

Université de Montréal

L'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes

Par :

Karl Degré

Département de Philosophie

Faculté des arts et sciences

Mémoire présenté à la Faculté de philosophie

en vue de l'obtention du grade de maître

en philosophie

Août 2011

© Karl Degré 2011

Université de Montréal

Faculté des arts et sciences

Ce mémoire (ou cette thèse) intitulé(e) :

L'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes

Présenté par :

Karl Degré

A été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes :

Président-rapporteur

Directeur de recherche

Frédéric Bouchard

Membre du jury

Examineur externe

Représentant du doyen

Résumé

Les concepts d'écosystèmes et de communautés sont centraux aux explications en écologie ainsi qu'à plusieurs débats environnementaux. Cependant, depuis l'introduction de ces concepts, leur statut ontologique est controversé (c'est-à-dire un écosystème a-t-il une existence à part entière au-delà de l'existence de ses parties constituantes?). Alors que certains favorisent une interprétation épistémique de ces concepts, d'autres défendent plutôt que ces unités écologiques fassent partie intégrante du monde naturel. Dans le cadre de ce mémoire, j'argumente que la meilleure manière d'appréhender cette question ontologique est de comprendre que les communautés ainsi que les écosystèmes sont des mécanismes. Plus précisément, je propose que les écosystèmes et les communautés soient des ensembles d'entités et d'activités organisés de manière à exhiber de manière régulière des phénomènes précis. Les entités sont les composantes de ces mécanismes (ex : espèce, niche écologique) alors que les activités sont les relations causales produisant des changements (ex : photosynthèse, prédation). Finalement, les phénomènes que ces mécanismes produisent sont les propriétés émergentes propres au niveau d'organisation des communautés et des écosystèmes (ex. : pH, Biomasse). En utilisant l'approche manipulationniste développée par James Woodward (2003, 2004, 2010), j'argumente qu'il est possible d'identifier les composantes causales des écosystèmes et des communautés ainsi que leurs relations. Puisqu'il est possible de manipuler empiriquement et de manière contrefactuelle de différentes manières les communautés et les écosystèmes (Penn 2003; Swenson et Wilson 2000), je conclus que nous pouvons affirmer de manière robuste (Wimsatt 2007) que ces entités existent réellement.

Mots clés : Philosophie, Écologie, Biologie, Communauté, Écosystème, Ontologie, Manipulation, Mécanisme, Explication, Robustesse.

Abstract

The concepts of ecosystem and community are central to ecological explanations. However, since the introduction of these concepts, their ontological status is controversial. Taking as a starting point the mechanistic explanatory theories in philosophy of science, I argue that ecosystems and communities are mechanisms. More precisely, I suggest that they are entities and activities organized in such a way as to exhibit regular and precise phenomena (Machamer, Darden, Craver 2000). While entities are the components of the mechanisms (ex: species, ecological niche), activities are the causal relations that produce changes (ex: photosynthesis, predation). Finally, the interaction of the entities and the activities produce emerging properties that are unique to the community and ecosystem level (ex: pH, biomass). By using the manipulationist theory of Woodward (2003) and the experimental results of Swenson and Wilson (2000), I argue that it is possible to identify the causal components of the ecosystems and communities and their relations to one another. Since it is possible to manipulate empirically and counterfactually ecosystems and communities, I conclude that they are real entities.

Key words: Philosophy, Ecology, Biology, Community, Ecosystem, Ontology, Manipulation, Mechanism, Explanation, Robustness.

Table des matières

Introduction	13
Chapitre 1 : Classification des concepts de communauté et d'écosystème	23
Chapitre 2 : Explication en écologie : l'approche nomique	44
Chapitre 3 : Explication en écologie : manipulations et mécanismes	64
Chapitre 4 : L'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes	87
Conclusion	111
<i>Bibliographie</i>	118

Table des matières détaillée

<i>Introduction</i>	13
0.1 État des lieux	14
0.1.1 Définitions minimales	14
0.1.2 <i>Les conceptions épistémique et réaliste</i>	15
0.2 Méthodologie : naturalisme méthodologique et ontologique	17
0.3 Division du mémoire	19
<i>Chapitre 1 : Classification des concepts de communauté et d'écosystème</i>	23
1.1 Introduction	23
1.2 Classification des définitions de communauté et d'écosystème	24
1.2.1 Critère de frontière	24
1.2.2 Critère d'identification	26
1.2.3 Degré de relation interne	28
1.2.4 Critère ontologique	32
1.3 Classification des concepts de communauté et d'écosystème chez les biologistes	34
1.4 Classification des concepts de communauté et d'écosystème chez les philosophes	37
1.5 Conclusion	42
<i>Chapitre 2 : Explication en écologie : l'approche nomique</i>	44
2.1 Introduction	44
2.2 Lois et explications : le modèle déductivo-nomologique	45
2.2.1 Le modèle déductivo-nomologique	46
2.2.2 Que sont les lois?	47
2.2.3 Objections au modèle déductivo-nomologique	49
2.2.4 Le modèle déductivo-nomologique appliqué à l'écologie	51
2.3 Loi en écologie : le cas des allométries	55
2.3.1 Que sont les allométries?	56
2.3.2 Elgin	58
2.4 Critique : allométries et causalité	59
2.4.1 Le problème de la pertinence explicative	60
2.4.2 Le problème de l'asymétrie explicative	61
2.5 Conclusion	62

<i>Chapitre 3 : Explication en écologie : manipulations et mécanismes</i>	64
3.1 Introduction	64
3.2 Causalité et explications	65
3.2.1 Causalité	65
3.2.2 Causalité et explications	68
3.3 Manipulation et explication	72
3.4 Mécanisme et explication	76
3.5 Explication en écologie	80
3.5.1 Explication du fonctionnement des écosystèmes	80
3.5.2 Manipulation et explication en écologie	84
3.5.3 Mécanisme et explication en écologie	85
3.6 Conclusion	86
<i>Chapitre 4 : L'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes</i>	87
4.1 Introduction	87
4.2 Robustesse et ontologie	88
4.2.1 Qu'est-ce que la robustesse?	88
4.2.2 Trois types de robustesses	89
4.2.3 Robustesse phénoménale	93
4.3 Argument en faveur de la conception ontologique des communautés et des écosystèmes	95
4.3.1 L'argument	95
4.3.2 Deux exemples d'entités écologiques	100
4.3.2.1 Communauté	100
4.3.2.2 Écosystème	102
4.4 Que sont les communautés et les écosystèmes?	105
4.5 Répondre à l'argument des frontières	108
4.6 Conclusion	109
<i>Conclusion</i>	111
<i>Bibliographie</i>	118

Liste des tableaux

Tableau I : Classification du concept de «communauté» selon certains biologistes	35
Tableau II : Classification du concept d'«écosystème» selon certains biologistes	36

Liste des figures

Figure 2.1 : Allométrie de Kleiber	57
Figure 3.1 Distinction entre corrélation et causalité	66
Figure 3.2 Relation causale asymétrique	68
Figure 3.3 Relation causale complexe	69
Figure 3.4 Distinction entre relation causale et généralisation accidentelle	70
Figure 3.5 Relation causale simple	73
Figure 3.6 Représentation des relations causales identifiées par Tilman et al (1997)	84
Figure 4.1 Structure d'un théorème robuste	90
Figure 4.2 Structure d'une détection robuste	91
Figure 4.3 Structure d'un phénomène robuste	93

Liste des abréviations

DN : déductivo-nomologique

MDC : Machamer, Darden et Craver

-À mes parents qui m'ont toujours encouragé dans mes projets un peu fous.

Je tiens à remercier mon directeur Frédéric Bouchard pour m'avoir fait confiance de mener à terme ce projet dans des délais si courts ainsi que pour l'encadrement et les nombreux bons conseils qu'il m'a offerts. Merci au département de philosophie ainsi qu'au Centre de recherche sur la science et la technologie (CIRST) pour le soutien académique et financier au courant de mon passage aux cycles supérieurs. Finalement, merci Kathia pour tout le support et les encouragements depuis déjà si longtemps.

Introduction

- *Finally, don't accept any philosophical theory that has a consequence that most scientists don't know what they are doing, or are doing it wrong. Science (and its technological ancestors and extensions) has worked too well for too long for that to be true. Expect to be pleasantly surprised when you look more closely.*

Wimsatt 2007, p 341-342

Le monde biologique est hautement hiérarchisé. Des gènes aux écosystèmes, les biologistes expliquent des phénomènes se produisant à une multitude de niveaux d'organisations. Alors que le statut ontologique du niveau d'organisation occupé par les humains ainsi que ceux inférieurs à ce dernier est rarement remis en question (peu de gens doutent de leur propre existence ou croient qu'ils sont des monades), le statut ontologique des niveaux supérieurs est hautement controversé.

En philosophie de l'écologie, ce débat prend la forme d'un questionnement portant sur l'existence réelle ou non des communautés et des écosystèmes : c'est-à-dire un écosystème a-t-il une existence à part entière au-delà de l'existence de ses parties constituantes? Alors que certains favorisent une interprétation épistémique de ces concepts, d'autres défendent plutôt que ces unités écologiques fassent partie intégrante du monde naturel. Ces deux concepts étant centraux aux explications en écologie ainsi qu'à plusieurs débats environnementaux, une analyse de cette controverse est urgente. Dans le cadre de ce mémoire, j'aborde la question du statut ontologique des communautés et des écosystèmes du point de vue de la philosophie de la biologie. Bien que ce débat soit en partie une question d'histoire des sciences en raison de son rôle constitutif pour l'écologie (Tansley 1935; Gleason 1939), je l'aborderai dans une perspective de philosophie de l'écologie et de philosophie des sciences contemporaine.

M'inspirant des théories de l'explication mécaniste en philosophie de science (Bechtel 2005; Glennan 2005; Machamer, Darden et Craver 2000; Salmon 1998; Wimsatt 2007; Woodward 2002), j'argumente que la meilleure manière d'appréhender la question ontologique est de comprendre que les communautés ainsi que les écosystèmes sont des mécanismes. Plus précisément, je propose que les écosystèmes et les communautés soient des ensembles d'entités et d'activités organisés de manière à exhiber de manière régulière des phénomènes

précis. Les entités sont les composantes de ces mécanismes (ex : espèce, niche écologique) alors que les activités sont les relations causales produisant des changements (ex : photosynthèse, prédation). Finalement, les phénomènes que ces mécanismes produisent sont les propriétés émergentes propres au niveau d'organisation des communautés et des écosystèmes (ex. : pH, Biomasse). En utilisant l'approche manipulationniste développée par James Woodward (2003, 2004, 2010), j'argumente qu'il est possible d'identifier les composantes causales des écosystèmes et des communautés ainsi que leurs relations. Puisqu'il est possible de manipuler empiriquement et de manière contrefactuelle de différentes manières les communautés et les écosystèmes (Penn 2003; Swenson et Wilson 2000), je conclus que nous pouvons affirmer de manière robuste (Wimsatt 2007) que ces entités existent réellement.

Dans cette introduction, je présente rapidement l'état des lieux du débat portant sur le statut ontologique des communautés et des écosystèmes. Par la suite, je précise la méthodologie que j'utiliserai afin de proposer une solution à ce débat. Je termine en présentant la division de mon mémoire ainsi que les liens logiques unissant les différentes sections.

0.1 État des lieux

Depuis l'introduction des concepts de communautés et d'écosystèmes en écologie, aucune définition précise de ces derniers ne fait l'unanimité (Golley 1993; Kingsland 1985, 2005; McIntosh 1985). En absence d'un consensus sur ce que sont réellement ces unités écologiques, les chercheurs tendent chacun à offrir une définition différente adaptée à leurs besoins respectifs (Jax 2006). Dans cette section, je présente les définitions minimales adoptées par tous les chercheurs avant d'expliquer pourquoi ces dernières sont insatisfaisantes. Par la suite, je présente les deux solutions possibles à la question du statut ontologique des communautés et des écosystèmes : la conception épistémique et la conception ontologique.

0.1.1 Définitions minimales

De manière minimale, tous les chercheurs s'entendent sur les définitions suivantes des communautés et des écosystèmes (Jax 2006 p. 240):

- Communauté : assemblage d'organismes de différentes espèces dans le temps et l'espace.

- Écosystème : assemblage d'organismes de différentes espèces ainsi que leur environnement abiotique (c'est-à-dire non vivant) dans le temps et l'espace.

Le problème avec ces définitions est qu'elles sont très floues et peu opérationnelles. En effet, plusieurs questions demeurent sans réponses. Par exemple : comment pouvons-nous identifier et délimiter ces unités écologiques? Ces dernières se doivent-elles d'être spatiotemporellement continues? Existe-t-il des relations causales entre les différentes composantes de ces concepts? Se produit-il des phénomènes particuliers à ces niveaux d'organisation? Les communautés et les écosystèmes existent-ils ontologiquement?

Avec tant d'interrogations demeurant sans réponses, il n'est pas surprenant que plusieurs écologistes utilisent les concepts de communautés et d'écosystèmes différemment. Cette grande diversité d'utilisation est présentée en détail dans le chapitre 1. Pour le moment, je propose un survol des différentes positions ontologiques possibles concernant les communautés et les écosystèmes.

0.1.2 Les conceptions épistémique et réaliste

De manière majoritaire, aussi bien les écologistes que les philosophes adhèrent à une interprétation épistémique des communautés et des écosystèmes (Jax 2006). Selon cette position, les communautés et les écosystèmes sont des concepts utiles jouant un rôle épistémique important en écologie. Ces concepts ne font cependant référence à aucune entité réelle. L'identification ainsi que la délimitation de ces unités écologiques sont des questions pragmatiques et donc, différents chercheurs peuvent légitimement diviser le monde écologique différemment.

De manière souvent implicite chez les biologistes, mais plus explicite chez les philosophes (voir notamment Peters 1991), les défenseurs de la conception épistémique adhèrent à une forme d'instrumentalisme. C'est-à-dire que l'objectif de l'écologie est d'offrir des prédictions efficaces et non pas de décrire adéquatement le monde réel (Cooper 2003, p.137-140). Les théories et les modèles sont vus comme des outils et ces derniers remplissent bien leurs fonctions s'ils sont en mesure d'effectuer des prédictions adéquates (Peter 1991 p.105). Dans un tel contexte, parler d'ontologie n'est pas important, car l'adéquation au monde n'est pas nécessaire afin de rendre un modèle prédictif.

Les défenseurs de la conception épistémiques tendent aussi bien souvent à adopter une conception agrégative des communautés et des écosystèmes. C'est-à-dire que ces unités écologiques sont considérées comme n'étant «rien de plus» que la somme de leurs parties (plus de détail sur ce point au chapitre 4). Dans cette optique, parler de l'ontologie des niveaux d'organisations supérieurs n'est pas important, car les niveaux d'organisations inférieurs expliquent entièrement les phénomènes écologiques.

Contrairement cette position, les défenseurs de la conception réaliste (par exemple : Cooper 2003; Odenbaugh 2007) soutiennent que les communautés et les écosystèmes existent réellement. Selon ces derniers, il est possible d'identifier ainsi que de délimiter objectivement ces unités écologiques. L'idée sous-jacente à cette thèse est que si nous sommes en mesure d'identifier des processus ou encore des relations causales propres au niveau des communautés et des écosystèmes, alors il est possible d'identifier et de délimiter ces unités écologiques de manière objective.

En accordant un rôle important au statut ontologique des unités écologiques, les défenseurs de la conception réaliste se distancent de l'instrumentalisme soutenu par l'approche épistémique. Selon les réalistes, l'objectif de la science n'est pas seulement de prédire efficacement l'occurrence de différents phénomènes, mais aussi de décrire et d'expliquer adéquatement le fonctionnement réel du monde (Cooper 2003 p.185-186; voir chapitre 3). Dans cette optique, afin que l'écologie produise des explications, il est nécessaire qu'elle porte son attention à des niveaux d'organisation possédant un statut ontologique réel. Sinon, nous risquons de tomber dans une forme d'instrumentalisme. En soutenant que les communautés et les écosystèmes existent réellement, les réalistes tentent donc de légitimer la démarche explicative en écologie.

La conception réaliste possède aussi des liens avec une vision plus holiste de l'écologie (Clements 1916; voir chapitre 4 de ce mémoire). Ceci signifie que selon les réalistes, aucun niveau d'organisation n'est en mesure à lui seul d'expliquer l'ensemble des phénomènes écologiques. La raison de ceci est que les phénomènes se produisant au niveau des communautés et des écosystèmes sont le résultat de l'organisation précise du système. Analysé isolément chaque composante de ce dernier est informative, mais afin de saisir l'ensemble du phénomène il est nécessaire de considérer le système comme un tout représentant plus que la

somme de ses parties. Encore une fois, l'approche réaliste prend ici ses distances face à la conception épistémique.

Malgré la présence de plusieurs désaccords entre l'interprétation épistémique et réaliste, plusieurs défenseurs de la conception épistémique sont sympathiques au projet réaliste (Jax 2006 p.253). Selon ces derniers, s'il est possible de diviser le monde écologique selon des critères causaux, alors nous pouvons identifier des frontières écologiques beaucoup plus naturelles que celles offertes par la conception épistémique. Ces sympathisants sont cependant sceptiques des critères proposés afin d'individualiser le monde écologique. Comme nous le verrons plus tard, ces derniers soulignent (avec raison) que les critères causaux tels que proposés par les réalistes sont peu précis et que leur opérationnalisation est difficilement applicable.

Par rapport à ceci, le défi principal des réalistes est de réussir à clarifier les critères causaux permettant d'identifier et de délimiter les unités écologiques en plus de spécifier une méthode permettant d'appliquer ces derniers. Comme nous le verrons en détail au chapitre 1, les défenseurs de la conception réaliste ont jusqu'à présent concentré leurs efforts à réfuter les arguments provenant du camp épistémique. La tâche positive, soit l'élaboration de critères causaux précis et opérationnalisables, demeure cependant incomplète. Un des objectifs de ce mémoire est de corriger cette lacune de la conception réaliste. La section suivante présente la méthode que j'utiliserai afin d'atteindre cet objectif.

0.2 Méthodologie : Naturalisme méthodologique et ontologique

La science est un outil formidable afin d'expliquer le fonctionnement du monde. L'apport de la méthode scientifique à notre connaissance du monde est un fait indéniable. C'est pourquoi, comme le souligne Wimsatt au début de cette introduction, il serait très surprenant qu'une théorie philosophique rejetant cette méthode ou encore affirmant que les scientifiques l'appliquent mal soit vraie. Malgré l'ensemble de ses mérites, la science demeure cependant une aventure humaine. C'est-à-dire que l'élaboration de cette méthode d'investigation ainsi que son application est effectuée par des êtres faillibles. La philosophie des sciences a donc un rôle critique à jouer afin s'assurer du bon fonctionnement de ce domaine. Ce rôle critique ne signifie cependant pas que la science n'est pas en mesure de nous aider à éclairer certains problèmes philosophiques.

Dans le cadre de ce mémoire, j'adopte à la fois une méthodologie et une ontologie naturaliste. C'est-à-dire que : (1) la méthode scientifique est la seule méthode permettant d'acquérir de la connaissance ou encore des informations fiables dans toutes les sphères (incluant la philosophie) et (2) les entités réelles sont celles capables de faire une différence causale dans notre monde spatiotemporel (Kim 2003 p.86-90). Formulé autrement, ceci signifie que la science offre une méthode et des outils utiles dans un cadre philosophique et que seules les entités naturelles existent réellement¹.

En adoptant ce cadre de recherche, je m'inscris dans une longue tradition philosophique s'inspirant des succès de la science (ex : Hempel 1965; Quine 1969; Reichenbach 1954; Sellars 1927). Selon Kim (2003 p.83), ce courant naturaliste est central à la philosophie anglo-saxonne contemporaine et est partagé, sous une forme ou une autre, par la vaste majorité des philosophes. Cette approche ayant donné des résultats fructueux au fil des années, je suis certain que son application dans le cadre de ce mémoire offrira des résultats intéressants.

Comme mon engagement envers le naturalisme le laisse présager, ma solution au problème du statut ontologique des communautés et des écosystèmes repose en bonne partie sur la pratique écologique contemporaine. Suivant une méthodologie proposée notamment par Wimsatt (2007) (voir aussi Cooper 2003 et Craver 2007), je propose d'analyser la démarche explicative des écologistes afin de développer des outils permettant de répondre à la question ontologique. Plus précisément, j'utilise certaines avancées récentes en philosophie des sciences afin de caractériser la démarche explicative en écologie. Une fois cette caractérisation des critères épistémologiques nécessaire afin d'expliquer adéquatement différents phénomènes écologiques complétée, j'utilise les outils développés dans ce cadre épistémologique afin de répondre à la question ontologique.

