formulerait une prédiction selon laquelle la présence de ce trait devrait

⁴⁴ Contrairement à Glennan, Anderson insiste qu'une distinction entre un indéterminisme ontologique et un indéterminisme épistémologique est sans importance «*Our inability to distinguish ignorance-based and ontological sources of indeterminacy does not threaten the ontological status of mechanism (...) We just don't know how much of the weak connection is intrinsic to the mechanism and how much is due to our ignorance, and so attempting to separate them is an impossible task*» (Anderson 2010); notre ignorance des causes de l'irrégularité d'un mécanisme peut être due à l'impossibilité pratique de prévoir certaines interférences (*disturbances*) au bon fonctionnement d'un mécanisme.

augmenter au fil des générations subséquentes. Toutefois, une malchance pourrait faire en sorte que les individus porteurs du trait T se retrouvent en un même lieu au moment d'un éboulement et par conséquent, que la présence du trait T n'augmente pas.

By its terms, the prediction is probabilistic, and therefore less than certain. This is especially true before the beneficial trait has become widely established in a population when the individuals that have the trait could fail to survive and reproduce for reasons that have no connection with the beneficial trait (Barros 2008, 312).

Ceci affectera différentes populations différemment : au sein d'une large population, des événements aléatoires (désastres naturels, malchances d'organisme autrement mieux adaptés...) ont lieu, mais tendront à s'égaliser. Les chances que tous les individus qui partagent un trait avantageux T soient victimes d'une même malchance diminuent proportionnellement à la fréquence du trait. Par exemple, un individu parfaitement adapté pourrait se trouver sur les lieux d'un éboulement et périr sans laisser de descendants alors qu'un congénère moins bien adapté aurait par chance échappé au désastre. Toutefois, il suffit d'imaginer une population de seulement trois individus où le mieux adapté serait victime d'un éboulement et par conséquent, que la présence du trait T n'augmente pas. *«What happens in an actual population of organisms also depends both on the chances of surviving and reproducing of the members of that population, and on how large the population is»* (Lewens 2009, 2).

Il est important de préciser que, nonobstant le degré, la force ou robustesse de la régularité d'un mécanisme, il demeure primordial qu'un mécanisme implique une certaine

forme de régularité. *«It is crucial for individuation in this way that mechanisms have at least some minimal form of regularity. One-offs, causal chains of entities and activities that by definition occur once, cannot be individuated in this way»* (Anderson 2010) Le mécanisme demeure donc un sous-ensemble des causes, distinct de par la régularité, ce même dans certains cas où il semble *«Regularity provides epistemic access to the causal structure of mechanisms (...)»*.

Chapitre 5: Conclusion

La sélection naturelle est-elle un mécanisme? C'était la question avec laquelle s'ouvrait l'introduction du présent mémoire et à laquelle ce mémoire se proposait de répondre. Alors qu'en est-il? Il est possible de formuler l'ébauche d'une réponse, en commençant par distinguer deux aspects de la même question. D'abord, *peut-on considérer la sélection naturelle comme un mécanisme?*

Sous ce rapport, la réponse est indubitablement oui, il est possible de considérer la sélection comme l'un des mécanismes de l'évolution. Aucune des diverses caractérisations de ce qu'est un mécanisme ne satisfait par elle-même à une interprétation mécaniste de la sélection naturelle. Les caractérisations formulées par MDC et William Bechtel sont trop rigides, la première vis-à-vis les notions de régularité et de continuité productive (MDC 2000), la deuxième vis-à-vis la représentation d'un mécanisme comme localisé dans l'espace, une notion qui convient mal à la sélection (Bechtel 2005, 428). À l'opposé, l'approche interventionniste semble insuffisante à cerner adéquatement la distinction entre un mécanisme et un système causal.