Mon objectif en adoptant cette méthodologie est d'offrir une solution à la question ontologique des communautés et des écosystèmes qui soit à la fois philosophiquement rigoureuse et qui possède des bases empiriques solides. De cette manière, ma solution sera à la

¹ Ce type de définition est notamment défendue par Sellars lorsque ce dernier affirme: «I mean that naturalism takes nature in a definite way as identical with reality, as self-sufficient and as the whole of reality. And by nature is meant the space-time-causal system which is studied by science and in which our lives are passed. » (Sellars 1927)

fois compatible avec nos meilleures théories philosophiques et avec nos connaissances écologiques actuelles.

0.3 Division du mémoire

Maintenant que ma méthode argumentative est explicitée, voici comment se divise mon mémoire. Je débute par présenter dans le **chapitre 1** la grande variété de définitions et d'usage des concepts de communauté et d'écosystème dans la littérature scientifique et philosophique. Afin de démontrer ce point, je combine la classification de ces concepts développée par Jax (2006) et Odenbaugh (2007). Les critères de cette classification sont : l'identification des frontières, l'identification des unités écologiques, le degré de relation interne ainsi que le statut ontologique. Après avoir explicité ces critères, je relève différentes utilisations des concepts de communautés et d'écosystèmes dans la littérature biologique et philosophique.

Par la suite, je présente le défi lancé par les défenseurs de la conception épistémique à la conception ontologique, c'est-à-dire: comment peut-on identifier et délimiter objectivement les frontières des unités écologiques? Cette critique prend souvent la forme de l'argument suivant (connu sous le nom d'«argument des frontières» (Odenbaugh 2007 p.633)) :

- 1- Une communauté ou un écosystème existe si et seulement s'il dispose de frontières objectives.
- 2- Or, les communautés et les écosystèmes ne disposent pas de frontières objectives

Conclusion : Les communautés et les écosystèmes n'existent pas objectivement.

Après avoir explicité cet argument ainsi que présenté certaines études écologiques utilisées afin de le soutenir (Davis 1984; Whittaker 1975), je présente la réponse offerte par Odenbaugh (2007). Ce dernier argumente que ces études démontrent que certaines communautés ne sont pas intégrées aussi fortement que certains écologistes le pensent, mais que ceci n'implique pas que ces unités écologiques n'ont pas de statut ontologique réel. Bien que je partage les conclusions d'Odenbaugh à propos du constat à tirer de ces études, je montrerai que cette ligne d'argumentation demeure insatisfaisante. La raison de ceci est qu'il n'est pas suffisant de critiquer les arguments avancés contre la position ontologique. Il est nécessaire, si nous voulons rendre cette thèse crédible, de proposer des arguments positifs en faveur de cette conception. Je conclus ce chapitre en défendant que la manière la plus

convaincante d'offrir une défense du réalisme ontologique de ces unités écologiques soit d'utiliser une approche causale aux critères de délimitation et d'identification.

Comme je l'ai mentionné dans la section précédente, afin de corriger les lacunes de la conception ontologique, je propose d'utiliser les outils développés par les écologistes et les philosophes afin d'expliquer des phénomènes. Il faut donc réexaminer le statut explicatif des énoncés provenant de l'écologie. Dans le **chapitre 2**, j'analyse le modèle déductivo-nomologique (D-N à l'avenir) tel que développé par Hempel (Hempel 1942; 1965; 1966; Hempel et Oppenheim 1948) ainsi que l'application de ce dernier à l'écologie. J'entreprends le chapitre en explicitant ce modèle explicatif avant de faire ressortir les lacunes de ce dernier. Après avoir présenté les attraits de ce modèle, j'argumente qu'il est inadéquat, car: (1) il n'est pas en mesure de distinguer entre loi et généralisation accidentelle (Salmon 1989) et (2) son application dans le cas de l'écologie mène à des conclusions problématiques (Beatty 1995; Cooper 2003). J'analyse par la suite la thèse d'Elgin (2006) qui argumente qu'en modifiant légèrement le modèle D-N, il est possible d'identifier des lois en écologie. J'argumente que ce dernier a raison de désirer limiter la portée de nos énoncés nomiques afin de corriger le modèle hémélien, mais que sa thèse est susceptible aux problèmes de la pertinence explicative et de l'asymétrie explicative déjà adressés à Hempel. Je conclus qu'une approche nomique n'est pas satisfaisante descriptivement et normativement afin de rendre compte des explications en écologie. En raison de ce fait, ce modèle explicatif n'est pas en mesure de nous offrir des outils intéressants afin d'éclairer la controverse portant sur le statut ontologique des communautés et des écosystèmes.

Il est possible d'éviter plusieurs problèmes de l'approche nomique (ex : pertinence explicative, asymétrie explicative) en incluant la causalité dans nos théories de l'explication (Craver 2007; Salmon 1989; Woodward 2003). Je débute ainsi le **chapitre 3** en expliquant la ce que j'entends par causalité ainsi que comment cette notion permet de corriger certaines lacunes du modèle D-N. Par la suite, je présente deux théories de l'explication causale contemporaine : l'approche manipulationniste de James Woodward (2003) et l'approche mécaniste de Machamer, Darden et Craver (2000) (MDC à l'avenir). J'argumente que ces deux théories sont complémentaires et permettent de rendre compte des explications en écologie. Alors que la théorie de Woodward permet d'identifier les relations causales invariantes à inclure dans nos explications, la théorie de MDC permet de rendre compte de l'organisation et

du fonctionnement de ces relations invariantes. En limitant la portée des généralisations explicatives et en portant attention au rôle de la causalité dans les explications scientifiques, ces deux modèles permettent d'éviter plusieurs problèmes présents dans l'approche D-N de Hempel. Afin d'illustrer la complémentarité de ces approches, je présente les travaux de Tilman et al. (1997a; 1997b; 1997c) portant sur le lien entre la diversité fonctionnelle et le fonctionnement de certains processus au niveau des écosystèmes. Cet exemple permet non seulement d'offrir un soutien empirique à ma thèse, mais démontre que plusieurs éléments des approches manipulationnistes et mécanistes sont déjà présents dans la pratique écologique contemporaine. Ces outils épistémiques (manipulations et mécanismes) seront utilisés dans le dernier chapitre afin de défendre la conception ontologique des communautés et des écosystèmes.

Après avoir passé les deux derniers chapitres à explorer comment les écologistes expliquent différents phénomènes, le **chapitre 4** marque le retour à la question ontologique. Dans ce chapitre, j'utilise les pistes de réflexion abordées au chapitre 2 ainsi que les outils développés au chapitre 3 afin de répondre à l'argument des frontières ainsi qu'offrir un argument positif en faveur de la conception ontologique des communautés et des écosystèmes. J'entreprends le chapitre en introduisant le concept de robustesse (Craver 2007; Weisberg 2006; Wimsatt 2007). La robustesse est le fait d'être en mesure de tester à l'aide de plusieurs méthodes indépendantes de la fiabilité d'une entité, d'un processus, d'un résultat ou encore d'un théorème. Suivant Wimsatt (2007), j'argumente que la robustesse est un critère adéquat afin de juger de l'existence ontologique d'une entité.

Par la suite, j'utilise les conclusions du dernier chapitre afin d'argumenter en faveur d'une nouvelle conception des communautés et des écosystèmes : l'interprétation mécaniste. Selon l'interprétation mécaniste, les communautés et les écosystèmes sont des mécanismes composés d'entités et d'activité produisant des phénomènes émergents précis de manière régulière. J'argumente que puisqu'il est possible de manipuler empiriquement et de manière contrefactuelle de différentes manières ces mécanismes, nous pouvons affirmer de manière robuste que ces entités existent réellement. Afin de démontrer que cette approche est opérationnelle et permet de raffiner l'approche causale présentée au chapitre 1, je présente par la suite un exemple réel de communauté et d'écosystème.

Je termine ce chapitre en répondant à l'argument des frontières présenté au chapitre 1. J'argumente que puisque les communautés et les écosystèmes sont des mécanismes et que les frontières des mécanismes sont identifiables par intervention, il est possible d'identifier objectivement les frontières de ces unités écologiques. Les conclusions de mon mémoire permettent donc non seulement de répondre à certaines critiques adressées à la conception ontologique, mais aussi d'offrir une nouvelle piste argumentative positive solidifiant cette thèse.

Chapitre 1 : Classification des concepts de communauté et d'écosystème

Résumé : Le statut ontologique des communautés et des écosystèmes est une question controversée en écologie. Afin de démontrer ce point, je combine la classification de ces concepts développée par Jax (2006) et d'Odenbaugh (2007) (identification des frontières, identification des unités écologiques, degré de relation interne, statut ontologique). Après avoir explicité ces critères, je relève différentes utilisations des concepts de communautés et d'écosystèmes dans la littérature biologique et philosophique. Je conclus que la manière la plus convaincante d'offrir une défense du réalisme ontologique de ces unités écologiques est d'utiliser une approche causale aux critères de délimitation et d'identification.

4.7 Introduction

Tel que nous l'avons mentionné en introduction, le statut ontologique des communautés et des écosystèmes est une question controversée en écologie. Outre les définitions génériques présentées auparavant, il n'existe pas de consensus sur ce que sont réellement ces unités écologiques. Or, puisque ces définitions sont trop floues pour être opérationnalisables, les biologistes tendent à offrir chacun leur propre définition de ces concepts.

Afin de démontrer cette grande diversité, je synthétiserai ici la classification de ces concepts développée par Jax (2006) et d'Odenbaugh (2007). Comme nous le verrons bientôt, les critères utilisés afin d'effectuer cette classification sont : l'identification des frontières, l'identification des unités écologiques, le degré de relation interne et finalement le statut ontologique. Après avoir explicité ces critères, je relève différentes utilisations des concepts de communautés et d'écosystèmes dans la littérature biologique et philosophique.

Je conclus ce chapitre en défendant qu'afin de soutenir une conception ontologique des communautés et des écosystèmes il soit nécessaire de préciser les critères de délimitation et d'identification causaux. S'il est impossible d'identifier objectivement les frontières et le fonctionnement interne de ces unités écologiques, les arguments en faveur d'une conception ontologique des communautés et des écosystèmes perdent beaucoup de leur force. Une fois ce point démontré, les chapitres suivants répondront à ce défi.

1.2 Classification des définitions de communauté et d'écosystème

Dans cette section, je présente les différentes définitions des concepts de communautés et d'écosystèmes utilisées par les biologistes. Afin de classer les différentes définitions, j'analyse ces concepts selon quatre critères proposés par Jax (Jax 2006) (délimitation des frontières, identification des unités écologiques, force des relations à l'intérieur de ces unités, existence ontologique).

1.2.1 Critère de frontière

Il existe selon Jax (2006 p.241) deux grandes approches afin de délimiter les frontières des communautés et des écosystèmes : l'approche topographique et l'approche par processus. Selon le critère topographique, les frontières des unités écologiques sont identifiables par des démarcations physiques saillantes aux yeux des chercheurs (ex : la surface d'un lac, la délimitation entre une forêt et un champ). Ce critère représente, selon Jax, la position dominante en écologie et se retrouve aussi bien dans l'articulation des concepts de populations que de communautés et d'écosystèmes. Un exemple paradigmatique de cette position se retrouve dans la définition offerte par MacArthur de ce qu'est une communauté. Selon ce dernier, une communauté est : « any set of organisms currently living near each other and about which it is interesting to talk » (MacArthur 1971, p.190). Comme l'illustre la citation de MacArthur, ce critère de délimitation est explicitement pragmatique. Les unités écologiques sont ici divisées selon des critères arbitraires représentant les intérêts des chercheurs. Les frontières tracées à l'aide de critères topographiques ne cherchent donc pas à délimiter des frontières objectives de la nature.

Bien que l'approche topographique cherche à délimiter les unités écologiques de manière purement pragmatique, la grande majorité des défenseurs de cette approche ne rejettent pas l'intérêt de parler d'interactions ou de processus (ex : McNaughton 1989; Rowe 1961; Rowe et Barnes 1994)). Ces derniers affirment simplement que l'utilisation de critères causaux n'est pas nécessaire pour diviser les unités écologiques. L'avantage de ce critère selon ses défenseurs est d'être facilement opérationnalisable et d'être très flexible. Cependant, en agissant de la sorte, les chercheurs abandonnent la recherche de division naturelle entre les unités écologiques. Leurs objets d'études deviennent donc purement artificiels.

Selon Jax (2006 p.242), l'autre moyen d'identifier les frontières des unités écologiques est l'approche par processus. Ce critère propose d'identifier les frontières des communautés et des écosystèmes selon la force des interactions causales entre les composantes du système à l'étude. L'idée à la base de cette approche est simplement que certains processus à l'intérieur des systèmes naturels sont plus forts que les interactions hors de ces systèmes. S'il est possible d'identifier ces relations causales, il devient possible d'identifier de manière non arbitraire les frontières des unités écologiques. Les processus causaux au niveau écologique sont cependant très rarement précisément délimités. En pratique, nous devons faire face à des degrés d'interactions. Ceci signifie que bien que les processus causaux soient spatialement et temporellement localisés, les frontières des unités écologiques seront règle générale floue.

Selon moi, un aspect intéressant de ce critère est de permettre une hiérarchisation et un chevauchement des unités écologiques. C'est-à-dire, puisque le critère frontalier est dépendant de la présence de certaines relations causales, la proximité géographique de deux éléments n'implique pas que ces derniers font partie de la même unité écologique. De plus, rien n'empêche logiquement un élément d'avoir un rôle causal dans plus d'un système. Afin d'illustrer ceci, imaginons un lac fictif possédant trois zones écologiques distinctes (surface, eau peu profonde, eau profonde)². De plus, imaginons que le cycle des énergétiques de chaque zone soit indépendant. Dans cet exemple, nous sommes confrontés à trois écosystèmes différents bien que ces derniers soient dans le même lac. Cependant, ces écosystèmes peuvent interagir entre eux et créent un écosystème plus vaste responsable de certains phénomènes (ex : pH). Dans cet exemple, les organismes en eau peu profonde sont géographiquement proches de ceux occupant la surface du lac. Ceci ne signifie cependant pas qu'ils interagissent entre eux afin de créer le cycle des énergétiques. Malgré tout, le fait qu'elles soient indépendantes pour expliquer un phénomène précis n'implique pas qu'elles le sont toujours. Plusieurs unités écologiques du même niveau peuvent donc cohabiter sur un même espace.

Bien que ce critère de démarcation n'implique pas une prise de position ontologique de la part des chercheurs (voir section 1.3), aussi bien les défenseurs de l'approche par processus que de l'approche topographique, considèrent que les frontières correspondant à des processus causaux sont plus naturelles que celles offertes par l'approche topographique (Jax 2006, p.253). Ce critère possède donc l'avantage d'offrir des délimitations plus objectives à nos objets

² Bien que ceci soit mon exemple, je m'inspire librement des travaux d'Odum (1971; 1985).

d'étude. Cependant, les moyens permettant d'identifier et de délimiter ces processus causaux ne sont pas précisés. En absence d'outils permettant l'utilisation efficace de ce critère, l'approche par processus est donc difficilement opérationnalisable.

Dans le meilleur des mondes, les critères topographiques et par processus seraient coextensifs. C'est-à-dire que les critères topographiques facilement opérationnalisables correspondraient aux délimitations causales des systèmes naturels. De cette manière, il serait possible d'unir les forces des deux approches tout en évitant leurs défauts respectifs. Il est vrai que dans certains cas les délimitations topographiques peuvent servir de proxys intéressants afin d'identifier la fin de processus causaux. Malheureusement, la réalité n'est généralement pas aussi simple (Jax 2006, p.242). Le fait est que les relations causales n'arrêtent pas en vertu des intérêts des chercheurs. Ceci signifie que la proximité topographique de plusieurs éléments n'implique pas que ces derniers interagissent. Tel que formulé ci-dessus, ces deux critères sont donc distinct et irréductible l'un à l'autre.

1.2.2 Critère d'identification

Un deuxième critère permettant de distinguer les différents concepts de communautés et d'écosystèmes est le moyen utilisé afin d'identifier ces unités écologiques. Il existe, selon Jax (2006 p.240), deux candidats à ce titre : l'approche statistique et l'approche fonctionnelle.

L'approche statistique propose d'identifier une unité écologique selon l'occurrence répétée de certains éléments. Par exemple, si un assemblage similaire de plusieurs espèces est observé de manière régulière, alors cet assemblage sera considéré comme une communauté. Dans l'écologie contemporaine, ce critère se retrouve sous la forme de l'identification d'unité écologique à l'aide de patterns statistiques récurrents (Zenetos 1996). Ces patterns sont obtenus à l'aide de méthodes statistiques multivariées (Leps et Smilauer 2003). Si deux patterns similaires sont identifiés, ces deux éléments sont considérés comme étant le même type d'unité écologique. Ce type de pattern est utilisé très fréquemment chez les écologistes étudiant la distribution des végétaux. Par exemple, Whittaker (1962) étudie la distribution statistique de certaines espèces d'arbres (particulièrement les hêtres) selon un gradient d'élévation. L'objectif de ceci est de déterminer à quelle altitude et dans quel type d'environnement la forêt boréale (qui est ici considéré comme une communauté) peut se développer.

La force de cette approche est de permettre de classifier et de cartographier les unités écologiques de manière rapide et efficace. En raison de sa méthodologie, l'approche statistique ne peut cependant pas faire d'affirmations causales. La raison de ceci est que cette approche exclue explicitement de son analyse la présence ou non d'interactions causales entre les éléments composants les patterns étudiés. Par exemple, dans les travaux de Whittaker présentés précédemment (1962), il est uniquement question de la présence ou non de certaines espèces d'arbres à certaines altitudes. Aucune information concernant les relations entre ces espèces n'est prise en compte. Cette absence d'information causale rend l'approche statistique incapable d'expliquer l'origine des patterns statistiques découverts.

L'approche fonctionnelle (Jax 2006 p.240-241) propose quant à elle plutôt d'identifier les unités écologiques selon les interactions unissant les parties de ces dernières. Selon cette approche, l'important afin d'identifier correctement des unités écologiques n'est pas d'identifier des tendances statistiques, mais bien les interactions causales propres à ces dernières. Ce critère possède une riche histoire et est aussi bien utilisé afin d'identifier des communautés (Allen et Hoekstra 1992; Elton 1927) que des écosystèmes (Odum 1971). Les défenseurs de ce critère justifient souvent leur position en faisant remarquer que les phénomènes d'équilibre et d'autorégulation présents chez plusieurs unités écologiques sont explicables par une certaine intégration causale.

L'avantage de cette approche selon Jax est de permettre de prédire la dynamique des unités écologiques ainsi que l'impact que pourraient avoir certaines modifications (humaine ou non) sur ces dernières. Le fait d'utiliser certaines fonctions causales comme critère d'identification augmente le pouvoir explicatif de cette approche. Cependant, tout comme c'était le cas avec l'approche par processus, l'utilisation d'interactions causales est beaucoup plus difficile à opérationnaliser que son compétiteur (l'approche statistique). Encore une fois, les méthodes permettant d'identifier, de délimiter et d'intervenir sur des relations causales sont peu précises. Cette approche sacrifie donc la simplicité d'utilisation afin d'obtenir une identification plus naturelle des unités écologiques.

Tout comme nous l'avons fait dans la sous-section précédente, il est légitime de se demander s'il est possible d'unifier ces deux critères. S'il est possible d'utiliser l'approche statistique afin de délimiter des relations fonctionnelles, alors nous pourrions avoir le meilleur des deux approches. Bien que ce débat ait fait couler beaucoup d'encre en écologie (Simberloff

1990; Tokeshi 1993), cette extension de la méthode statistique est problématique. La raison de ceci est qu'une tendance statistique peut être réalisée de multiple façon. C'est-à-dire que plusieurs processus causaux différents peuvent mener au même pattern en écologie (Underwood 1986; Cale et al. 1989). Nous ne pouvons donc pas logiquement inférer des processus précis à partir d'un résultat statistique. Ces critères sont donc, eux aussi, irréductibles l'un à l'autre.

1.2.3 Degré de relation interne

Comme nous venons de le voir, plusieurs approches, aussi bien au niveau de la délimitation des frontières que de l'identification des unités écologiques, désirent offrir une analyse causale sans toutefois disposer des outils nécessaires afin de la fournir. Afin de raffiner cette classification, il est donc intéressant d'identifier les différentes positions face au degré de relation interne nécessaire aux unités écologiques. Suivant Odenbaugh (2007), je propose trois niveaux d'intégration des unités écologiques. Chacun de ces niveaux est nommé par Odenbaugh en vertu d'un biologiste influent ayant défendu ces idées. Comme il sera illustré, certaines positions intermédiaires entre ces niveaux sont toutefois aussi possibles.

À un extrême de ce spectre se retrouvent les défenseurs des conceptions *individualistes* des communautés et des écosystèmes tels que prônés par Henry Gleason (1917). Selon ce dernier, les unités écologiques sont des agrégats. C'est-à-dire que le tout n'est que la somme de ses parties. Les relations causales internes à ces systèmes sont négligeables et aucun phénomène émergent ne se retrouve à des niveaux supérieurs d'organisations qui ne sont en fait qu'épiphénoménales.

Selon Gleason (1917 p. 26), la distribution actuelle des espèces est le résultat des histoires évolutives particulières de chacune d'entre elles. Il n'y a pas d'organisation naturelle correspondante aux concepts de communauté et d'écosystème et encore moins de relation causale provenant de ces unités écologiques dirigées vers leurs parties. Gleason défend cette conception des unités écologique en argumentant que les systèmes naturels étudiés par l'écologie ne sont pas en équilibre. Il n'y a pas de mécanismes de régulation au niveau des communautés et des écosystèmes ayant un impact sur les parties de ces derniers. Afin d'expliquer la distribution actuelle des espèces, il n'est donc nullement nécessaire d'évoquer

des unités écologiques supérieures. C'est dans ce sens qu'il faut interpréter Gleason lorsqu'il affirme :

«It may be said that every species of plant is a law unto itself, the distribution of which in space depends upon its individual peculiarities of migration and environmental requirements» (Gleason 1917, p.26).

Il existe un lien naturel entre cette approche et une méthodologie réductionniste. La raison de ceci est que puisque les communautés et les écosystèmes n'ont pas de propriétés émergentes irréductibles, il est possible de les expliquer en évoquant uniquement leurs parties. Ces concepts ont des rôles épistémiques importants et sont utiles dans la pratique scientifique. Il ne faut cependant pas faire l'erreur de les réifier.

Une fois ceci en place, il est possible d'offrir une définition de ce qu'est une communauté et un écosystème selon cette approche (Odenbaugh 2007, p. 631):

- Communauté de Gleason : Ensemble d'espèces localisé à un endroit géographique X au moment T.
- Écosystème de Gleason : ensemble d'espèce et de composantes abiotiques localisé à un endroit X au moment T.

Il est intéressant de noter que ces définitions sont similaires aux définitions génériques de ces concepts présentées dans l'introduction de mon mémoire. La position gleasonnienne se veut purement pragmatique. Il n'est donc pas question d'intégration causale naturelle ou encore de délimitation objective de nos objets d'études écologiques (aussi bien spatiale que temporelle). Cette position est donc étroitement liée aux critères d'identification frontalière topographique ainsi qu'à l'identification statistique des unités écologiques. En effet, toutes ces positions ont en commun de refuser de parler de causalité.

La démarche de Gleason a eu un impact important sur la pratique écologique et est encore très influente de nos jours (ex : Klijn et Udo de Haes 1994; Looijen et Van Andel 1996; Rowe et Barnes 1994). Un lègue majeur de Gleason est l'intuition forte que les communautés et les écosystèmes ne sont que des concepts épistémiques. Cette intuition est cependant aussi compatible avec une vision moins réductionniste de l'écologie. C'est pourquoi plusieurs

biologistes, comme nous le verrons plus tard, reconnaissent l'importance de Gleason tout en défendant l'importance de tenir en compte une certaine intégration causale.

Une telle conception occupe une position mitoyenne sur notre axe d'intégration causale. Le défenseur le plus important d'une telle approche est probablement Hutchinson (1948)³. Selon ce dernier, les communautés et les écosystèmes peuvent être considérés comme des tous («whole»), car il existe des relations causales liant les parties de ces derniers. Des exemples de ces relations causales peuvent être les boucles de rétroactions au niveau des écosystèmes ainsi que les interactions interespèces au niveau des communautés (ex : prédation, mutualisme, symbiose). Tout en souhaitant se distancer du réductionnisme fort de Gleason, Hutchinson ne veut pas non plus tomber dans un holisme débridé (Hutchinson 1948 p.221). Les communautés et les écosystèmes peuvent donc selon lui être intégrés fonctionnellement, mais ceci ne signifie pas que le tout contraint causalement ses parties. Similairement à Gleason, la causalité selon Hutchinson demeure principalement dirigée du bas vers le haut.

Une interprétation modérée de l'intégration des unités écologiques nous permet d'obtenir la définition suivante des concepts de communauté et d'écosystème (Odenbaugh 2007, p.633) :

- Communauté d'Hutchinson : groupe d'espèces au minimum faiblement intégré causalement entre elles et non avec d'autres entre le moment T_1 et T_2 .
- Écosystème d'Hutchinson : groupe d'espèces ainsi que leur environnement abiotique au minimum faiblement intégré causalement entre eux et non avec d'autres entre le moment T_1 et T_2 .

Contrairement à Gleason, Hutchinson considère important que les unités écologiques perdurent dans le temps. Cette durée n'est pas précisée par ce dernier, mais l'idée générale est que puisque les unités écologiques sont des systèmes causaux et que la causalité se déroule dans le temps, il est nécessaire d'avoir une composante temporelle dans nos définitions. De plus, puisque les parties interagissent de manière précise entre elles, l'organisation spatiale des composantes des communautés et des écosystèmes devient importante.

³ Il est important de noter qu'Hutchinson dans ses travaux plus tardifs rejette cette interprétation (1967). À ce moment de sa carrière, il se rapprochera de la position de Gleason.

La position mitoyenne proposée par Hutchinson peut prendre plusieurs formes (Jax 2006 p.243). Certains peuvent l'interpréter de manière minimaliste et affirmer que les unités écologiques sont caractérisées, par des relations causales peu importe le type et la consistance de ces dernières (Stöcker 1979)). D'autres, plus près d'Hutchinson, affirmeront que les unités écologiques sont caractérisées par des relations causales spécifiques des parties de ces dernières causant des patterns constants dans le temps (Odenbaugh 2007). Finalement, une version plus forte, mais tout de même modérée affirme que les composantes des unités écologiques sont intégrées de manière à disposer de rôles causaux précis dans le système (Elton 1927).

Certains biologistes considèrent cependant qu'aussi bien Gleason qu'Hutchinson ne prennent pas assez au sérieux l'intégration des communautés et des écosystèmes. Parmi ces derniers se retrouve Frederic Clements (1916)⁴. Selon lui, les communautés (et par extension les écosystèmes) sont des superorganismes. Par analogie, les communautés seraient des individus au même titre que les organismes multicellulaires. Il est donc nécessaire d'avoir une méthodologie holiste afin de bien saisir la totalité des phénomènes écologiques. C'est ce que Clements défend en affirmant :

«The developmental study of vegetation necessarily rests upon the assumption that the unit or climax formation is an organic entity. As an organism the formation arises, grows, matures, and dies.[...]. The life-history of a formation is a complex but definite process, comparable in its chief features with the life-history of an individual plant.» (Clements 1916 p.16).

Ceci signifie que les unités écologiques sont hautement intégrées et possèdent des systèmes d'autorégulation permettant la persistance d'un certain équilibre dans le temps (même suivant des perturbations exogènes). Un des objectifs du cadre théorique développé par Clements était de découvrir le mécanisme expliquant le fonctionnement et l'origine de cet équilibre. Selon ce dernier, l'intégration très forte se trouvant au niveau des communautés et des écosystèmes provient du fait que la sélection naturelle agit à ces niveaux d'organisations

⁴ Il est intéressant de noter que la thèse de Clements précède historiquement celles de Gleason et d'Hutchinson. Ces deux auteurs ont écrit en bonne partie en réaction aux thèses de ce dernier qui étaient très influentes dans les années 1920-1930 (voir notamment John Phillips 1931, 1934, 1935a, 1935b)

(Lewontin 1969)⁵. Une explication de la cohésion de ces unités écologiques serait donc similaire à une explication de la cohésion d'un organisme multicellulaire.

Cet aperçu de la position de Clements permet d'expliquer ce que sont les communautés et les écosystèmes selon ce dernier (Odenbaugh 2007, p.633).

- Communauté de Clements : groupe d'espèces fortement intégrées causalement entre elles et non avec d'autres entre les moments T_1 et T_2 .
- Écosystème de Clements : groupe d'espèces ainsi que leur environnement abiotique fortement intégré causalement entre eux et non avec d'autres entre les moments T_1 et T_2 .

Ce qui distingue la position de Clements de celle d'Hutchinson est l'importance de l'ensemble sur ses parties. Contrairement à Hutchinson, Clements considère que les communautés et les écosystèmes contraignent fortement les parties les composant. Afin d'expliquer un phénomène écologique, il est donc nécessaire d'avoir une approche top-down puisque la causalité est dirigée principalement du haut vers le bas.

Dans la littérature contemporaine, les positions holistes se retrouvent surtout chez les défenseurs des approches systémiques en écologie. Un holisme modéré est présent notamment chez (Allen et Hoekstra 1992) qui défend que les écosystèmes soient des systèmes cybernétiques, c'est-à-dire des systèmes possédant des mécanismes d'autorégulations, dont le tout limite l'autonomie des parties. Un holisme plus faible est quant à lui présent chez plusieurs défenseurs d'une interprétation hiérarchique et causale des frontières. Par exemple, Yarrow (2008) argumente que les frontières des unités écologiques supérieures contraignent les frontières des parties de ces derniers. Ces deux positions sont plus modérées que celle de Clements, car bien que les phénomènes macros soient très importants, les phénomènes micros maintiennent une certaine autonomie.

1.2.4 Critère ontologique

Finalement, selon Jax (2006 p.243-245), un dernier critère est utile afin de classer les différentes définitions des concepts de communauté d'écosystème : la question du statut ontologique de ces derniers. Bien qu'explicite chez plusieurs philosophes, ce critère est plus

⁵ Bien que cette application de la sélection naturelle fut fortement critiquée (voir notamment Williams 1996), l'intuition de Clements n'est pas dépourvue de fondement scientifique (Swenson et al. 2000). Je reviendrai sur ce point dans le chapitre 4.

difficilement identifiable chez la majorité des biologistes (voir Tableaux 1 et 2 dans la sous-section suivante). Les deux options principales pour ce critère sont d'accorder soit un statut épistémique à ces concepts soit de leur accorder une existence ontologique réelle à leur référent.

La conception épistémique suggère que les communautés et les écosystèmes sont des abstractions créés par les observateurs afin de permettre de remplir certaines fonctions spécifiques. Ces concepts ne sont que des constructions mentales utiles. L'identification et la délimitation de ces concepts sont donc purement pragmatiques et reflètent les intérêts des chercheurs. Il n'y a pas de correspondance entre ces concepts et des entités réelles du monde naturel. Il est important de noter que les biologistes, incluant les défenseurs de la conception épistémique des communautés et des écosystèmes, ne sont pas des constructivistes par rapport à tout le monde biologique. Par exemple, l'existence réelle des organismes n'est jamais remise en question par les biologistes.

Une conception épistémique des communautés se retrouve notamment chez Gleason (1939) et chez MacArthur (1971) que nous avons tous deux cités auparavant. Au niveau des écosystèmes, une conception de ce type se retrouve aussi chez Tansley. Ce dernier propose d'isoler de manière artificielle nos objets d'étude écologique afin que :

«the series of *isolates* we make become the actual objects of our study, whether the isolate be a solar system, a planet, a climatic region, a plant or animal community, an individual organism, an organic molecule or an atom.[...]The isolation is partly artificial, but is the only possible way in which we can proceed» (Tansley 1935, p.300)

En agissant de la sorte, Tansley et ses successeurs prennent leurs distances par rapport à la tradition clémentienne qui est métaphysiquement plus lourde. L'objectif est d'offrir un cadre de recherche pragmatique. De cette manière, les écologistes souhaitent faire de la science sans avoir à s'aventurer en territoire philosophique. Cette position se retrouve notamment chez Jax 2006 et Cadenasso et al. 2003 qui défendent que la philosophie des sciences appliquée en écologie soit contreproductive. Certains auteurs reconnaissent cependant l'apport important que la philosophie des sciences soit en mesure de faire à l'écologie. La position de Picket et al. (2007) est particulièrement intéressante dans cette optique. Ces derniers accordent un rôle

central à la philosophie des sciences contemporaines (post hempélienne⁶) dans leur livre. Selon eux, la philosophie est en mesure d'offrir des outils afin de clarifier les concepts de théories, compréhension et d'intégration. C'est dans ce sens qu'ils affirment :

«The contemporary philosophy of science provides a new view of the nature of theory, suggests the joint conceptual and empirical content of theory, and shows the multiple ways in which theory and observed phenomena can interact. The remainder of the book uses these key insights from contemporary philosophy of science and applies them to integration ecology» (Picket et al 2007 p.31)

Ceci signifie que malgré l'hostilité face à la philosophie manifestée par plusieurs écologistes, certains écologistes connaissant mieux la littérature philosophique contemporaine voit un rôle important pour la philosophie des sciences.

La conception ontologique des communautés et des écosystèmes, bien que très influente historiquement, est minoritaire de nos jours (Jax 2006 p.244). Selon cette conception, les communautés et les écosystèmes sont des entités réelles existant objectivement dans le monde. Le défenseur principal de cette conception au niveau des communautés est Clements. Chez les biologistes contemporains, cette position se retrouve surtout chez les défenseurs des approches holistiques (ex : Jørgensen et al. 1992). La critique principale contre cette position est la difficulté d'identifier ainsi que de délimiter les communautés et les écosystèmes. S'il est possible de répondre à cette critique, le cas d'une conception ontologique de ces unités écologiques devient beaucoup plus fort (plus de détail sur ceci dans la section 1.4).

1.3 Classification des concepts de communauté et d'écosystème chez les biologistes

Dans la sous-section précédente, j'ai présenté les 4 critères de Jax (2006) permettant de classer les différentes définitions des communautés et des écosystèmes. Avec ces critères définis, nous pouvons maintenant effectuer un survol des différents agencements que font les biologistes avec ces derniers. Les tableaux 1 et 2 classifient les concepts de communauté et d'écosystème respectivement selon l'usage de plusieurs biologistes influents. Il est important ici

⁶ Picket et al. traitent de l'approche hempélienne dans leur livre (2007 p.18-24), mais font remarquer que ce modèle explicatif n'est pas adéquat en écologie. Ils invitent leurs confrères à passer au-delà de ce modèle et d'aller étudier la philosophie des sciences contemporaines qui est beaucoup plus instructive selon eux. Le chapitre 2 de mon mémoire explicite le modèle hempélien ainsi que plusieurs problèmes de ce modèle lorsqu'appliqué à l'écologie.

de remarquer la vaste diversité de position et d'arrangement possible entre les différents critères.

Portons notre attention premièrement au cas des communautés tel que représenté dans le tableau 1. Un premier fait marquant est la grande prédominance d'un critère topographique afin d'identifier les frontières des communautés. Il est intéressant de noter qu'un engagement envers ce critère pragmatique ne signifie pas que les chercheurs utiliseront une approche pragmatique aussi dans l'identification des communautés. Une des raisons de ceci est que plusieurs chercheurs infèrent des frontières par processus à partir de frontière topographique (Jax 2006, p.245)⁷. Il existe toutefois un lien logique fort entre le critère d'identification sélectionné et le degré de relation interne recherché. Si un chercheur adopte un critère fonctionnel, ce dernier devra rechercher au minimum un certain degré de relation interne (communauté d'Hutchinson ou encore de Clements). Cependant, si un chercheur favorise une approche statistique, il devra rejeter l'importance des relations causales des communautés (communauté de Gleason). Le degré de relation interne devient donc non pertinent. Finalement, nous remarquons qu'une prise de position ontologique à propos des communautés est peu populaire. Ce constat est cependant peu surprenant lorsque nous considérons la forte influence des critères pragmatiques dans la démarche des biologistes.

Tableau I : Classification du concept de «communauté» selon certains biologistes (Tableau modifié de Jax 2006 : les travaux de Hutchinson (1948) sont ici utilisés en remplacement de ceux de (1967))

Auteurs	Critère de frontière	Critère d'identification	Degré de relation interne	Statut ontologique
Petersen 1913	Topographique	Statistique	Non important	?
Clements 1916	Topographique	Fonctionnel	Élevé	Ontologique
Gleason 1926	Topographique	Statistique	Faible	Épistémique
Elton 1927	?	Fonctionnel	Moyen	Épistémique
Hutchinson 1948	Processus	Fonctionnel	Moyen	?
MacArthur 1971	Topographique	Fonctionnel	Non important	Épistémique
Allen and Hoekstra 1992	Processus	Fonctionnel	Moyen	Épistémique

⁷ Comme mentionnée précédemment aux pages 25-26, cette inférence me semble cependant hautement problématique. Nous verrons dans la section suivante que je ne suis pas le seul à être inconfortable à combiner pragmatisme et causalité.

Begon et al. 1996	Topographique	Statistique	Faible	Épistémique
Looijen and Van Andel 1999	Topographique	Statistique	Non important	?

Tournons maintenant notre attention à la classification des écosystèmes présentée dans le tableau 2. Encore une fois, nous voyons une grande diversité dans l'agencement des différents critères. Une différence marquante avec le cas des communautés est l'usage beaucoup moins prédominant d'un critère topographique afin d'identifier les écosystèmes. En effet, l'approche par processus est beaucoup plus populaire. De plus, le critère d'identification fonctionnel est majoritaire alors que dans le cas des communautés la division statistique/fonctionnelle était égale. Tout comme c'était le cas avec les définitions des communautés, le degré de relation interne est hautement variable allant de non important (Stöcker 1979) jusqu'à devoir être très élevé (Tansley 1935; Dunbar 1972). Finalement, il est intéressant de noter que même si les écosystèmes sont considérés par plusieurs des biologistes comme étant des concepts épistémiques, contrairement au cas des communautés, plusieurs auteurs sont ambigus et hésitent à se prononcer (ex : Klijn et Udo de Haes 1994).

Tableau II : Classification du concept d'«écosystème» selon certains biologistes.

(Version modifiée depuis Jax 2006 : les travaux d'Odum de 1971 sont ici utilisés en remplacement de ceux de 1953)

Auteurs	Critère de frontière	Critère d'identification	Degré de relation interne	Statut ontologique
Tansley 1935	Processus	Fonctionnel	Élevé	Épistémique
Lindeman 1942	Topographique	Fonctionnel	Faible	?
Odum 1971	Processus	Fonctionnel	Moyen	Ontologique
Rowe 1961	Topographique	Statistique	Faible	Épistémique
Dunbar 1972	Topographique	Fonctionnel	Élevé	Ontologique
Stöcker 1979	Processus	Fonctionnel	Non important	Épistémique
Jørgensen et al. 1992	Processus	Fonctionnel	?	Ontologique
Klijn et Udo de Haes 1994	Topographique	Statistique	Faible	?
Likens et Bormann 1995	Topographique ou processus	Fonctionnel	Moyen	Épistémique

La classification développée dans la sous-section 1.2 et son application telle qu'effectuée ci-dessus permettent de faire ressortir deux points importants. Premièrement,

aucune définition précise ne fait l'unanimité chez les biologistes. Il est vrai que tous seraient prêts à accepter les définitions génériques de ces termes offertes en introduction, mais ces dernières sont floues et sont donc peu utiles pour effectuer de la recherche. Deuxièmement, en retraçant l'usage de ces termes de leur origine historique jusqu'à leurs usages contemporains, nous pouvons constater qu'il n'y a pas de convergence vers une définition unique. Aussi bien les critères de délimitation, d'identification, de relation interne et le statut ontologique des communautés et des écosystèmes demeurent hautement débattus en écologie. Il n'est donc pas surprenant que ces questions aient attiré l'attention de plusieurs philosophes. Dans la section suivante, je présente quelque une des positions philosophiques paradigmatiques sur ces questions.