Une critique similaire pourrait être formulée à l'égard des stratégies de modélisation et d'identification d'un mécanisme. MDC et Bechtel ont proposé des démarches riches et spécifiques, permettant d'identifier un mécanisme et de reconnaître quand un modèle mécaniste devient inadéquat. Par contre, les stratégies offertes ne semblent pas toujours les mieux choisies dans une perspective évolutionniste. D'un autre côté, l'approche interventionniste fait des adeptes. Sa simplicité ainsi que le lien entre un changement d'état sur lequel il est possible d'intervenir semble intuitivement plus approprié à la recherche en

biologie de l'évolution. Bref, certaines caractérisations semblent correspondre, mais aucune ne répond entièrement aux multiples particularités d'une interprétation mécaniste de la sélection naturelle. Il s'agit donc de regrouper les différentes propositions, afin de répondre aux objections légitimes que soulève cette interprétation mécaniste tout en assurant de ne pas perpétuer un flou conceptuel (où le terme *mécanisme* ne désigne simplement que toute relation causale un tant soit peu complexe).

Par contre, il est aussi possible de formuler un deuxième aspect à la question, c'est-à-dire *devrait-on considérer la sélection naturelle comme un mécanisme?* En d'autres mots, pourquoi devrions-nous privilégier une interprétation mécaniste face à des conceptions concurrentes où la sélection naturelle est une force ou une cause. Sous ce rapport, la prudence reste de mise.

Il reste en effet difficile de répondre catégoriquement. L'intuition abordée dans le cadre de ce mémoire est qu'une interprétation mécaniste de la sélection naturelle permettrait de mieux cibler le locus de sélection, l'unité de sélection (ou le niveau de sélection), ainsi de suite. L'interprétation mécaniste agirait ainsi comme une contrainte, en commençant par l'identification d'un output (ou phénomène d'intérêt), puis des variables liées à cet output (ainsi que des valeurs que ces variables peuvent prendre), ensuite de la relation d'invariance à l'intérieur de laquelle sont impliquées ces variables. Toutefois, il faut reconnaître que de plus amples recherches devront être faites afin de confirmer cette intuition qui a été la nôtre dans le cadre du présent mémoire.

Bibliographie

Ackerman, Robert (1969). "Mechanism, Methodology and Biological Theory." Synthese **20** 219-229.

Balme, David M. (1987) "Teleology and necessity" in Allan Gotthelf and James G. Lennox (eds.), Philosophical issues in Aristotle's biology 275-285.

Barros, Benjamin D. (2008). "Natural Selection as a Mechanism." Philosophy of Science **75** : 306–322.

Beatty, John (1984). "Chance and natural selection." Philosophy of Science **51** (2): 183-211

Beatty, John (1995). "The Evolutionary Contingency Thesis" in G. Wolters and J. Lennox (eds.), Concepts, Theories, and Rationality in the Biological Sciences: The Second Pittsburgh-Konstanz Colloquium in the Philosophy of Science. Pittsburgh: University of Pittsburgh.

Bechtel, W. (2008). Mental mechanisms: Philosophical perspectives on cognitive neuroscience. London, Routledge.

Bechtel, W. and R. Richardson (1993). Discovering Complexity: Decomposition and Localization as Strategies in Scientific Research. Princeton, Princeton University Press.

Bechtel, William and Adele Abrahamsen (2005). "Explanation: A Mechanist Alternative," in Carl F. Craver and Lindley Darden (eds.), Special Issue: "Mechanisms in Biology," Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences **36**: 421-441

Bogen, James (2005). "Regularities and Causality: Generalizations and Causal Explanations." Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Science **36**: 397–420.

Bogen, James and Woodward, J (1989). "Saving the Phenomena." The Philosophical Review **3**: 303-352.

Bouchard, Frederic, and Alex Rosenberg (2004). "Fitness, Probability, and the Principles of Natural Selection." British Journal for the Philosophy of Science **55**: 693–712.