1.4 Classification des concepts de communauté et d'écosystème chez les philosophes

Bien que les questions d'identification, de délimitation et surtout d'ontologie des communautés et des écosystèmes sont centrales à l'écologie, très peu de philosophes s'y sont consacrées. Ceci ne signifie pas que les philosophes ne sont pas intéressés par ces questions. Ce constat reflète plutôt le fait que la philosophie de l'écologie est un domaine de recherche très récent (Mikkelson 2007 p. 374-375).

Les positions philosophiques sur ces questions peuvent se diviser en deux grandes familles. D'un côté, nous avons les défenseurs d'une conception ontologique des communautés et des écosystèmes (ex : Cooper 2003, Odenbaugh 2007). Les philosophes adoptant cette position favorisent habituellement une interprétation causale des critères de délimitation et d'identification. Le raisonnement à la base de cette position est que : si les communautés et les écosystèmes sont identifiables de manière non arbitraire et leurs frontières peuvent être tracées objectivement, alors nous n'avons pas de raison de rejeter leur existence ontologique. De l'autre côté se retrouvent les défenseurs d'une conception épistémique des communautés et des écosystèmes (ex : Lehman 2000, Ford 2000, Sagoff 2003). Ces derniers tendent plutôt à défendre des critères de délimitation et d'identification pragmatiques. Il en découle que puisque les communautés et les écosystèmes sont définis selon les intérêts des chercheurs, ces unités écologiques ne possèdent pas d'existence ontologique réelle.

Avant d'entrer dans les détails des différentes positions philosophiques, une différence importante avec la classification de chez les biologistes mérite d'être soulevée. Alors que chez

les biologistes nous avons observé une attitude très libérale dans l'association des différents critères de la section 1.2, les philosophes le sont beaucoup moins. Le résultat net de ceci est une dichotomie des positions au lieu d'un pluralisme. Dans les faits, les philosophes défendent soit une approche par processus / fonctionnelle / ontologique (ex : Odenbaugh 2007), soit une approche topographique / statistique / épistémique (ex : Peters 1991). L'explication de ceci est difficilement démontrable, mais une raison potentielle est le désir de cohérence très fort présent chez les philosophes. Contrairement aux biologistes, les philosophes sont beaucoup moins confortables à l'idée de combiner des critères pragmatiques et causaux (notamment, car comme mentionné plus haut, ces critères ne sont pas coextensifs). Une fois le choix entre le pragmatisme et la causalité effectué, la position ontologique tend à suivre, car selon s'il est possible ou non d'identifier objectivement une communauté ou un écosystème la position ontologique ou épistémique à adopter devient naturelle.

Abordons maintenant plus en détail les différentes positions philosophiques. Nous débuterons par expliciter la position de Gregory Cooper (2003) chez qui nous retrouvons une défense implicite de la position ontologique. Par la suite, nous aborderons certains défenseurs de la position épistémique et ferons ressortir un argument principal contre l'existence ontologique des communautés et des écosystèmes (l'argument des frontières). Finalement, nous aborderons la thèse de Jay Odenbaugh qui offre une réponse à cette critique.

Gregory Cooper est un philosophe de l'écologie et a publié un des rares livres consacrés à ce domaine (Cooper 2003). Bien qu'il reconnaisse l'importance de la question du statut ontologique des communautés et des écosystèmes (Cooper 2003, p.281), il ne l'aborde pas directement dans son livre (ou ailleurs dans son œuvre). Malgré tout, il est possible d'identifier deux lignes d'argument en faveur d'une conception ontologique des unités écologiques dans son livre.

Premièrement, Cooper argumente que les domaines scientifiques se définissent en grande partie selon leurs objets d'étude naturels («natural kinds»). Ces derniers sont les unités fondamentales sur lesquelles reposent les explications d'un domaine d'étude particulier. Dans le cas de l'écologie, ces concepts naturels sont notamment les communautés, les écosystèmes et les biomes (Cooper 2003, p.118, 121). Ces concepts étant naturels, ils renvoient selon lui à des entités réelles. Afin de défendre cette thèse, Cooper propose l'expérience de pensée du démon de Laplace observant le monde écologique (2003 p.119). Selon lui, un tel être serait en mesure

d'identifier des frontières résilientes et objectives délimitant des zones écologiques. Ces frontières par processus identifiable par le démon de Laplace ne sont cependant pas nécessairement facilement accessibles de notre point de vue. En pratique, il est donc raisonnable d'utiliser des délimitations approximatives. Il faut cependant faire attention de ne pas inférer de notre difficulté à identifier les frontières des unités écologiques le fait qu'elles n'existent pas.

Deuxièmement, Cooper offre une justification épistémique afin de supporter une conception ontologique. Selon lui, les conceptions instrumentalistes et pragmatiques en philosophie des sciences sont insatisfaisantes (2003 p.186). La raison de ceci est que selon lui, ainsi que les autres réalistes, l'objectif de la science n'est pas seulement de prédire efficacement l'occurrence de différents phénomènes comme le défend l'instrumentalisme et le pragmatisme, mais aussi de décrire et d'expliquer adéquatement le fonctionnement réel du monde (Cooper 2003 p.185-186). Afin d'atteindre ces objectifs, il est donc primordial que l'écologie porte son attention à des niveaux d'organisations possédant un statut ontologique réel. Sinon, cette science est vouée à être purement instrumentale. Selon Cooper, l'écologie fait donc un gain épistémique important en postulant l'existence réelle des communautés et des écosystèmes.

Comme nous venons de le voir, Cooper offre deux raisons de favoriser une conception ontologique des unités écologiques. Aussi cohérentes que soient ces raisons, elles demeurent cependant très abstraites. Évoquer le démon de Laplace ou encore des préoccupations réalistes en philosophie des sciences est sans aucun doute intéressant, mais ces points ne convaincront pas les défenseurs de la conception épistémique. Selon ces derniers (ex : Ford 2000; Lehman 2000; Sagoff 2003), une conception réaliste se doit de pouvoir répondre (ou tout au moins offrir des pistes de solution) à plusieurs questions. Par exemple :

- Comment identifier objectivement une communauté et un écosystème? (Lehman 2000; Sagoff 2003)
- Comment délimiter objectivement les communautés et les écosystèmes? (Lehman 2000)
- Comment savoir si nous sommes confrontés à la même communauté et au même écosystème dans le temps et dans l'espace? (Sagoff 2003)
- Comment mesurer le changement dans les communautés et les écosystèmes? (Sagoff 2003)

- Que sont les communautés et les écosystèmes? (Ford 2000; Sagoff 2003)

Il est possible de formaliser ces questions afin d'obtenir une famille d'argument très convaincant contre l'existence ontologique des communautés et des écosystèmes. Un argument de cette famille particulièrement fort est l'argument des frontières (adapté depuis Odenbaugh 2007, p.633). Ce dernier va comme suit :

- 3- Une communauté ou un écosystème existe si et seulement s'il dispose de frontières objectives.
- 4- Or, les communautés et les écosystèmes ne disposent pas de frontières objectives

Conclusion : Les communautés et les écosystèmes n'existent pas objectivement.

En utilisant certaines études influentes analysant la distribution des espèces selon certains gradients (ex : Whittaker 1975) ainsi que des études portant sur la migration des espèces (ex : Davis 1984), les défenseurs de la conception épistémique soutiennent que leur argument est supporté empiriquement. En effet, les résultats de ces études sont : (a) la distribution des espèces est dépendantes des propriétés des espèces elles-mêmes et non pas de celle de la communauté à laquelle elles appartiennent (Whittaker 1975) et (b) les espèces migrent non pas en groupe, mais bien individuellement (Davis 1984). Pour paraphraser Gleason, chaque espèce serait donc une loi en soi. Si les biologistes et les philosophes ne réussissent pas à identifier des frontières objectives dans le cas des communautés et des écosystèmes, la raison est peut-être simplement qu'il n'y en a pas à découvrir. L'argument des frontières est très convaincant, car la première prémisse semble tout à fait acceptable dans un cadre écologique puisque les composantes de communautés et des écosystèmes sont spatialement et temporellement localisées et la deuxième prémisse dispose d'un support empiriquement.

Comme le fait remarquer Odenbaugh (2007, p.636-638), aussi importante que soit la critique ci-dessus, il faut cependant user de caution lors de l'interprétation des études empiriques. Dans le cas présent, Odenbaugh accuse les défenseurs de l'argument des frontières de présenter un faux dilemme. Si nous suivons leur raisonnement : soit les communautés et les écosystèmes sont des agrégats à la Gleason, soit elles sont des super-organismes tels que proposés par Clements. Or, puisque les études empiriques de Whittaker (1975) et de Davis (1984) démontrent que les communautés étudiées ne se comportent pas comme des super-organismes, les communautés et les écosystèmes doivent être des organisations individualistes.

Cette ligne de raisonnement pose cependant problème, car comme nous l'avons explicité dans la section 1.2.3, il existe des conceptions intermédiaires entre le réductionnisme de Gleason et l'holisme de Clements. Ces études attaquent une conception à la Clements, mais ceci ne réfute pas toutes les alternatives accordant un rôle à l'intégration causale des communautés et des écosystèmes.

En portant attention aux propriétés situées au niveau d'organisation des communautés⁸, c'est-à-dire les propriétés causées par l'interaction biotique de deux espèces ou plus (ex : prédation, mutualisme, symbiose), Odenbaugh propose une interprétation des communautés plus inclusive basée sur une conception inspirée d'Hutchinson. Selon lui :

«species populations form an ecological community just in case they exhibit community interactions, or put differently, they possess a community-level property. This then implies that a group of species' populations possess such a property just in case they interact qua community.» (Odenbaugh 2007, p. 636-637)

Formulé autrement, une communauté existe si et seulement s'il existe une ou plusieurs propriétés propres au niveau des communautés présentes. Si une telle propriété existe, nous sommes alors confrontés à une communauté, car cette unité écologique est intégrée fonctionnellement. Une conséquence importante de cette conception est de permettre d'identifier des communautés beaucoup plus éphémères que ne le reconnaissent habituellement les biologistes. La raison de ceci est que l'existence des communautés dépend des interactions causales entre les espèces. Or, puisque ces dernières varient dans le temps et l'espace (ex : migration), la durée de l'existence d'une communauté peut être très courte. Pour revenir sur les études empiriques ci-dessus, le fait que les espèces n'occupent pas toujours les mêmes gradients que leurs voisins ou encore qu'elles ne migrent pas ensemble ne signifie pas qu'elles n'interagissent pas entre elles dans certaines zones. Nous ne pouvons donc pas conclure de ces études que les communautés et les écosystèmes n'existent pas puisqu'il peut tout de même y avoir intégration causale.

La critique d'Odenbaugh est intéressante et sert de mise en garde contre une interprétation trop simpliste des études empiriques. Cependant, le problème central contre la

⁸ Il sera ici question de communauté seulement, car Odenbaugh argumente en utilisant uniquement ce concept. Il considère cependant que son argument est applicable aussi au cas des écosystèmes (Odenbaugh 2007, p.639-640).

conception ontologique demeure. Le point commun de toutes les questions présentées précédemment ainsi que de l'argument des frontières est de soulever l'absence d'une méthode permettant d'opérationnaliser les critères d'identifications fonctionnels et de délimitation par processus. Or les communautés et les écosystèmes existent ontologiquement seulement s'il est possible de les identifier et de les délimiter objectivement. Si une telle méthode n'est pas offerte, il est impossible de rechercher ces caractéristiques objectives. Il n'est pas suffisant de critiquer les arguments avancés contre la position ontologique, il est nécessaire de proposer des arguments positifs en faveur de cette position si nous voulons rendre cette thèse crédible.

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons démontré la grande diversité d'utilisation des concepts de communauté et d'écosystème. Pour ce faire, nous avons unifié les classifications développées par Jax (2006) et Odenbaugh (2007). Après avoir explicité les 4 critères présentés par ces auteurs, nous avons relevé un grand nombre d'agencements possible de ces critères présents dans la littérature biologique et philosophique.

Afin de disposer d'arguments forts en faveur de la conception ontologique, il est nécessaire d'utiliser des critères de délimitation et d'identification causaux des unités écologiques. S'il est impossible d'identifier objectivement les frontières et le fonctionnement interne de ces unités écologiques, les arguments en faveur d'une conception ontologique des communautés et des écosystèmes perdent beaucoup de leur force. Or, comme nous l'avons identifié, aussi bien les biologistes que les philosophes sont incapables d'offrir une méthodologie précise pour le faire. Cette incapacité est utilisée par les défenseurs de la conception épistémique contre la conception ontologique notamment dans l'argument des frontières. Bien que certains philosophes critiquent cet argument, aucune clarification aux critères causaux n'est offerte. Le problème demeure donc présent.

Afin de combler cette lacune de la conception ontologique, je propose d'analyser la démarche explicative en écologie. En explicitant cette démarche, je suggère qu'il est possible d'identifier des outils nous permettant de préciser et d'opérationnaliser les critères causaux. Une fois que ces critères sont utilisables, il devient possible de répondre à l'argument des frontières et de construire une défense solide de la conception ontologique des communautés

et des écosystèmes. Cette analyse des explications écologiques nous occupera pour les deux prochains chapitres.

Chapitre 2 : Explications en écologie : l'approche nomique

Résumé : Ce chapitre marque le début de notre recherche de ce qu'est une bonne explication en écologie. Les débats contemporains portant sur les théories de l'explication débutent avec le développement du modèle déductivo-nomologique (D-N) d'Hempel (Hempel 1942; 1965; 1966; Hempel et Oppenheim 1948)). Dans ce chapitre, je débute par expliciter ce modèle avant de le critiquer. J'argumente que ce modèle est inadéquat, car : (1) il n'est pas en mesure de distinguer entre loi et généralisation accidentelle et (2) son application dans le cas de l'écologie mène à des conclusions problématiques. Alors que le consensus philosophique est qu'il n'existe pas de loi en biologie, le terme «loi» est utilisé couramment en écologie. Afin de faire sens de cet usage, j'analyse par la suite la thèse d'Elgin (2006) qui argumente qu'en modifiant légèrement le modèle D-N, il est possible d'identifier des lois en écologie. J'argumente que ce dernier a raison de désirer limiter la portée de nos énoncés nomiques afin de corriger le modèle hempélien, mais que sa thèse est susceptible aux problèmes de la pertinence explicative et de l'asymétrie explicative déjà adressées à Hempel. Je conclus qu'une approche nomique n'est pas satisfaisante descriptivement et normativement afin de rendre compte des explications en écologie. De par ce fait, l'apport de l'approche nomique la problématique du statut ontologique des communautés et des écosystèmes est assez limitée.

2.1 Introduction

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, le défi principal auquel les défenseurs de la conception ontologique des communautés et des écosystèmes sont confrontés est l'absence de critères d'identifications et de délimitation causaux de ces unités écologiques. Afin de relever ce défi, je propose d'analyser la pratique des écologistes en se posant la question suivante : qu'est-ce qu'une bonne explication en écologie? Les débats contemporains portant sur les théories de l'explication débutèrent avec le développement du modèle déductivo-nomologique (D-N) d'Hempel (Hempel 1942; 1965; 1966; Hempel et Oppenheim 1948)). Ces articles ainsi que les réactions qu'ils suscitèrent sont responsables en grande partie de la structure du débat actuel portant sur les théories de l'explication. Afin d'offrir une première tentative de réponse à la question de ce qu'est une bonne explication en écologie, j'expliquerai dans ce chapitre ce modèle. Il sera donc ici question de savoir si une approche nomique telle que proposée par Hempel est satisfaite descriptivement et normativement afin d'expliquer des phénomènes écologiques. Par la suite, je relèverai les points pertinents de cette approche permettant d'éclairer le débat portant sur le statut ontologique des communautés et des écosystèmes.

Récemment, la question de l'existence et du rôle des lois en écologie a commencé à attirer l'attention des écologistes et des philosophes (ex : Berryman 2003; Cooper 2003; Lange 2005; O'Hara 2005). L'intérêt d'avoir des lois est multiple. Certains souhaitent en avoir afin de légitimer la démarche explicative de leur domaine de recherche ou encore en augmenter l'efficacité (Berryman 2003). D'autres y voient plutôt un moyen d'assurer l'autonomie de leur niveau explicatif face aux disciplines plus «fondamentales» (Lange 2005)). Dans la littérature écologique, un grand nombre de candidats au titre de loi sont offerts (ex : la loi de Cope, la loi de Dollo, la loi de Malthus (Ginzburg et Colyvan 2004)). Les candidats les plus sérieux proposés de manières contemporaines sont des études allométriques (c'est-à-dire des relations statistiques portant sur la taille d'un système et les processus internes à ce dernier).

Dans ce chapitre, je débute par expliciter le modèle D-N avant de le critiquer. J'argumente que ce modèle est inadéquat, car : (1) il n'est pas en mesure de distinguer entre loi et généralisation accidentelle et (2) son application dans le cas de l'écologie mène à des conclusions problématiques. Alors que le consensus philosophique est qu'il n'existe pas de loi en biologie, le terme «loi» est utilisé couramment en écologie. Afin de faire sens de cet usage, j'analyse par la suite la thèse d'Elgin (2006) qui argumente qu'en modifiant légèrement le modèle D-N, il est possible de défendre que certaines allométries soient des lois. J'argumente que ce dernier a raison de désirer limiter la portée de nos énoncés nomiques afin de corriger le modèle Hempélien, mais que sa thèse est susceptible aux problèmes de la pertinence explicative et de l'asymétrie explicative déjà adressées à Hempel. Je conclus qu'une approche nomique n'est pas satisfaisante descriptivement et normativement afin de rendre compte des explications en écologie. De par ce fait, l'apport de l'approche nomique la problématique du statut ontologique des communautés et des écosystèmes est assez limitée.

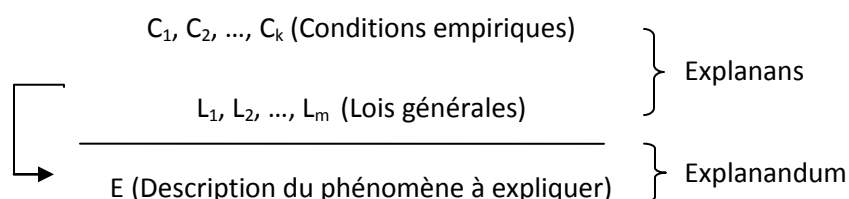
2.2 Lois et explications : le modèle déductivo-nomologique

Dans cette section, je débute par expliciter le modèle D-N tel que développé par Hempel. Par la suite, j'offre une analyse du concept de loi et de la problématique entourant la distinction entre loi et généralisation accidentelle. Afin d'illustrer certains problèmes de cette distinction, la section suivante présente deux problèmes classiques adressés contre le modèle D-N (asymétrie et pertinence explicative). Finalement, je présente la thèse de la contingence évolutionnaire de Beatty (2006 [1995]) afin de soulever le problème de l'application du modèle D-N en écologie.

2.2.1 Le modèle D-N

La publication de «*Studies in the logic of explanation*» par Hempel et Oppenheim en 1948 marque le début des théories de l'explication scientifique contemporaine⁹. L'intuition à la base de leur démarche est qu'offrir une explication d'un phénomène X est expliquer en vertu de quels faits et de quelles lois ce phénomène s'est produit. Une explication est donc une réponse à une question «pourquoi» et non pas simplement la description d'un évènement.

Hempel et Oppenheim défendent la thèse que les explications sont des arguments déductifs valides. Les prémisses (explanans) de ces arguments sont composées d'au minimum une loi universelle ou principe théorique ainsi que d'un ensemble de conditions empiriques décrivant certaines circonstances particulières. Dans ce modèle, la conclusion de l'argument décrit le phénomène à expliquer (explanandum). Afin d'avoir une bonne explication scientifique, il faut ajouter une condition empirique aux conditions précédentes : les prémisses de l'argument se doivent d'être vraies¹⁰. Sans ce critère, il serait possible d'être confronté à plusieurs explications logiquement valides, mais qui sont empiriquement mutuellement exclusives sans être en mesure de trancher. Il est possible d'illustrer ce raisonnement avec le schéma suivant (adapté de Hempel et Oppenheim 1948, p.138):



Cette approche est connue sous le nom du modèle déductivo-nomologique (D-N à l'avenir), car une explication est une déduction logique à partir de certaines lois. Ce modèle est aussi considéré comme un «covering law model», car il subsume les faits particuliers sous une loi universelle afin d'expliquer un phénomène précis.

Illustrons comment ce type de modèle explicatif procède. Imaginons qu'un thermomètre à mercure à la température de la pièce est rapidement immergé dans de l'eau

⁹Suite à la publication de cet article, Hempel continua à travailler sur ce modèle. Voir particulièrement ses textes de 1963, 1965 et 1966.

¹⁰Hempel et Oppenheim font ici référence à une théorie de la vérité correspondance. Les détails de cette dernière ne sont cependant pas nécessaires à notre propos (pour plus de détail, voir Hempel 1935 et Tarski 1944).

bouillante (Hempel et Oppenheim 1948, p.135). L'effet de cette manipulation est une baisse initiale du niveau de mercure dans le thermomètre avant que ce dernier n'augmente rapidement. L'explication de ce phénomène est que lors du contact entre le thermomètre et l'eau bouillante, le verre se réchauffe plus rapidement que le mercure. Le verre se dilate donc avant que le mercure n'ait le temps de réagir à la différence de température. Le niveau de mercure chute donc puisqu'il demeure constant alors que le volume du tube de verre augmente. Par la suite, le mercure se réchauffe lui aussi, mais puisque le coefficient d'expansion du mercure est plus élevé que celui du verre, le mercure augmente de volume dans le thermomètre. Cet exemple représente bien un type d'explication D-N, car en citant certaines conditions empiriques (ex : la structure du thermomètre, la température de l'eau) et certaines lois (ex : loi de l'expansion thermique du verre et du mercure, loi de la conduction thermique du verre), il est possible de prédire le phénomène ainsi que d'identifier en vertu de quelles lois ce dernier est réalisé.

2.2.2 Que sont les lois?

Puisque le pouvoir explicatif et prédictif du modèle D-N provient des lois, beaucoup d'attention fut portée à la définition de ces dernières. Le défi pour toute définition d'une loi est d'offrir des critères permettant de distinguer les lois des généralisations accidentelles. Comme le souligne Hempel (1966 chapitre 5) si une généralisation est purement accidentelle, elle ne permet pas d'expliquer un phénomène, puisqu'elle ne contraint pas le cours des événements. Il serait donc possible d'avoir un explanans identique, mais un explanandum différent. Ceci est évidemment très problématique au niveau formel pour le modèle D-N. Afin de permettre de distinguer entre loi et généralisation accidentelle, Hempel et Oppenheim proposent 4 caractéristiques que doivent posséder les lois (Hempel et Oppenheim 1948, p. 153-156) : (1) elles doivent avoir une forme universelle (2) leur portée doit être illimitée (3) elles ne doivent contenir la référence à aucun objet particulier (4) elles doivent contenir que des prédicats qualitatifs. Il n'est pas un secret que l'idéal scientifique visé par Hempel et Oppenheim était la physique. Appliqués à ce domaine de recherche, ces critères semblent adéquats. Prenons par exemple la loi de la gravitation universelle de Newton. Cette dernière possède une forme universelle et sa portée est illimitée. De plus, elle ne fait référence à aucun objet particulier et ne contient que des prédicats qualitatifs. Ces quatre critères permettant d'identifier certaines

lois, Hempel et Oppenheim semblent sur la bonne piste afin de délimiter les lois des généralisations accidentelles.

Comme plusieurs philosophes le soulignèrent (ex : Bromberger 1966; Salmon 1998, Van Frassen 1989) ces 4 critères ne sont cependant pas suffisants afin de permettre de distinguer les lois de la nature des généralisations accidentelles. Illustrons ceci avec les trois propositions suivantes :

- i- Aucun signal ne peut se déplacer plus rapidement que la vitesse de la lumière.
- ii- Aucune sphère d'uranium-235 n'a une masse plus grande que 100 000 kg.
- iii- Aucune sphère d'or n'a une masse plus grande que 100 000 kg.

En supposant que ces trois énoncés sont vrais, il est aisé de constater qu'ils remplissent les 4 critères ci-dessus. En effet, ces trois propositions sont des généralisations universelles, leur portée est illimitée, aucun objet particulier n'est évoqué et finalement aucun terme qualitatif n'est présent. Malgré ceci, nous avons de fortes raisons de ne pas vouloir considérer (iii) comme une loi de la nature, car cet énoncé ne possède aucune force nomique. C'est-à-dire qu'en tenant pour acquis que cette quantité d'or est disponible dans l'univers, rien ne nous empêcherait de créer une sphère possédant une masse de 100 000 kg. Ceci n'est cependant pas le cas avec l'énoncé (ii), car la masse critique de l'uranium-235 est de 52 kg. Ceci signifie que même si nous disposions d'une quantité suffisante d'uranium-235, une sphère de 100 000 kg serait impossible à créer. L'énoncé (i) possède aussi cette force contraignante, car même avec toute l'énergie possible à notre disposition, il demeure impossible d'envoyer un signal plus rapide que la vitesse de la lumière.

Afin de corriger cette lacune de la définition de Hempel et Oppenheim, il a été suggéré d'ajouter les critères suivants (Salmon 1989, p.14). (5) Les lois doivent supporter les contrefactuelles. C'est-à-dire nous permettre de prédire ce qui se passerait si X était différent. (6) Les lois doivent aussi avoir un pouvoir modal. Plus précisément, les lois se doivent de limiter le champ des possibles. Avec cette nouvelle série de critères, il semble possible de modifier l'approche de Hempel et Oppenheimer afin d'être en mesure de distinguer entre les généralisations accidentelles et les lois.

Une telle solution est cependant problématique, car l'universalité, le support des contrefactuels et le pouvoir modal semblent être des critères coextensifs (Salmon 1989, p.15).

C'est-à-dire que soit un énoncé possède les trois, soit il n'en dispose d'aucuns. Ces derniers ne sont donc pas très utiles pour identifier les lois, car nous ne savons pas comment déterminer qu'un énoncé est nomique ou supporte les contrefactuels indépendamment du concept de loi. La raison de ceci est qu'un énoncé supporte les contrefactuels *sii* s'il est une loi, mais un énoncé est une loi *ssi* il supporte les contrefactuels. La relation est identique avec la modalité. Un énoncé possède un pouvoir modal *ssi* il est une loi, mais un énoncé est une loi *ssi* il possède un pouvoir modal. Les critères (5) et (6) sont donc des caractéristiques des lois, mais ils ne nous permettent pas de les identifier. Le problème de la distinction entre généralisation accidentelle et loi demeure donc irrésolu dans le cadre offert par Hempel et Oppenheim.

2.2.3 Objections au modèle D-N

Cette incapacité du modèle D-N à distinguer entre loi et généralisation peut être illustrée à l'aide de deux contre-exemples classiques. Il sera ici question du problème de l'asymétrie explicative ainsi que du problème de la pertinence explicative.

Plusieurs explications manifestent une directionnalité. Elles ne sont donc pas symétriques. Le modèle D-N tel que présenté ci-dessus n'est cependant pas en mesure de rendre compte de cette asymétrie. Il devient donc possible dans un cadre déductivo-nomologique d'expliquer une cause par son effet (ou encore un explanans par un explanandum). Afin d'illustrer ceci, prenons l'exemple d'un poteau vertical situé sur un terrain plat (Bromberger 1966). Au moment T_1 , l'angle avec lequel la lumière du soleil entre en contact avec le poteau crée une ombre d'une longueur X . Selon le modèle D-N, il est possible d'expliquer la longueur de l'ombre en évoquant la longueur du poteau, l'angle du Soleil ainsi que la loi de la dispersion de la lumière. Ceci semble tout à fait raisonnable. Cependant, il est aussi possible suivant le modèle D-N d'expliquer la longueur du poteau en vertu de la longueur de l'ombre, de l'angle du Soleil et de la loi de la dispersion de la lumière. Plusieurs philosophes sont cependant réticents à accepter cette deuxième dérivation même si elle satisfait les critères du modèle D-N (Salmon 1989, p.47). La raison est que la longueur du poteau est indépendante de celle de l'ombre. Le poteau est la cause de l'ombre et non pas l'inverse. Certaines explications n'étant pas symétriques, une théorie de l'explication satisfaisante doit permettre de distinguer entre cause et effet.

Un autre problème similaire à celui de l'asymétrie frappant le modèle D-N est le problème de la pertinence explicative (Salmon 1971). Ce dernier met en lumière le fait qu'il est possible d'utiliser des généralisations vraies comme «explication» d'un phénomène bien que ces généralisations n'ont pas de rôle réel dans cet explanandum. Prenons l'exemple suivant provenant de Salmon (1971 p.34) :

(L) Tous les hommes prenant des pilules anticonceptionnelles de manière régulière ne tombent pas enceintes.

(C) John Jones est un homme qui prend des pilules anticonceptionnelles de manière régulière.

(E) John Jones ne tombe pas enceinte.

Cet exemple satisfait toutes les conditions du modèle D-N. Nous ne voulons cependant pas considérer cet exemple comme une explication satisfaisante, car John Jones ne serait pas tombé enceinte même s'il n'avait pas pris de pilules anticonceptionnelles. De plus, cet exemple permet de noter une distinction importante entre le fonctionnement d'un argument et d'une explication. Alors que la force d'un argument n'est pas affectée par l'ajout de prémisses vraies, mais non pertinentes, une explication perd beaucoup de valeur si elle inclut des éléments non pertinents. Une théorie de l'explication satisfaisante doit permettre de distinguer entre les éléments pertinents à inclure dans une explication et les éléments vrais, mais devant être exclus.

Il est intéressant de noter qu'alors que les problèmes de l'asymétrie et de la pertinence explicative reprochent au modèle D-N d'être trop inclusif (trop d'énoncés deviennent explicatifs), d'autres critiques reprochent au modèle D-N d'être trop exclusif. C'est le cas notamment de Nancy Cartwright (1980; 1983; 1999). Selon cette dernière, le modèle D-N est trop exclusif, car il ne permet pas à des explications scientifiques paradigmatiques d'être réellement explicatives (ex : le rôle de l'ADN dans l'hérédité). La raison de ceci est que selon Cartwright, il n'existe pas de loi universelle en science (Cartwright 1980 p.159). Toutes les lois proposées (aussi bien en physique qu'en biologie) sont des énoncés *ceteris paribus*, c'est-à-dire des énoncés vrais seulement sous certaines conditions particulières. Par exemple, la loi de Snell est une loi d'optique permettant de calculer l'angle de réflexion de la lumière lorsque cette dernière change de milieu. Cartwright souligne que bien que cet énoncé soit présenté comme

universel dans les manuels de physique, la loi de Snell possède une portée limitée (Cartwright 1980 p.160). En effet, cet énoncé est vrai seulement lorsque la lumière se propage dans des milieux isotropiques. La loi de Snell est donc vraie uniquement dans certaines conditions précises. Cartwright argumente que toutes les lois proposées en sciences sont des énoncés *ceteris paribus*. Si cette dernière a raison, nous ne disposons pas de lois universelles vraies. Or, si nos explications scientifiques actuelles ne sont pas basées autour de certaines lois universelles, le modèle D-N est forcé de conclure que ces explications ne sont pas réellement des explications.

La conclusion non controversée à tirer des problèmes de l'asymétrie explicative, de la pertinence explicative ainsi que de la critique de Cartwright est simplement que le modèle D-N n'offre pas de conditions nécessaires et suffisantes afin d'évaluer si une explication est satisfaisante (Woodward 2003, p.155). Face à ce constat, plusieurs solutions et alternatives furent proposées. Alors que certains proposent de conserver le cœur du modèle D-N et d'ajouter des conditions suffisantes supplémentaires (ex : Friedman 1974; Kitcher 1981), d'autres proposent plutôt de changer de paradigme complètement en favorisant notamment des approches causales (ex : Salmon 1984; Woodward 2003; Marcharmer, Darden, Craver 2000). Nous aborderons certaines de ces alternatives dans le chapitre suivant. Pour le moment, nous aborderons cependant certaines problématiques particulières suivant l'application du modèle D-N à l'écologie.

2.2.4 Le modèle D-N appliqué à l'écologie

En plus des problèmes présentés ci-dessus, l'application du modèle D-N dans le cas de l'écologie est problématique (Cooper 2003, p. 177-178). Comme je l'ai déjà mentionné, Hempel et Oppenheim se sont basés sur la pratique explicative en physique afin de bâtir leur modèle. Cependant, les pratiques méthodologiques en sciences sont beaucoup plus hétérogènes que ce que la physique seule peut nous offrir (Hamilton 2007, p.602). Ceci fait que le modèle D-N semble mal équipé pour rendre compte de la pratique de certains domaines scientifiques. Par exemple, dans le cas de l'écologie, nous sommes confrontés à une science historique (Desjardin 2009 chapitre 4)¹¹. Ceci signifie deux choses. Premièrement, plusieurs processus écologiques sont contraints en grande partie par leurs histoires

¹¹ Hempel adresse la question des explications historiques dans ses textes de 1942 et le chapitre 7 de son livre de 1965. Ces textes n'offrent cependant pas de réponse à la critique suivant cette note.

particulières. En d'autres mots, l'histoire laisse une trace importante sur les unités écologiques. Afin d'avoir une explication satisfaisante en écologie, il est donc nécessaire de tenir compte du parcours particulier des différentes unités écologiques. Deuxièmement, aussi bien les systèmes biotiques qu'abiotiques, changent dans le temps. Ce changement fait que nous ne serons probablement pas en mesure d'identifier des lois universelles du vivant, car rien n'est éternel dans le domaine écologique.

Ce problème est soulevé vigoureusement par le paléontologiste Stephen Jay Gould (1989). Afin d'illustrer l'importance de l'historicité, ce dernier propose l'expérience de pensée du film de la vie. Cette expérience de pensée va comme suit :

«I call this experiment 'replaying life's tape'. You press the rewind button and, making sure you erase everything that actually happened, go back to any time and place in the past [...] Then let the tape run again and see if the repetition looks at all like the original. [...] Any replay of the tape would lead evolution down a pathway radically different from the road actually taken.» (Gould 1989 p.48, 51)

En d'autres mots, si nous pouvions rembobiner le film de la vie et faire jouer ce film à répétition, la fin serait toujours différente. Dans notre monde actuel, il existe des chiens et des fougères, mais cet état de fait est contingent et est le résultat d'un parcours historique unique. Ceci rend la biologie unique aux yeux de Gould, car les explications offertes par une science historique sont très différentes de celles offertes par des sciences anhistoriques. Selon lui :

«A historical explanation does not rest on direct deductions from laws of nature, but on an unpredictable sequence of antecedent states, where any major change in any step of the sequence would have altered the final result. This final result is therefore dependent, contingent upon everything that came before – the unerasable and determining signature of all history.» (Gould 1989 p.283)

Formulée autrement, la biologie ne dispose pas de loi, car contrairement à la chimie et à la physique, elle est une science historique et donc, ses objets d'études sont contingents.

S'inspirant de Gould, mais souhaitant rendre l'argument de ce dernier plus rigoureux, Beatty (2006 [1995]) offre la défense la plus influente de la thèse voulant qu'il

n'existe pas de loi en biologie (voir notamment : Cooper 2003; Hamilton 2007; Rosenberg 2006; Sober 1997). Selon ce dernier, les généralisations portant sur le monde biologique sont soit : (1) seulement mathématiques, chimiques ou physiques, soit (2) réellement biologiques, dans quel cas elles sont contingentes. Or, les lois ne devant pas être contingentes selon Hempel et Oppenheim, la biologie ne peut pas disposer de loi (Beatty 2006 p.218).

Beatty défend (1), car tout système biologique est aussi un système chimique, physique et mathématisable. Il est donc naturel que certaines généralisations de ces domaines s'appliquent aussi au domaine biologique. Ces généralisations ne sont cependant pas proprement biologiques, car leur valeur de vérité est indépendante des phénomènes biologiques (ex : les lois du mouvement de Newton ne sont pas affectées par l'évolution par sélection naturelle). Les lois de ces domaines ne peuvent donc pas être considérées comme des lois proprement biologiques.

La deuxième section de l'argument de Beatty (2) affirme que les généralisations portant sur le monde biologique ne possèdent pas de force nomique. En d'autres mots, elles ne contraignent pas de manière nécessaire les faits du monde biologique. Tout comme l'a argumenté Gould ci-dessus, Beatty défend que le monde biologique et les généralisations ci trouvant soient de nature contingente. Les objets d'études de la biologie étant contingents, ils ne peuvent donc pas être le résultat nécessaire de certaines lois biologiques.

Cette contingence peut être interprétée de deux manières selon Beatty (2006 p.222-224). Au sens faible, elle réfère au fait que ce que l'évolution rend général à un moment T_1 peut disparaître pour des raisons évolutives au moment T_2 . L'idée ici est simplement que ce n'est pas parce qu'un trait est utile au moment T_1 qu'il le sera aussi au moment T_2 . Par exemple, la plupart des mammifères possèdent des oreilles. L'explication la plus probable de ceci est que les mammifères possèdent tous un ancêtre commun qui était lui-même doté d'oreilles pour des raisons adaptatives. Cependant, certains mammifères, telles les taupes, ont «perdu» leurs oreilles au fil de l'évolution, car elles ne sont pas adaptatives dans leur environnement actuel. Ce cas permet d'illustrer deux particularités importantes du monde biologique. Premièrement, découvrir des généralisations du type «Tous les X possèdent la propriété Y» est difficile en biologie, car ce domaine est rempli d'exceptions. Deuxièmement, même si nous découvrons de telles généralisations, leur validité est très locale. En d'autres mots, le fait qu'une généralisation

soit vraie au moment T_1 , rien ne garantit que cette généralisation demeure vraie à T_2 . Les généralisations biologiques ne sont donc pas universelles.

Le sens fort réfère quant à lui au fait que partant des mêmes conditions initiales et en appliquant les mêmes «forces»¹² évolutionnaires (ex : sélection naturelle, dérive génétique, mutation), l'état final peut être différent. Donc, même si nous pouvons énoncer des généralisations vraies sur le monde biologique, ces dernières sont accidentelles et non pas de réelles lois. Une manière d'expliquer ceci est que l'état final causé par les «lois» biologiques est réalisable de multiple façon (il y a plusieurs «bons » moyens de survivre et de se reproduire). En partant des mêmes conditions initiales, il est donc impossible de prédire à quel état final nous allons aboutir et dans quel ordre nous allons y parvenir (Beatty 2006 p.225; Desjardins 2009; 2011)¹³. Puisque l'état du monde biologique (et par extension écologique) est fortement contingent, Beatty conclut qu'il n'y a pas de loi en biologie.

Le défi lancé aux défenseurs de l'approche D-N par la critique de Beatty est de trouver des lois non contingentes propres aux sciences du vivant. Si ce défi n'est pas relevé, une application stricte du modèle D-N nous force à conclure que les biologistes et les écologistes n'expliquent rien, car ils ne disposent pas de loi (Peters 1991). Cette conclusion est évidemment très controversée. Face à cette dernière, plusieurs ont préféré rejeter le modèle D-N et les approches syntactiques et de se tourner plutôt vers des approches sémantiques (ex : Beatty 1980; Cartwright 1983, 1989; Giere 1999; Van Frassen 1989). C'est-à-dire des approches explicatives rejetant l'usage de loi et se concentrant plutôt sur le rôle des modèles. Si les lois ne sont pas nécessaires afin d'expliquer les phénomènes biologiques, alors même si Beatty a raison, la biologie peut tout de même être explicative.

Ceci complète notre survol de l'approche D-N. Bien que ce modèle possède certaines lacunes et mène à des conclusions par moment contre-intuitives, il possède malgré tout plusieurs qualités. C'est pourquoi plusieurs auteurs (ex : Elgin 2003, 2006; Friedman 1974; Kitcher 1981) ont tenté de modifier certains critères du modèle D-N afin de le sauver de certaines critiques tout en préservant le cœur de la théorie. Nous aborderons une de ces suggestions (Elgin 2003, 2006) dans la section suivante.

¹² Le terme «force» est ici utilisé de manière métaphorique et non pas au sens newtonien (pour un traitement de cette question, voir notamment Sober (1984).

¹³ Pour un autre point de vue sur le lien entre évolution et réalisation multiple voir Rosenberg (1994).

2.3 Loi en écologie : le cas des allométries

Comme nous l'avons vu précédemment avec Beatty, la recherche de lois universelles dans un cadre de recherche portant sur des états contingents du monde semble problématique. Cette tension entre le désir de découvrir des lois et la contingence du monde est présente en écologie sous la forme de deux projets de recherches qui, bien que logiquement compatibles, ne sont pas unifiés en pratique (Marquet et al 2005, p. 1763-1764; Brown 1995, p.10). D'un côté, les approches expérimentales microscopiques¹⁴ embrassent totalement la contingence du vivant et recherche des explications locales. Cette position est présente notamment chez Diamond et Case (1986, p. x) qui affirment :

«The answers to general ecological questions are rarely universal laws, like those of physics. Instead, the answers are conditional statements such as: for a community of species with properties A1 and A2 in habitat and latitude C, limiting factors X2 and X5 are likely to predominate».