Brandon, Robert N. (1990). Adaptation and Environment. Princeton University Press, Princeton

Brandon, Robert N. (1996). Concepts and methods in evolutionary biology. Cambridge Cambridge University Press.

Brandon, Robert N. (1997). "Does Biology Have Laws? The Experimental Evidence." Supplement. Proceedings of the 1996 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association **64**: S444-457.

Brandon, Robert N. and Beatty, J. (1984). "The Propensity Interpretation of 'Fitness' -- No Interpretation is No Substitute". Philosophy of Science **51** (2): 342-347

Brandon, Robert N. & Burian, R. (eds). (1984). Genes, Organisms and Populations. Controversies Over the Units of Selection, Cambridge, MA, MIT Press.

Bunge, M. (2004). "How Does It Work? The Search for Explanatory Mechanisms." Philosophy of the Social Sciences **34**(2): 182-210.

Campaner, R. (2006). "Mechanisms and Counterfactuals: A different Glimpse of the (Secret?) Connexion." Philosophica **77**: 15-44.

Cartwright, Nancy (1989). Nature's Capacities and their Measurement. Oxford: Oxford University Press.

Cartwright, Nancy (2000). "Measuring Causes: Invariance, Modularity and the Causal Markov Condition." London: CPNSS Measurement in Physics and Economics Discussion Paper Series, LSE .

Cartwright, Nancy (2001). "Modularity: It Can-and Generally Does-Fail." Stochastic Causality. Maria Carla Galavotti, Patrick Suppes and Domenico Costantini (eds .).

Cartwright, Nancy (2004). "From Causation To Explanation and Back." in The Future for Philosophy (2006) Leiter, B. (ed.) London: Oxford University Press

Cartwright, Nancy (2007). Hunting Causes and Using Them: Approaches in Philosophy and Economics. New-York: Cambridge University Press, 280 pages

Cooper, John M. (1987). "Hypothetical necessity and natural teleology" in Allan Gotthelf and James G. Lennox (eds.), Philosophical issues in Aristotle's biology. 243-274.

Craver, C. F. (2001). "Role Functions, Mechanisms, and Hierarchy." Philosophy of

Science **68**: 53-74.

Craver, C. F. (2002). "Interlevel Experiments and Multilevel Mechanisms in the Neuroscience." Philosophy of Science **69**: 83-97.

Craver, C. F. (2003). "The Making of a Memory Mechanism." Journal of the History of Biology **36**: 153-195.

Craver, C. F. (2006). "When Mechanistic Models Explain." Synthese **153**: 355-376.

Craver, C. F. (2009). "Mechanisms and natural kinds." Philosophical Psychology **22**(5): 575-594.

Craver, C. F. and W. Bechtel (2005). Mechanisms and Mechanistic Explanation. The Philosophy of Science: An Encyclopedia. S. Sarkar and J. Pfeiffer.

Craver, C. F. and W. Bechtel (2007). "Top-down Causation Without Top-down Causes." Biology and Philosophy **22**: 547-563.

Daniel, M. H. (2005). "Causal Relata: Tokens, Types or Variables?" Erkenntnis **63**: 33-54.

Darden, L. (2001). Discovering Mechanisms: A Computational Philosophy of Science Perspective. Discovery Science. K. P. Jantke and A. Shinohara. New York, Springer: 3-15.

Darden, L. (2002). "Strategies for Discovering Mechanisms: Schema Instantiation, Modular Subassembly, Forward/Backward Chaining." Philosophy of Science **69**: S354-365.

Darden, L. (2006). Reasoning in Biological Discoveries: Essays on Mechanisms, Interfield Relations, and Anomaly Resolution. New York, Cambridge University Press.

Darden, L. (2007). Mechanisms and Models. Cambridge Companion to Philosophy of Biology. D. L. Hull. New York, Cambridge University Press: 139-159.

Darden, L. (2008). "Thinking Again About Mechanisms." Philosophy of Science **75**(5): 958-969.