Si ces derniers ont raison, alors la recherche de loi en écologie semble futile, car le domaine est hautement contingent et contient énormément d'exceptions.

D'un autre côté cependant, les approches écologiques macroscopiques et non expérimentales tentent de démontrer l'existence de régularités écologiques. Ces dernières permettraient de rendre compte de tendances statistiques semblant universelles au niveau des communautés et des écosystèmes. C'est dans ce cadre que Brown (Brown et al 2003, p.411) affirme : « Our own recent research is based on the premise that the general statistical patterns of macroecology [...] are emergent phenomena of complex ecological systems that do indeed reflect the operation of universal law-like mechanisms.». S'il existe réellement des généralisations universelles sur le vivant, la recherche de loi en écologie semble beaucoup plus prometteuse que ce que l'approche microscopique laisse entrevoir. C'est à ces candidats au titre de loi que nous allons maintenant tourner notre attention.

¹⁴ L'approche microscopique fait ici référence à l'usage de microcosmes. Les microcosmes sont des environnements artificiels visant à répliquer des environnements naturels. Ces derniers sont utilisés afin d'étudier des propriétés dynamiques des communautés et des écosystèmes naturels se déroulant sur une séquence temporelle trop grande afin d'être étudiés par les biologistes (Daehler et Strong 1996). De manière générale, la taille des microcosmes est de quelques cm³. Des exemples de microcosmes sont les expériences en «bouteilles», le projet biosphère en Arizona ainsi que les écosphères.

En se basant sur des études macroévolutives, Elgin (2006) argumente que les allométries sont des lois biologiques non contingentes. Avant d'expliquer en quoi les allométries sont des lois selon ce dernier, il est cependant important d'expliciter ce que sont les allométries en écologie.

2.3.1 Que sont les allométries?

L'allométrie est l'étude des relations entre des organismes ou des systèmes et les processus internes à ces organismes ou systèmes (Hamilton 2007, p.603). Ces relations peuvent être représentées suivant l'équation de puissance suivante :

$$(1) Y = \beta x^\alpha$$

Y représente ici une variable dépendante, x est la variable indépendante, β est une constante normalisée et α est une constante de puissance (Marquet et al, 2005, p.149). Selon la valeur de l'exposant, ces relations sont des allométries ($\alpha \neq 1$) ou des isométries ($\alpha = 1$). L'intérêt de cette équation est de permettre de représenter une quantité comme la puissance d'une autre. Après avoir modifié (1) en équation linéaire à l'aide d'une transformation logarithmique, il devient possible d'identifier des tendances statistiques dans un graphique gradué en log.

Il est important de noter qu'exprimée de cette manière, aucune variable de cette équation ne fait référence au monde biologique. C'est pourquoi des équations de puissance de ce type peuvent être utilisées aussi bien pour les sciences du vivant qu'en sciences sociales ou encore en physique (ex : loi de Pareto, loi de Gauss). Dans un cadre biologique, la variable indépendante est habituellement associée à la grosseur de l'organisme alors que dans le cas de l'écologie cette variable réfère aux dimensions du système étudié.

L'étude de systèmes biologiques et écologiques avec cet outil permet de découvrir des tendances statistiques semblant avoir une portée universelle (Marquet et al 2005, p. 1750). Illustrons ceci avec un exemple. L'allométrie de Kleiber représente la relation entre la grosseur d'un organisme et son rythme métabolique (voir Figure 1). L'intérêt de cette relation est que, peu importe l'espèce, le rythme du métabolisme de base des organismes est proportionnel à la masse de ces derniers à la puissance 3/4. En utilisant l'équation (1), il devient donc possible d'identifier des tendances statistiques lourdes valides aussi bien pour les organismes unicellulaires que pour les grands mammifères. Bien que ces études portent sur le vivant, elles

ne semblent pas avoir d'exception (Marquet et al 2005 p.1750) et leur portée semble universelle. C'est pourquoi les allométries selon plusieurs (ex : Enquist et al. 2007; West et Brown 2004) sont des candidates sérieuses au titre de loi biologique.

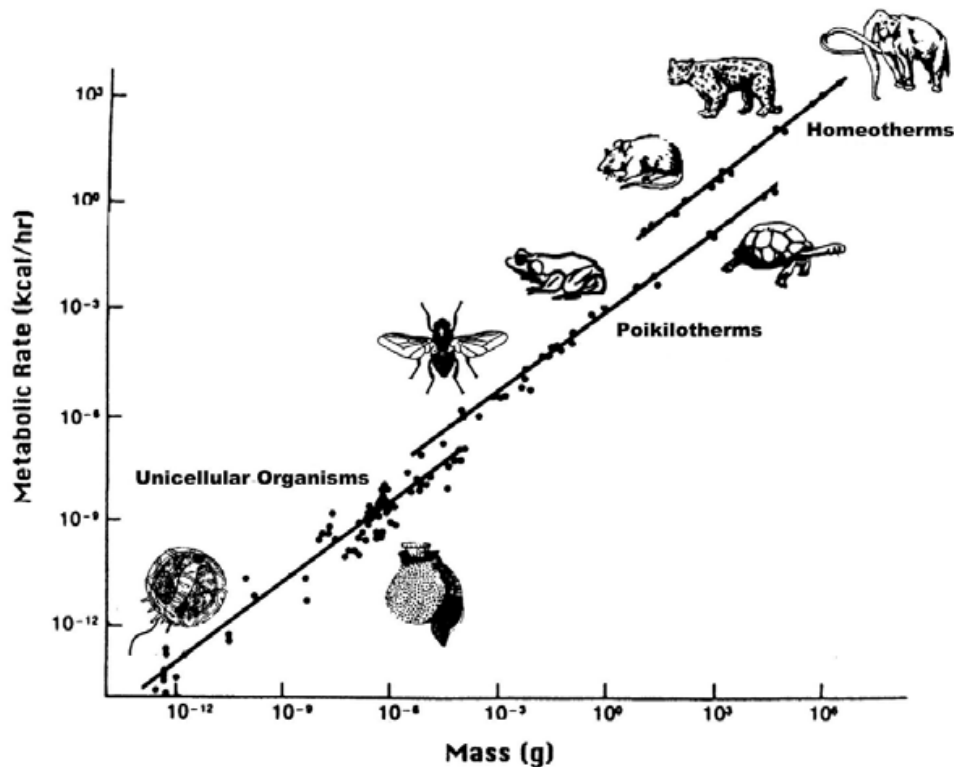


Figure 2.1 : Allométrie de Kleiber (provenant de Brown et West 2000)

2.3.2 Elgin

Elgin (2006) défend une interprétation nomique des allométries. Selon ce dernier, il est possible d'utiliser ces études afin de répondre à la critique de Beatty contre l'existence de loi en biologie. Pour ce faire, Elgin suggère de s'inspirer de la réponse qu'offre Sober (1997) à Beatty afin de démontrer que même si la biologie possède un degré de contingence plus grand que la physique, elle peut tout de même disposer de lois.

Sober (1997, p.460) offre la reconstruction suivante de l'argument de Beatty :

$$(I) \rightarrow [\text{si } P \text{ alors } Q]$$

$$T_0 \quad T_1 \quad T_2$$

Ceci signifie que si les conditions initiales contingentes (I) sont présentes au moment T_0 , alors la généralisation [si P alors Q] sera vraie entre les moments T_1 et T_2 . Comme nous l'avons déjà vu, Beatty argumente que puisque [si P alors Q] repose sur des conditions contingentes, cette généralisation n'est pas universelle et donc elle n'est pas une loi. Sober argumente cependant qu'en ajoutant les conditions initiales dans la généralisation, il devient possible d'obtenir un énoncé non contingent. Une telle proposition aura la forme suivante : (L) si (I) est réalisé à un moment T, alors la généralisation [si P alors Q] est obtenue par la suite au moment T_1 .

Elgin est en accord avec cet argument de Sober. Selon lui, les lois biologiques ont la forme suivante :

«given certain physical constraints p and under certain specifiable conditions c, all organisms exhibit behavior b where p is a physical property, c may be physical, chemical or biological property and b is a biological property» (Elgin 2006, p.130).

Une généralisation remplissant les conditions ci-dessus peut être considéré comme une loi strictement biologique selon Elgin, car tous les termes sont soit purement biologique ou encore mathématique. De plus, cet énoncé n'a pas d'exception. Cette manière de formuler les lois permet de répondre à Beatty, car même si les généralisations biologiques sont contingentes à un certain degré, il demeure possible de formuler des lois biologiques strictes.

Afin de démontrer que non seulement la biologie puisse avoir des lois, mais en plus qu'elle en a déjà, Elgin propose d'illustrer sa thèse à l'aide des allométries. Reprenons l'exemple de l'allométrie de Kleiber. À la lumière de la critique de Beatty, il est aisé de voir en quoi cette dernière n'est pas une loi selon le modèle D-N classique. En effet, bien que la relation entre la masse d'un organisme et son rythme métabolique soit toujours près de $3/4$, cette relation est contingente (Raerinne 2011, p.105). La sélection naturelle aurait pu faire que cet état de fait soit différent. N'étant pas universelle, cette allométrie ne peut donc pas être considérée comme une loi.

Suivant Elgin, il est cependant possible d'éviter ce constat. Beatty a peut-être raison de souligner la contingence de la puissance \propto dans cette relation, mais la présence de cette relation entre la masse d'un organisme et son rythme métabolique dans certaines conditions n'est peut-être pas contingent. De manière plus formelle, Elgin (2006, p.129-130) propose que : si certaines contraintes P et certaines conditions C sont présentes, alors les organismes manifesteront une relation de puissance de \propto entre leur masse et leur rythme métabolique. Lorsqu'interpréter de cette manière Elgin défend que cet énoncé soit une loi remplissant les critères de nomicité du modèle D-N. En effet, cette loi est universelle, car elle stipule que tout organisme remplissant certaines conditions précises manifestera cette relation. Comme nous l'avons vu précédemment, l'allométrie de Kleiber est valide aussi bien pour les organismes unicellulaires que pour les mammifères. Elle ne comporte donc pas d'exception. Finalement, cette loi supporte les contrefactuelles, car elle permet de prédire la relation entre la masse d'un organisme et le rythme métabolique de ce dernier.

En formulant les lois biologiques de manière à inclure certaines conditions initiales et certaines contraintes, il devient possible selon Elgin de contrer l'argument de Beatty. Non seulement l'argument a priori de ce dernier n'est pas satisfaisant, mais les sciences du vivant possèdent déjà des lois.

2.4 Critique : Allométries et causalité

La thèse d'Elgin est intéressante, car en plus d'offrir une réponse à la position de Beatty, elle tente de démontrer qu'il est possible de réformer le modèle D-N afin de permettre son application en biologie. La suggestion de limiter la portée de nos généralisations explicatives est très intéressante et j'y reviendrai en conclusion. Pour le moment, je vais cependant argumenter que la proposition d'Elgin n'est pas satisfaisante. La raison est que même si ce dernier prend au sérieux la critique de Beatty, il n'accorde pas assez d'importance aux autres problèmes classiques soulevés contre le modèle D-N. Dans cette section, je démontre que la thèse d'Elgin est susceptible au problème de la pertinence explicative et de l'asymétrie rencontré précédemment chez Hempel.

2.4.1 *Le problème de la pertinence explicative*

Tel que je l'ai présenté précédemment, le problème de la pertinence explicative critique le modèle D-N puisque ce dernier n'est pas en mesure de fournir de critère de démarcation entre les éléments pertinents à inclure dans une explication et de simples faits vrais, mais sans lien avec l'explanandum. Comme nous venons de le voir, la proposition d'Elgin est d'inclure certains antécédents dans la formulation des lois afin de rendre ces dernières non contingentes et ainsi répondre à Beatty. Malheureusement, Elgin n'articule pas de critère permettant d'identifier les antécédents pertinents à inclure dans nos lois. Sa thèse se trouve donc confronté elle aussi problème de la pertinence explicative (DesAutels 2010, Raerinne 2010).

Illustrons ce point à l'aide de la formulation de la loi de Kleiber offerte par Elgin : si certaines contraintes P et certaines conditions C sont présentes, alors les organismes manifesteront une relation de puissance de $\frac{3}{4}$ entre leur masse et leur rythme métabolique. Une question importante à se poser suite à cette formulation est : que faut-il inclure dans P et C (DesAutels 2009 p.253-254)? Elgin ne propose pas de critère permettant de limiter la classe des éléments à inclure dans P et C. Rien ne nous permet donc de déterminer quels éléments sont importants à inclure ces antécédents. Ceci permet de formuler des lois ridicules ne disposant d'aucun pouvoir explicatif. Par exemple : si tous les organismes ont une masse de moins de 100 000 kg et la lune à un cycle de 29 jours, alors les organismes manifesteront une relation de puissance de $\frac{3}{4}$ entre leur masse et leur rythme métabolique. Cette généralisation est vraie, mais n'est évidemment pas explicative puisqu'elle ne possède pas de force nomique.

Un point essentiel afin de rendre le modèle D-N fonctionnel est de permettre de distinguer entre loi et généralisation accidentelle. Si Elgin a raison, il existe peut-être effectivement des lois en biologie, mais rien ne permet de distinguer entre ces dernières et des généralisations accidentelles (DesAutels 2010 p.253). La classe des lois biologiques potentielles devient donc immense, mais l'intérêt d'identifier ces dernières diminue radicalement puisque leurs pouvoirs explicatifs sont incertains. Le modèle D-N demeure donc inadéquat afin d'expliquer des phénomènes écologiques.

2.4.2 Le problème de l'asymétrie explicative

Comme je l'ai déjà illustré, le problème de l'asymétrie explicative provient du fait que certaines explications manifestent une directionnalité temporelle et que le modèle D-N n'est pas en mesure de rendre compte de ce fait. Il devient donc possible d'expliquer une cause par son effet alors qu'intuitivement ceci n'est pas satisfaisant. Non seulement Elgin ne corrige pas ce problème, mais en plus il fait précisément cette erreur.

En effet, dans la littérature écologique, les allométries, contrairement aux lois pour Hempel, ne sont pas considérées comme des explanans, mais bien des explanandum (Raerinne 2011). C'est pourquoi Marquet écrit en parlant des allométries:

«Unless their theoretical foundations and underlying mechanisms are worked out to a sufficient detail to be able to predict new and, so far unknown, relationships there is the danger for this field to become adrift in a sea of empiricism devoid of theory and with little explanatory power and generality.» (Marquet et al 2005, p.1764)

Les tendances statistiques que les études allométriques permettent de découvrir sont très intéressantes, mais ces dernières ne sont pas explicatives ou encore prédictives, car elles ne sont pas causales (Marquet et al 2005, 1764). Les allométries sont des phénomènes nécessitant une explication et non pas une explication en soi. Elgin confond donc ici un explanandum pour un explanans.

Marquet n'est pas le seul écologiste à défendre la nécessité du concept de causalité en écologie. Comme nous l'avons déjà vu précédemment avec les citations de Brown ainsi que de Diamond et Case (section 2.3), l'écologie est à la recherche de facteurs causaux expliquant des phénomènes précis ainsi que de mécanismes rendant compte de certaines tendances statistiques. L'introduction de la notion de causalité par les écologistes est particulièrement intéressante, car ce concept est utilisé dans plusieurs approches philosophiques afin de corriger certaines lacunes du modèle D-N. En effet, la causalité est souvent invoquée par les philosophes afin de permettre de distinguer entre généralisation accidentelle et loi ainsi que pour corriger les problèmes de la pertinence explicative et de l'asymétrie (Craver 2007 chapitre 2 section 5).

Suite à ces nombreuses lacunes ainsi que son désir d'éviter de parler de causalité, le modèle D-N n'est donc malheureusement pas en mesure de nous offrir des outils afin de clarifier les critères d'identification et de délimitation causaux des communautés et des écosystèmes. Afin de corriger ces lacunes de l'approche explicative nomique ainsi que découvrir des outils utiles afin de défendre une interprétation réaliste des communautés et des écosystèmes, il semble nécessaire d'utiliser une approche explicative causale. Le chapitre suivant explorera certaines de ces alternatives causales.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai débuté par expliciter le modèle D-N. Par la suite, j'ai argumenté que ce modèle est inadéquat, car : (1) il n'est pas en mesure de distinguer entre loi et généralisation accidentelle et (2) son application dans le cas de l'écologie mène à la conclusion problématique que l'écologie n'explique rien. J'ai par la suite analysé la thèse d'Elgin qui propose qu'en introduisant certains antécédents dans la formulation de nos lois, il devient possible d'identifier des lois même dans le monde biologique (ex : allométries). Finalement, j'ai argumenté que cette suggestion n'est pas satisfaisante, car bien qu'elle tente de répondre à la critique de Beatty, elle ne propose pas de solutions à certains problèmes centraux du modèle D-N (distinction loi généralisation accidentelle, pertinence explicative, asymétrie). J'ai conclu qu'aussi bien le modèle D-N d'Hempel que la proposition d'Elgin d'utiliser le concept de loi afin de légitimer la pratique explicative en écologie sont insatisfaisants. Étant inadéquat afin de rendre compte de la pratique explicative descriptive et normative de l'écologie, l'apport de l'approche nomique au problème du statut ontologique des communautés et des écosystèmes est donc limité.

Ce constat peut sembler pessimiste. En effet, les approches nomiques sont insatisfaisantes au niveau explicatif dans le cadre de l'écologie et ne sont pas en mesure d'éclairer le débat portant sur le statut ontologique des communautés et des écosystèmes. Cette formulation des conclusions de ce chapitre masque cependant deux points positifs qu'il faut retenir de mon analyse. Premièrement, la proposition d'Elgin de limiter la portée de nos généralisations explicatives semble une piste de recherche intéressante afin de légitimer la démarche explicative en écologie. Cette intuition dans un cadre D-N n'est pas satisfaisante, mais il est possible de conserver cette section de la thèse d'Elgin et de l'appliquer dans un cadre explicatif différent. Deuxièmement, plusieurs écologistes et philosophes sont en accord

sur le rôle central de la causalité dans nos explications. Se tourner vers des approches explicatives causales semble donc une piste de recherche fructueuse.

Dans la littérature contemporaine, deux projets explicatifs tentent d'accomplir ces projets de manière unifiée : les approches manipulationnistes (Woodward 2003, Raerinne 2011) et mécanistes (Machamer, Darden, Craver 2000; Bechtel 2005; Craver 2007). Ces projets semblent prometteurs pour l'écologie, car cette science utilise déjà explicitement des approches manipulationnistes et recherche des mécanismes (Brown 1995). Nous tournons notre attention à ces deux projets dans le chapitre suivant.

Chapitre 3 : Explication en écologie : manipulations et mécanismes

Résumé : Dans ce chapitre, j'argumente que la théorie manipulationniste de Woodward (2003) et la théorie mécaniste de Marcharmer, Darden et Craver (2000) sont complémentaires et permettent de rendre compte des explications en écologie. En limitant la portée des généralisations explicatives et en portant attention au rôle de la causalité dans les explications scientifiques, ces deux modèles permettent d'éviter plusieurs problèmes présents dans l'approche déductivo-nomologique de Hempel. À l'aide d'exemples provenant de l'écologie, j'argumente que des éléments importants des approches manipulationnistes et mécanistes sont déjà présents dans ce domaine de recherche.

3.1 Introduction

Dans le dernier chapitre, j'ai argumenté que le modèle D-N était problématique afin de rendre compte des pratiques explicatives en écologie. En ne rendant pas compte du rôle central de la causalité en écologie, le modèle D-N n'est donc malheureusement pas en mesure de nous servir de base afin de trancher la question du statut ontologique des communautés et des écosystèmes. Cette analyse nous a cependant permis de découvrir deux éléments importants afin de rendre compte des explications en écologie : (1) une théorie de l'explication satisfaisante se doit de permettre à des généralisations non universelles d'être explicatives et (2) une telle théorie se doit d'être causal. Alors que le point (1) fut traité dans le dernier chapitre, le point (2) ne fut que soulevé rapidement.

Dans ce chapitre, je démontre comment faire intervenir la notion de causalité permet de corriger plusieurs défauts du modèle D-N. Par la suite, j'argumente que la théorie manipulationniste de Woodward (2003) et la théorie mécaniste de Marcharmer, Darden et Craver (2000) (MDC à l'avenir) sont complémentaires et permettent de rendre compte des explications en écologie. En limitant la portée des généralisations explicatives et en portant attention au rôle de la causalité dans les explications scientifiques, ces deux modèles permettent d'éviter plusieurs problèmes présents dans l'approche déductivo-nomologique de Hempel. À l'aide d'exemples provenant de l'écologie, j'argumente que des éléments importants des approches manipulationnistes et mécanistes sont déjà présents dans ce domaine de recherche. Je conclus que ces deux approches combinées permettent de rendre

compte de la pratique écologique et fournissent donc des outils intéressants afin de résoudre le problème du statut ontologique des communautés et des écosystèmes.

3.2 Causalité et Explication

Comme nous l'avons constaté dans le chapitre précédent, l'approche némique est confrontée à plusieurs problèmes importants. Voici la liste des principaux problèmes identifiés :

(P1) L'approche némique ne permet pas de distinguer entre loi et généralisation accidentelle.

(P2) L'approche némique ne permet pas de rendre compte de l'asymétrie de certaines explications.

(P3) L'approche némique ne permet pas de distinguer les éléments pertinents à inclure dans une explication des critères non importants.

(P4) La notion de nemicité est trop rigide et ne permet pas l'existence de généralisations explicatives en écologie.

À la fin du dernier chapitre, j'ai avancé que plusieurs philosophes défendent que la notion de causalité permette de répondre aux problèmes (P1) à (P3). Dans cette section, je présente brièvement ce que ces philosophes entendent par causalité ainsi que comment cette notion permet de corriger ces trois problèmes. Je présenterai par la suite dans les sections 3.3 et 3.4 deux théories de l'explication causale permettant de corriger (P4).

3.2.1 Causalité

De manière contemporaine, la notion de causalité peut faire référence à trois projets de recherche distincts en philosophie (Hitchcock 2007). Le premier de ces projets tente de rendre compte de la conception de la causalité en science. Ce projet tel qu'exemplifié par Pearl (2000) et Woodward (2003) désire offrir des outils permettant de mieux représenter la structure causale du monde. Le deuxième de ces projets de recherche porte quant à lui sur le fonctionnement de l'attribution et de la perception de causalité par les agents ainsi que sur les facteurs influençant ces phénomènes. La recherche dans ce domaine s'effectue notamment en psychologie (Alicke 1992), en philosophie expérimentale (Hitchcock et Knobe 2009; Knobe 2003; 2008) ainsi qu'en droit (Hart et Honoré 1985). Finalement, le dernier des projets contemporains portant sur la causalité est le projet métaphysique. Ce projet tente notamment de décrire ce qu'est la causalité. Ici, nous retrouvons notamment les suggestions de Lewis (2000) proposant

de définir la causalité en terme d'influence ainsi que celle de Salmon (1984, 1998) proposant de définir la causalité comme la transmission d'une marque. Bien que toutes ces questions soient intéressantes, seul le premier de ces projets est pertinent dans le cadre de ce mémoire. C'est à ce dernier que nous tournons maintenant notre attention.

Un des objectifs principaux de l'approche scientifique au problème de la causalité est de bâtir des modèles représentant la structure causale objective du monde (Hitchcock 2007 p. 508). Afin d'atteindre cet objectif, il est nécessaire d'être en mesure de distinguer entre causalité et corrélation. Suivant la proposition de Hitchcock et Woodward (Hitchcock et Woodward 2003; Woodward et Hitchcock 2003), la différence entre ces deux concepts est que contrairement aux corrélations, les relations causales fournissent de l'information permettant d'intervenir¹⁵ afin de modifier l'état d'une variable précise. La distinction entre corrélation et causation peut être représentée par le schéma suivant :



Dans la figure 3.1, les lettres sont des variables représentant différents phénomènes. Les traits pleins représentent des relations causales et les pointes des flèches représentent la direction de ces relations causales. Dans cet exemple, A est une cause de B et C et C est une cause de D.

Lorsque nous combinons un tel modèle avec une approche manipulationniste, il est possible de distinguer entre les relations causales et les simples corrélations. Comme le défend Woodward:

«I take the guiding idea of a manipulability approach to causation to be that lying behind the distinction we make between causal relationships and mere correlations is a concern to distinguish between, on the one hand, a relationship between A and B that can be

¹⁵ La notion d'intervention est centrale à la théorie de Woodward. Il en sera question avec plus de détail dans la section suivante. Pour le moment, il est suffisant de se représenter une intervention comme une manipulation scientifique rigoureuse affectant une seule variable afin d'isoler l'effet de cette dernière.

used to manipulate (in the sense that if it were possible to manipulate A, this would be a way of changing B) and, on the other hand, a correlation that will simply disappear when we attempt to manipulate B by manipulating A» (Woodward 2003 p.33)

Suivant cette suggestion, le modèle représenté dans la figure 3.1 permet de constater que bien que B et C soient corrélés puisqu'ils possèdent une cause commune, B n'est pas causalement relié à D, car un changement dans la valeur de B n'a pas d'effet sur la valeur de D (tant et aussi longtemps que ce changement de valeur n'affecte pas A ou C). En manipulant isolément la valeur de chaque variable d'un système, il est possible de distinguer entre les relations causales et les corrélations.

L'intérêt de ces modèles causaux est de permettre des prédictions ainsi que de découvrir certaines régularités (Hitchcock 2007 p.510; Pearl 2000; Woodward 2003). En effet, tel que l'exemple précédent l'a illustré, posséder un modèle causal permet de prédire et de quantifier les effets du changement de la valeur d'une variable. Par exemple, changer la valeur de A aura un effet sur la valeur de B, C et D. Modifier la valeur de C aura cependant un effet uniquement sur la valeur de D. De plus, ces relations sont régulières, car si les chaînes causales ne sont pas modifiées, une intervention sur une variable aura toujours le même effet (ou encore la même probabilité de cet effet dans un contexte probabiliste).

Cette approche souligne de plus deux points importants. Premièrement, la structure causale du monde est un fait objectif. Les intérêts des chercheurs ont évidemment un rôle afin d'expliquer pourquoi nous nous intéressons plus à une certaine relation causale à une autre, mais cet intérêt ne modifie pas la structure du monde. Les relations causales font parties intégrantes du monde et ne sont pas le fruit des intérêts des chercheurs (Craver 2007 p.64; Woodward 2003 p.23). Deuxièmement, une représentation des relations causales d'un certain système n'est pas une simple description de la séquence temporelle des événements se produisant dans ce dernier (Hitchcock 2007 p.510). Si tel était le cas, il serait impossible de distinguer entre cause et corrélation. Comme l'a illustré la figure 3.1, le fait que B et C se produisent au même moment ne signifie pas que B et C soient tout deux causalement impliqués dans D.

3.2.2 Causalité et explications

Maintenant que ce que j'entends par causalité est plus clairement défini, retournons aux problèmes soulevés précédemment afin de voir comment nous pouvons y répondre.

Causalité et asymétrie

Débutons avec le problème de l'asymétrie (P2). Le problème que soulève P2 est le fait que nous ne désirons pas expliquer une cause par son effet. Nos explications possèdent une directionnalité temporelle. La figure 3.2 représente une relation causale asymétrique. Comme nous le voyons, la relation entre A et B est asymétrique dans ce graphique, car une seule flèche causale est présente et cette dernière mène de A à B.



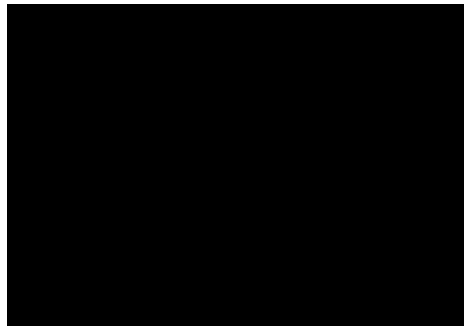
Dans le cadre du modèle D-N, ce type de relation est problématique, car aucun critère manifestant une direction temporelle n'est présent. La causalité est cependant une notion temporelle (la relation menant de A à B se déroule dans le temps). Elle permet donc de rendre compte de l'asymétrie de certaines explications. Par exemple, dans le cas de la figure 3.2, A est la cause de B et B n'a pas d'effet sur la valeur de A. Si nous désirons expliquer la valeur de B, il est donc nécessaire d'inclure A. Cependant, si nous désirons expliquer la valeur de A, la valeur de B n'est pas importante à inclure puisqu'elle n'affecte pas A.

Rappelons-nous de l'exemple du poteau et de la longueur de l'ombre de ce dernier présenté par (Bromberger 1966). En faisant intervenir la notion de causalité, nous pouvons facilement rendre compte du fait que le poteau explique la longueur de l'ombre puisque ce dernier est la cause de l'ombre. Nous ne pouvons cependant pas expliquer la longueur du poteau à l'aide de l'ombre, car l'ombre n'a pas d'effet causal sur le poteau. À l'aide de la notion de causalité, il est donc possible de corriger le problème de l'asymétrie explicative.

Causalité et pertinence explicative

Passons maintenant au problème de la pertinence explicative (P3). Comme nous l'avons vu précédemment, le modèle D-N considère que les explications sont des arguments. Or, puisqu'au niveau formel la force d'un argument n'est pas dépendante du nombre de prémisse, mais bien de la valeur de vérité de ces dernières, il n'est pas nécessaire de distinguer entre les prémisses réellement explicatives des prémisses vraies, mais sans lien avec l'explanandum. Contrairement aux arguments, la valeur des explications dépend cependant de la présence d'éléments pertinents dans la chaîne explicative. Il est donc nécessaire de disposer d'un critère permettant de délimiter les éléments pertinents des autres.

Encore une fois, la causalité permet de corriger ce problème. La figure 3.3 est un modèle représentant un système causal. Dans ce système, A est une cause de B, C et D. Par la suite, D cause E alors que B et C sont tous les deux causalement impliqués dans la valeur de F. Selon le modèle D-N, il est légitime d'expliquer la valeur de F en évoquant A, B, C, D et E, car toutes ces variables sont au minimum corrélées entre elles. Un argument utilisant ces variables afin d'expliquer F serait donc valide et vrai. Certaines de ces variables ne sont cependant pas pertinentes afin d'expliquer F.



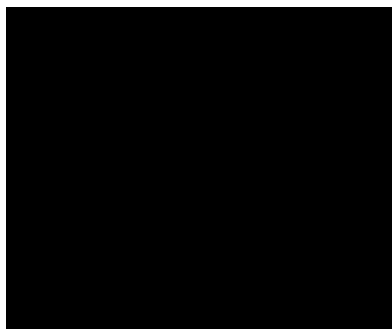
En utilisant la causalité, il est possible de distinguer entre les variables pertinentes (les variables causales) et les variables non pertinentes (celles simplement corrélées). Une bonne explication de F fera intervenir A, B et C. Les variables D et E sont corrélées avec F, mais leurs valeurs n'affectent pas F. Il n'est donc pas pertinent de les inclure dans notre explication.

Reprenons l'exemple de Salmon (1971) proposant une explication du fait qu'un homme ne tombe pas enceinte puisqu'il consomme régulièrement des pilules anticonceptionnelles¹⁶. À l'aide de la causalité, nous pouvons constater que cette explication n'est pas pertinente, car le fait de prendre des pilules anticonceptionnelles n'affecte pas la probabilité qu'un homme tombe enceinte. Cette explication n'est donc pas satisfaisante. En utilisant la causalité, il est donc possible d'identifier les éléments pertinents à inclure dans une explication.

Causalité et généralisations accidentelles

Un des problèmes les plus importants présents dans le cadre du modèle D-N est celui de la distinction entre généralisation accidentelle et généralisation explicative (loi) (P1). La distinction entre ces deux catégories de généralisation est que les généralisations explicatives possèdent une force nomique, c'est-à-dire qu'elles contraignent le cours des événements. Elles ont donc un pouvoir prédictif et explicatif distinct des généralisations accidentelles. Le modèle D-N n'offre cependant pas de description précise de ce qu'est cette force nomique. Il est donc impossible de distinguer entre loi et généralisation accidentelle dans ce cadre théorique.

Il est cependant possible d'utiliser la causalité afin de clarifier ce que Hempel et ses successeurs entendent par «force nomique» ou encore «contraindre» le cours des événements. Une généralisation possède une force nomique (ou encore contraint les événements) si et seulement si elle est causale. Une généralisation accidentelle quant à elle est une généralisation vraie, mais non causale. Elle ne contraint pas les événements, car elle n'a pas d'effet. Illustrons ceci à l'aide de la figure 3.4.



¹⁶ Il est important de noter que bien que cet exemple n'ait pas été développé originalement par Salmon afin de rendre la causalité pertinente. Plusieurs philosophes utilisent cependant cet exemple afin de démontrer l'importance de la causalité (voir notamment Woodward 2003, p.154).

Dans cette figure, nous pouvons identifier les deux types de généralisations présentées ci-dessus. Alors que la généralisation « C implique D » est causale et donc réellement explicative, la généralisation « B implique D » est accidentelle. La raison de ceci est que puisque B et C sont corrélés, la présence de B sera aussi corrélée avec D. La valeur de B n'affecte cependant pas celle de D. Cette généralisation est donc accidentelle. La généralisation « C implique D » est quant à elle explicative, car une modification de la valeur de C aura un effet sur D.

Revenons aux généralisations problématiques proposées notamment par Van Frassen (1989). Ces dernières sont :

- i- Aucun signal ne peut se déplacer plus rapidement que la vitesse de la lumière.
- ii- Aucune sphère d'uranium-235 n'a une masse plus grande que 100 000 kg.
- iii- Aucune sphère d'or n'a une masse plus grande que 100 000 kg.

À l'aide de la causalité, nous pouvons maintenant expliquer pourquoi les généralisations (i) et (ii) sont explicatives alors que (iii) ne l'est pas. La raison pourquoi (i) et (ii) sont explicatives est que ces généralisations contraignent causalement le cours des événements. Même si je dispose d'une quantité suffisante d'uranium-235, je ne peux pas créer une sphère d'une masse plus grande que 100 000kg. Le raisonnement est similaire pour (i). Dans le cas de (iii), il est cependant tout à fait possible physiquement de créer une sphère d'or de plus que 100 000kg. Puisque cette généralisation n'est pas causale mais tout de même vraie, elle n'est donc qu'une généralisation accidentelle. Les deux premières sont quant à elles causales et donc possèdent un pouvoir explicatif réel. Encore une fois, la causalité nous permet de corriger un problème majeur du modèle D-N.

Comme nous pouvons maintenant le constater, la notion de causalité une piste de recherche très intéressante permettant de corriger plusieurs défauts du modèle D-N. Simplement parler de causalité n'est cependant pas une alternative réelle aux approches nomiques. Pour ce faire, il est nécessaire de construire un cadre explicatif plus complet basé autour de la notion de causalité. Le reste de ce chapitre porte sur deux théories de l'explication relevant ce défi ainsi que leur application en écologie. Dans la section suivante, nous aborderons la théorie de Woodward (2003) proposant de lier le concept d'explication avec la notion de causalité et de manipulation.

3.3 Manipulation et explication

James Woodward développe dans une série d'articles (Woodward 2001, 2002, 2004; 2010; Woodward et Hitchcock 2003; Hitchcock et Woodward 2003) et un livre (Woodward 2003) une théorie manipulationniste des explications causales. L'idée centrale de la thèse de Woodward est qu'une bonne explication fournit l'information nécessaire à des agents afin que ces derniers puissent (théoriquement) manipuler et contrôler le phénomène expliqué. Cette théorie cherche à être descriptivement adéquate (donc, rendre compte de la pratique explicative des scientifiques) tout en possédant un côté normatif fort (permettre l'évaluation de ces explications) (Woodward 2003, p.23). Afin d'atteindre ces objectifs, Woodward devra à la fois accorder un rôle central à la causalité et rendre compte du fait que plusieurs explications actuelles en sciences possèdent une portée très locale.

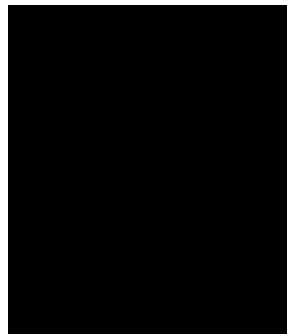
La thèse manipulationniste de Woodward peut s'exprimer comme suit : C fait partie de l'explication causale de E si une intervention sur C modifierait E (ou la probabilité de E) si les conditions d'arrière-plans sont invariantes (Woodward 2004, p.41). Afin de bien saisir la portée de la théorie de Woodward, il est nécessaire de clarifier les concepts centraux de sa théorie.

Premièrement, que signifie la notion d'intervention? Une intervention est une idéalisation de ce qu'est une manipulation scientifique rigoureuse. Il s'agit de modifier un paramètre ou encore la valeur d'une variable tout en maintenant les autres constants afin d'observer l'effet de ce changement. Formellement, Woodward définit le concept d'intervention de la manière suivante :

«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 occurs, it occurs only in virtue of the change in the value of X and not through some other causal route» (Woodward 2003, p.94).

Un exemple est ici utile pour illustrer ce concept. Considérons la relation existante entre la pression atmosphérique (X), la pression indiquée sur un baromètre (Y) et la probabilité de pluie (Z). Dans cet exemple, nous observons en pratique que X et Y varient lorsque Z augmente. Afin de déterminer si X et Y sont causalement impliqués dans Z et non pas simplement corrélés, il faut intervenir sur la valeur d'une variable tout en gardant les autres invariables. Débutons par intervenir sur X. Que se passe-t-il? Nous observons une variation dans la valeur d'Y et Z. Nous pouvons donc conclure que X est causalement impliqué dans la valeur d'Y et Z. Qu'en est-il d'Y?

Si nous manipulons la valeur de cette variable, rien ne change. La raison de ceci est qu'Y est seulement corrélé à Z et non pas causalement lié. Une intervention sur la valeur de Z mène à cette même conclusion. La relation causale entre ces variables est représentée dans la figure 3.4. Les interventions sur les variables X, Y et Z nous permettent de conclure que la pression atmosphérique est causalement liée à la pression barométrique et à la probabilité qu'il pleuve.



Toutes les interventions ne sont cependant pas aussi simples que l'exemple précédent. C'est pourquoi Woodward soutient que la notion d'intervention doit être comprise de manière contre-factuelle. Ceci lui permet d'accorder un rôle explicatif à des interventions qui ne sont pas actualisées ou encore réalisable en pratique.

Illustrons ceci à l'aide d'un exemple provenant de Woodward (Woodward 2003 p.129). Considérons la proposition suivante et tenons pour acquis qu'elle soit explicative : « Les changements de position de la Lune par rapport à la Terre sont responsables des marées. ». Selon la théorie manipulationniste de Woodward, pour que cet énoncé soit explicatif, il est nécessaire de pouvoir intervenir sur la position de la Lune par rapport à la Terre afin d'observer si cette intervention a un effet sur la force des marées. Dans le cas présent, une intervention sur la position de la Lune, bien que physiquement possible, n'est pas réalisable en pratique. Si pour qu'une généralisation soit explicative il est nécessaire de pouvoir intervenir actuellement sur les variables de cette dernière, plusieurs énoncés considérés comme explicatifs de manière non controversée en science perdraient leurs statuts explicatifs. Afin de contrer ceci et permettre de rendre compte de la pratique explicative en science, Woodward fait intervenir la notion de contrefactuel (2003 p.94). Ces derniers sont très importants, car ils permettent de répondre à des questions de type : « Que se passerait-il si X était différent? ». Dans le cas présent, ils permettent de prédire l'effet qu'aurait un changement de la position de la Lune par rapport à la Terre sur les marées. La raison de ceci est qu'il est possible de manipuler de manière

contrefactuelle la position de la Lune et d'utiliser la théorie de la gravitation de Newton afin de prédire l'effet d'un changement de la position de la Lune sur les marées terrestres. En interprétant la notion d'intervention de manière contrefactuelle, il est donc possible de rendre compte des généralisations explicatives sur lesquelles il est problématique d'intervenir directement.