Darden, L. and J. A. Cain (1989). "Selection Type Theories." Philosophy of Science **56**(106-129).

Darwin, C. (1859). L'Origine des espèces. Paris, Flammarion.

Dauler, M. W. (1999). Ideas and mechanism : essays on early modern philosophy. Princeton, N.J, Princeton University Press.

Dobzhansky, T. (1973). "Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution." American Biology Teacher **35**: 125-129.

Duchesneau, F. (1997). Philosophie de la biologie. Paris, Presse Universitaires de France.

Garber, Daniel (2002). "Descartes, Mechanics, and the Mechanical Philosophy". Midwest Studies in Philosophy **26** (1):185–204

Giere, Ronald (1999). Science Without Laws. Chicago: University of Chicago Press.

Glennan, S. (1996). "Mechanisms and the Nature of Causation." Erkenntnis **44**(1): 49-71.

Glennan, S. (2002). "Rethinking Mechanistic Explanation." Proceedings of the Philosophy of Science Association **69**(3): S342-353.

Glennan, S. (2005). "Modeling Mechanisms." Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences **36**: 443-464.

Grant, P. R. and P. T. Boag (1981). "Intense natural selection in a population of Darwin's Finches (Geospizinae) in the Galapagos." Science **214**: 82-85.

Grant, P. R. and R. B. Grant (2006). "Evolution of Character Displacement in Darwin's Finches." Science **313**: 224-226.

Haug, Matthew C. (2007). "Of Mice and Metaphysics: Natural Selection and Realized Population-Level Properties." Philosophy of Science **74**: 431–451.

Hausman, D. M. (2005). "Causal Relata: Tokens, Types, or Variables?" Erkenntnis **63**: 33-54.

Hempel, C. G. (1966). Philosophy of Natural Science. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.

Hempel, Carl G. and Oppenheim, P. (1948). "Studies in the Logic of Explanation." Philosophy of Science **15**: 135-175.

Hodge, M.J.S. (1992). "Biology and Philosophy (Including Ideology): A Study of Fisher and Wright", in S. Sarkar (ed.), The Founders of Evolutionary Genetics, Boston Studies in the Philosophy of Science. **142**: 231–393.

Lewens, Tim (2009) "The Natures of Selection." The British Journal for the Philosophy of Science Advance. 1–21

Lewontin, Richard (1978). "Adaptation." Scientific American **239**(9): 156-169.

Lipton, Peter (1991). "Inference to the Best Explanation". London: Routledge.

Machamer, P. (2004). "Activities and Causation: The Metaphysics and Epistemology of Mechanisms." International Studies in the Philosophy of Science **18**: 27-39.

Machamer Peter, Darden, Lindley et al. (2000). "Thinking About Mechanisms." Philosophy of Science **1**: 1-25.

Matthen, Mahon, and Ariew Andrew (2002). "Two Ways of Thinking about Fitness and Natural Selection." Journal of Philosophy **99**: 55–83.

Matthen, Mahon, and Ariew Andrew (2005). "How to Understand Causal Relationships in Natural Selection: Reply to Rosenberg and Bouchard." Biology and Philosophy **20**: 355–364.

Mills, S. and Beatty, J. (1979). "The propensity interpretation of fitness." Philosophy of Science. **46**: 263–286.

Millstein, Roberta L. (2006). "Natural Selection as a Population Level Causal Process." British Journal for the Philosophy of Science **57**: 627–653.

Mitchell, S. D. (2008). "Exporting Causal Knowledge in Evolutionary and Developmental Biology." Philosophy of Science **75**: 697-706.

Morgan, S. L. (2007). Counterfactuals and causal inference: methods and principles for social research. New York, Cambridge University Press.

Raerinne, Jani (2010). "Causal and Mechanistic Explanations in Ecology." Acta Biotheoretica **59** (3):251-271.

Raven, P. H. and G. B. Johnson (2002). Biology. Boston, McGraw-Hill.

Reisman, Kenneth, and Forber Patrick (2005). "Manipulation and the Causes of Evolution." Philosophy of Science **72**: 1113–1123.

Rudge, David W. (1999). "Taking the Peppered Moth with a Grain of Salt." Biology and Philosophy **14**: 9–37.

Ruse, M. (1973). The philosophy of biology London, Hutchinson.

Ruse, M. (1988). Philosophy of Biology Today. Albany, State University of New York Press

Ruse, M. (2005). "Darwinism and mechanism: Metaphor in science." Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences **36**: 285-302.

Ruse, Michael ed. (2008). The Oxford Handbook of Philosophy of Biology Oxford: Oxford University Press.

Salmon, W. (1984). Scientific Explanation and the Causal Structure of the World. Princeton, Princeton University Press.

Salmon, W. (1989). Four Decades of Scientific Explanation. Minneapolis, University of Minnesota Press.

Salmon, W. (1998). Causality and Explanation. Oxford: Oxford University Press.

Scriven, Michael (1959). "Explanation and Prediction in Evolutionary Theory." Science **130**: 477-82.

Shapin, S. (1996). The scientific revolution. Chicago, University of Chicago Press.

Skelton, P. and Gilmour, I. (1993). Evolution : a biological and palaeontological approach. Wokingham, England, Addison-Wesley.

Skipper, R. A. and Millstein R. L. (2005). "Thinking about Evolutionary Mechanisms: Natural Selection." Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences **36**: 327-347.

Sober, E. (1984). The nature of selection : evolutionary theory in philosophical focus. Cambridge, MIT Press.

Sober, E. (1997). "Two Outbreaks of Lawlessness in Recent Philosophy of Biology." Philosophy of Science: Supplement. Proceedings of the 1996 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II: Symposia Papers. **64**:

S458-S467.

Sober, E., and Lewontin, R. (1982). "Artifact, cause, and genic selectionism." Philosophy of Science **49**: 157-180.

Sober, E. and D. S. Wilson (1994). "A critical review of philosophical work on the units of selection problem." Philosophy of Science **61**(4): 534-555.

Sober, E. Shapiro, Larry (2007) "Epiphenomenalism -- the Do's and the Don'ts." In G. Wolters and P. Machamer (eds), Studies in Causality: Historical and Contemporary. University of Pittsburgh Press, 235-264.

Steel, Daniel (2010). "Cartwright on causality: Methods, metaphysics and modularity." Economics and Philosophy **26**: 77–86.

Sterelny, K. and P. Kitcher (1988). "The return of the gene." The Journal of Philosophy **85**: 339-361.

Tabery, J. (2004). "Synthesizing Activities and Interactions in the Concept of a Mechanism." Philosophy of Science **71**: 1-15.

Walsh, Denis, Lewens, Tim and Ariew, Andre (2002). "The Trials of Life: Natural Selection and Drift." Philosophy of Science **69**: 452–473.

Waters, K. C. (2005). "Why genic and multilevel selection theories are here to stay." Philosophy of Science **70**: 311-333.

Westfall, R. S. (1971). The Construction of Modern Science: Mechanisms and Mechanics. New York, John Wiley and Sons inc.

Wilson, R. A. (2003). "Pluralism, entwinement and the levels of selection." Philosophy of Science **70**: 531-552.

Woodward, J. (2000). "Explanation and Invariance in the Special Sciences." British Journal for the Philosophy of Science **51**: 197-254.

Woodward, J. (2001). "Law and Explanation in Biology: Invariance is the Kind of Stability That Matters." Philosophy of Science **68**: 1-20.

Woodward, J. (2002). "What Is a Mechanism? A Counterfactual Account." Philosophy of Science **69**: 366-377.

Woodward, J. (2003). Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation.

New York, Oxford University Press.

Woodward, J. (2006). "Sensitive and Insensitive Causation." Philosophical Review **115**(1): 1-50.