Traditionnellement, la notion de contrefactuel est mal vue en philosophie des sciences¹⁷. Une des raisons majeures de ceci est le bagage métaphysique lourd que semble impliquer cette notion (voir notamment Lewis 1973). Bien que Woodward pense que les contrefactuels ont un rôle important à jouer dans nos théories de l'explication, il ne souhaite pas entrer dans un débat métaphysique. C'est pourquoi il justifie l'emploi des contrefactuels de manière pragmatique. Selon sa théorie, seuls les contrefactuels en lien avec le phénomène que nous examinons possèdent une valeur explicative. En utilisant les contrefactuels de cette manière, Woodward rattache leurs usages directement à la pratique scientifique. De manière plus précise, les contrefactuels seront justifiés selon Woodward s'ils remplissent trois critères. (1) Ils doivent être utiles pour résoudre le problème pour lequel ils sont évoqués. (2) Ils doivent être théoriquement testables et (3) il doit être possible de leur accorder une valeur de vérité objective (Woodward 2004, p.45). Le critère (1) fait ici référence au désir pragmatique de Woodward alors que les critères (2) et (3) explicitent le lien entre la démarche scientifique et les contrefactuels. En limitant l'usage des contrefactuels de la sorte, Woodward est en mesure de légitimer leurs usages tout en évitant de résoudre le problème d'ordre métaphysique.

La deuxième notion centrale à la théorie de Woodward est celle d'invariance. Il définit cette notion de la manière suivante :

«For a generalization to be invariant, all that is required is that it be stable under some (range of) changes and interventions. It is not required that it be invariant under all possible changes and interventions» (2003 p. 17).

Dire qu'une relation est invariante revient donc à affirmer que la relation causale liant deux variables est stable sous un ensemble de conditions qui ne sont généralement pas universelles. Un exemple est utile afin d'illustrer ceci. Prenons la loi de Hooke. Cette dernière est

¹⁷ Une position critique de l'usage des contrefactuels en philosophie des sciences se trouve notamment chez Bogen (2004), Machamer (2004) et Salmon (1984). Hitchcock (2001), Pearl (2000) et Woodward (2004) défendent quant à eux la légitimité des contrefactuels dans nos théories de l'explication.

une généralisation invariante expliquant le lien entre l'application de la force sur un ressort et l'extension de ce dernier. Bien que cette généralisation soit vraie sous un ensemble très important de manipulations et de condition d'arrière-plan, la portée de cette dernière est limitée. Si une force trop grande est appliquée sur un ressort, ce dernier se brisera et son état ne pourra pas être décrit à l'aide de la loi de Hooke. Nous pouvons cependant découvrir sous quel ensemble d'intervention cette généralisation est valide et donc à quel moment il est légitime de l'utiliser. L'important pour qu'une généralisation soit explicative est donc quelle soit invariante sous un ensemble d'intervention et non pas qu'elle soit universellement valide comme le défendait Hempel.

En pratique, il est impossible de tester une relation causale sous tous les changements de conditions possibles. Woodward défend donc qu'il soit nécessaire de comprendre la notion d'invariance de manière contrefactuelle (Woodward et Hitchcock 2003). De cette manière, tout comme dans le cas de l'intervention, les contrefactuels permettent de légitimer les généralisations explicatives pour lesquelles nous ne pouvons pas tester tous les cas limites.

L'invariance est un concept particulièrement important afin de rendre compte des explications en écologie. Comme j'ai argumenté dans le chapitre précédent, une théorie de l'explication applicable en écologie se doit de pouvoir rendre compte du caractère local et contingent de ce domaine d'étude. L'invariance permet de satisfaire ce critère. En effet, selon la théorie de Woodward, le fait qu'une généralisation ait une portée limitée ne la rend pas inutile. L'important est de savoir entre quelles et quelles valeurs cette généralisation causale est vraie. Une fois que ceci est connu, il est possible de savoir à quel moment cette généralisation est explicative et donc à quel moment cette dernière nous fournit de l'information permettant de manipuler le système causal étudié. Beatty (1995) a sans doute raison de souligner la contingence du monde biologique. Ceci ne signifie cependant pas que toutes les généralisations de ce domaine d'étude sont également contingentes. Certaines généralisations portant sur le contingent peuvent avoir une valeur explicative légitime. L'intuition intéressante identifiée au chapitre précédent chez Elgin se retrouve donc aussi chez Woodward. Ceci permet à la théorie de ce dernier de corriger le problème (P4) identifié précédemment.

Récapitulons. Woodward a développé une théorie de l'explication manipulationniste. C'est-à-dire qu'une variable C doit être incluse dans une explication causale du phénomène E si une intervention sur la variable C a un effet sur la valeur ou encore la probabilité de E. Cette

généralisation est explicative si elle est invariante sous un ensemble défini de changement dans les conditions d'arrière-plan. En pratique, il n'est cependant pas possible de pratiquer toutes les interventions ainsi que découvrir tous les cas limites. Afin de légitimer les explications se trouvant dans cette situation, il est Woodward argumente qu'il est nécessaire d'interpréter ces deux notions de manière contrefactuelle. Finalement, à l'aide de ce cadre explicatif, il est possible d'expliquer pourquoi même si nous n'avons pas de loi en écologie il est tout de même possible d'avoir des explications. Les généralisations explicatives en écologie ne sont pas universelles, mais elles peuvent tout de même être stables sous un ensemble d'intervention. Les explications en écologie sont donc possibles. Avant d'appliquer cette théorie à un exemple écologique, je présente dans la section suivante la théorie mécaniste de MDC.

3.4 Mécanisme et explication

Dans cette section, je présente la théorie de l'explication mécaniste développée par Machamer, Darden et Craver (MDC 2000; Machamer 2004; Craver 2006, 2007; Craver et Darden 2005; Darden 2007)). Bien que cette approche fût développée originalement comme une théorie compétitrice à la celle de Woodward (voir notamment Machamer 2004), les développements récents de cette approche accordent un rôle très important à la théorie manipulationniste. La compatibilité de ces deux approches est explicitement affirmée par Craver, qui dans son livre *Explaining the Brain*, déclare que le critère d'intervention développé par Woodward est un moyen efficace d'identifier les composantes causales des mécanismes (Craver 2007, p.105). Il est possible de conceptualiser la relation entre ces deux approches de la manière suivante. Alors que Woodward s'intéresse à identifier un critère permettant de déterminer les éléments causaux à inclure dans une explication et l'articulation de ces derniers pour permettre des interventions, MDC s'intéressent plutôt à l'articulation de ces éléments causaux sous la forme de mécanismes. Selon cette interprétation, ces deux types d'explications sont complémentaires et représentent deux aspects de l'explication. Je débiterai par présenter le cadre développé originalement par MDC (2000). Par la suite, j'aborderai les critères normatifs sous-tendant cette approche telle que développée par Craver (2007). Finalement, j'illustrerai cette théorie à l'aide d'un exemple.

La thèse centrale de MDC est qu'une explication mécaniste adéquate décrit les composantes de ce mécanisme ainsi que l'organisation de ces dernières afin de permettre de prédire l'explanandum. Plus précisément, MDC définissent un mécanisme comme suit :

«Mechanisms are entities and activities organized such that they are productive of regular changes from start or set-up to finish or termination conditions.» (MDC 2000, p.3). Autrement dit, un mécanisme est composé d'entités et d'activités. Ces composantes sont organisées d'une manière précise permettant au mécanisme de partir d'un état initial X et d'atteindre un état final Y de manière stable.

Les mécanismes sont constitués de deux types de composantes. Les entités sont les parties engagées dans des activités. L'existence des entités est démontrée par des interventions. Plus le type d'interventions possible sur les entités est grand, plus ces dernières manifestent de la robustesse (Craver 2007 p.131; Wimsatt 1981). Les activités sont quant à elles les productrices de changements. Elles sont des relations causales exploitables pour des fins de manipulation (Craver 2007, p134). Il n'y a pas d'entité sans activité et pas d'activité sans entité (MDC 2000, p.8). Ces deux types de composantes sont des classes ontologiques distinctes irréductibles l'une à l'autre. En défendant ce dualisme ontologique, MDC tentent de concilier d'un côté l'intuition voulant que les mécanismes soient des entités réelles et de l'autre l'intuition voulant que les mécanismes s'engagent dans des activités produisant des changements.

Les composantes des mécanismes doivent être organisées d'une manière précise afin d'exhiber le phénomène à expliquer. Ceci reflète le fait que les mécanismes ne sont pas de simples agrégats (Wimsatt 1997; 2006; 2007). C'est-à-dire que les propriétés des mécanismes ne sont pas invariantes à l'arrangement de leurs parties et donc qu'une modification de l'organisation du mécanisme implique souvent une modification du phénomène produit par ce dernier. Cette organisation est à la fois spatiale (ex. : localisation, dimension, connexion) et temporelle (ex. : ordre, durée, fréquence). Une explication mécaniste devra donc décrire où les différentes composantes sont localisées ainsi que la séquence temporelle de leurs interactions.

Il est aussi important de noter que les mécanismes possèdent une structure hiérarchique. C'est-à-dire que les composants des mécanismes expliquant le phénomène de l'explanandum peuvent être eux-mêmes des mécanismes se trouvant à des niveaux inférieurs. À première vue, ceci peut sembler favoriser une approche réductionniste. Ce n'est cependant pas nécessairement le cas. Comme l'argumentent MDC (2000), chaque domaine scientifique accepte un niveau explicatif de base («bottoming out»). Ce niveau est considéré comme fondamental et non problématique dans une science donnée. Par exemple, en biologie

moléculaire les explications sont maximalelement réduites à des activités électrochimiques, énergiques, électromagnétiques ou encore géométrico mécaniques (MDC 2000, p.14). Il n'est pas nécessaire de réduire ces explications à un niveau inférieur afin de les rendre explicatives. Le résultat de ceci, pour utiliser une image provenant de Wimsatt (2007), n'est pas une ontologie désertique, mais bien une véritable forêt tropicale dans laquelle différents mécanismes provenant de différentes disciplines scientifiques cohabitent à différents niveaux, chacun étant une explication légitime dans un domaine précis.

Lorsque bien organisés, les mécanismes sont en mesure de produire le phénomène de l'*explanandum* de manière régulière (Craver et Darden 2005). Autrement dit, un mécanisme doit partir d'un même état initial et arriver au même état final si les entités et les activités le composant sont organisées de manière identique dans deux situations. Les états initiaux et finaux dont il est question ici sont les points privilégiés par les scientifiques pour expliquer un phénomène particulier. Ces points sont des états idéalisés favorisés par les chercheurs. Ils n'ont pas besoin d'être réellement le début ou la fin d'un mécanisme. La régularité est une notion importante, car elle distingue la théorie de MDC d'autres approches mécanistes utilisant le concept de loi (ex : Glennan 1996). MDC, tout comme Woodward, trouvent la notion de loi problématique, car puisqu'une loi est un énoncé général universel, il en existe très peu (s'il en existe) et elles ne sont pas utilisées dans plusieurs sciences (ex : neurobiologie). Ils favorisent donc une approche basée sur des régularités, ou encore, pour utiliser le vocabulaire de Woodward, des généralisations invariantes. Tout comme Woodward, MDC offre donc un cadre d'analyse permettant de rendre compte des explications portant sur des états de fait contingents.

À cette description de ce qu'est un mécanisme, il faut ajouter deux critères normatifs (Craver 2007 p.111). Premièrement, une approche mécanistique doit pouvoir distinguer entre une représentation complète d'un mécanisme et une esquisse de ce dernier. Une esquisse est un modèle incomplet dans lequel certaines entités, activités et organisations sont représentées, mais dans lequel il demeure des boîtes noires (Darden 2007). Ces boîtes représentent des sections du mécanisme qui sont encore mal comprises et donc qui n'ont pas de valeur explicative complète pour le moment. Comme le fait remarquer Craver (Craver 2007 p.113), il faut être prudent en évaluant les mécanismes, car les boîtes noires ne sont pas toujours identifiées et elles sont parfois nommées avec des termes de remplissage (ex. : cause, produit,

impliqué). Deuxièmement, il faut être en mesure de distinguer entre un modèle explicatif potentiel d'un mécanisme («how-possibly models») et comment ce mécanisme fonctionne réellement («how-actually models»). L'idée ici est qu'une explication ne doit pas être uniquement phénoménalement adéquate, mais bel et bien expliquer réellement comment se comporte le mécanisme. Bien que les modèles explicatifs potentiels possèdent une valeur heuristique et un rôle dans la découverte scientifique, leur valeur explicative est limitée, car ils ne sont pas nécessairement utiles à des fins de manipulation.

Avant de passer à la section suivante, illustrons le fonctionnement de la théorie explicative de MDC avec un exemple d'explication mécaniste réussi. Prenons l'explication de l'émission de neurotransmetteur par les neurones (Craver 2007, p.4-5). Commençons l'analyse de ce mécanisme au moment de la dépolarisation de l'axone terminal par le potentiel d'action. Cette dépolarisation ouvre les canaux à calcium de membrane qui sont sensibles au voltage. L'ouverture des canaux libère du Ca^{2+} . La concentration de Ca^{2+} augmente ce qui augmente à son tour les liens entre le Ca^{2+} et la calmoduline. Ceci libère du cytosquelette la vésicule contenant les neurotransmetteurs. À ce moment, les protéines Rab_3A et Rab_3C guident la vésicule vers le site de libération présent sur la membrane. Par la suite, la protéine v-SNARE présente dans la vésicule se lie avec la protéine t-SNARE de la membrane afin d'aligner la vésicule avec la membrane. L'influx de Ca^{2+} présent dans la zone active ouvre les pores de la membrane et de la vésicule ce qui relâche les neurotransmetteurs. Ceci est un exemple d'explication mécaniste complète, car les entités (ex : Ca^{2+} , molécules, protéines), les activités (ex : ouverture, diffusion, mouvement) et l'organisation spatio-temporelle sont bien définies. De plus, cette explication est satisfaisante, car lorsque ce mécanisme est activé, le phénomène résultant de manière régulière est la libération de neurotransmetteurs par les neurones. Finalement, puisque nous pouvons intervenir sur les différentes composantes de ce mécanisme, nous pouvons nous assurer que notre modèle reflète le mécanisme réel et n'est donc pas un simple modèle explicatif possible.

Ceci complète la présentation des théories l'explication manipulationniste de Woodward et mécaniste de MDC. Dans la section suivante, je présente une série d'études écologiques effectuées par Tilman tentant d'identifier les facteurs causaux expliquant le fonctionnement de certains processus des écosystèmes ainsi que les mécanismes sous-tendant

ces relations. J'argumente que ces études illustrent bien le besoin d'avoir une approche à la fois manipulationniste et mécaniste en écologie.

3.5 Explications en écologie

Dans cette section, je présente les travaux de Tilman portant sur le lien entre la diversité fonctionnelle et certains processus présents au niveau des écosystèmes. Dans la première sous-section, je débute par présenter une expérience réalisée par ce dernier afin d'identifier les facteurs causaux expliquant ces processus. Par la suite, je présente le mécanisme proposé par Tilman afin d'expliquer cette relation. Dans la seconde sous-section, j'argumente que la relation causale identifiée par Tilman est une généralisation invariante satisfaisant les critères explicatifs de Woodward. Finalement, dans la dernière sous-section, j'analyse le mécanisme proposé par Tilman à l'aide de la théorie de MDC. Je conclus qu'en combinant ces deux théories explicatives, il est possible de rendre compte de la pratique explicative en écologie.

3.5.1 Explication du fonctionnement des écosystèmes

Au courant des années 1990, un grand nombre de chercheurs (ex : Grime 1997; Hector 1999; Huston 1997) étudièrent le fonctionnement de différents processus écosystémiques (ex : production de biomasse, fixation d'azote, pénétration lumineuse, etc.). L'objectif de ces recherches était d'identifier les principaux facteurs causaux expliquant ces phénomènes. C'est dans ce vaste projet de recherche que Tilman et ses collègues publièrent une série d'études tentant d'isoler différentes variables causales ainsi qu'expliquer le lien entre ces dernières (Tilman 1997a; 1997b; 1997c; Loreau et al. 2001).

Dans une étude publiée dans la revue *Science* en 1997, Tilman (Tilman 1997B p.1300) étudie trois facteurs causaux potentiels fréquemment proposés dans la littérature. Ces facteurs sont : la diversité des plantes, la diversité fonctionnelle des plantes et finalement la composition fonctionnelle des groupes de plantes. La diversité des plantes signifie le nombre d'espèces de plante présent dans une zone. Un trait fonctionnel est une caractéristique possédée par une espèce qui permet à ce dernier de répondre aux pressions de sélections (ex : grosseur, rapidité, tolérance à la lumière). Plusieurs espèces différentes peuvent avoir le même type de traits fonctionnels. Un groupe d'espèces partageant certains traits fonctionnels forme un groupe fonctionnel. La diversité fonctionnelle représente le nombre de différents groupes fonctionnels

présent dans une zone. Finalement, la composition fonctionnelle des groupes de plantes représente le type de groupe fonctionnel de plantes présent dans une zone.

Afin de tester l'impact causal de chacun de ces facteurs, Tilman et collègues (Tilman et al. 1997B p.1300) utilisèrent 289 parcelles de terre identiques mesurant chacune 169 mètres². Ces parcelles de terre furent cultivées avec 0, 1, 2, 4, 8, 16 ou encore 32 espèces d'herbes différentes. Ces 32 espèces d'herbes représentent 5 groupes fonctionnels distincts. Ces groupes sont identifiables selon la physiologie et la morphologie des espèces, ce qui influence les besoins en ressource, la croissance ainsi que l'histoire de vie de chacune de ces espèces. Après avoir laissé ces espèces croître sur ces différentes parcelles de terre, la biomasse, la pénétration lumineuse ainsi que le taux d'azote présent dans les plantes furent mesurés. À l'aide d'analyse statistique multivariée, Tilman et coll. fut en mesure d'identifier quels facteurs étaient les plus influents sur ces différents phénomènes¹⁸.

Les résultats de cette étude sont que la combinaison de l'effet de la diversité fonctionnelle et de la composition fonctionnelle explique 37% de la variance en réponse aux manipulations alors que celle de la diversité des plantes et la diversité fonctionnelle n'explique que 8% de cette dernière. Tilman interprète ces résultats de la manière suivante :

«Our results show that composition and diversity are significant determinants of ecosystem processes in our grasslands. Given our classification of species into functional groups, functional diversity had greater impact on ecosystem processes than did species diversity». (Tilman et al 1997 p.1301)

Autrement dit, la diversité des espèces de plantes est un facteur négligeable afin d'expliquer le fonctionnement des écosystèmes. Si nous voulons rendre compte de ces phénomènes, il est nécessaire de faire intervenir les notions de diversité fonctionnelle ainsi que de composition fonctionnelle. Ces résultats sont maintenant peu contestés et représentent la position consensuelle en écologie (Diaz 2003; Diaz et Cabido 2001; Hooper et al 2005). Comme le démontrent ces études, il est donc possible d'expliquer le fonctionnement de plusieurs

¹⁸ Il est intéressant de noter que chaque parcelle de terre est ici considérée comme un écosystème distinct. La raison de ceci est que chaque parcelle de terre est géographiquement isolée des autres. Cet isolement est cependant caractérisé de manière topographique et non pas causale. Tilman et collègues semblent donc favoriser une interprétation pragmatique des unités écologiques.

processus présents au niveau des écosystèmes à l'aide de la diversité fonctionnelle présente dans ces derniers ainsi que la composition fonctionnelle des groupes présents.

Malgré le fait que ces résultats sont très intéressants, Tilman désire aller plus loin. Il souhaite découvrir le mécanisme sous-jacent à cette relation causale. Dans un autre article publié la même année (Tilman 1997c), Tilman propose d'expliquer l'origine de cette relation causale à l'aide du mécanisme de complémentarité de niche écologie (CNE à l'avenir). Avant d'illustrer le fonctionnement de ce mécanisme, il est cependant nécessaire de définir ce qu'est une niche écologique.

Le concept de niche écologique peut être interprété notamment de deux différentes manières. Originellement, ce concept fut développé par Elton (1927). Selon ce dernier, une niche écologique représente le rôle fonctionnel d'une espèce dans un écosystème. Ces rôles existent indépendamment des espèces les occupant. Par exemple, dans plusieurs écosystèmes la niche écologique de décomposeur est présente et cette dernière peut être occupée par des espèces différentes dans différents écosystèmes. Cette position fut cependant sévèrement critiquée notamment par le généticien des populations Richard Lewontin (1982). Selon ce dernier, une théorie purement fonctionnaliste ne permet pas de rendre compte du fait que les espèces créent leurs environnements. Dans cette optique, il n'existe pas de niche écologique indépendante des espèces les occupants (Odling-Smee, Laland et Feldman 2003). Cette approche accorde, avec raison, beaucoup d'importance au fait qu'il n'existe pas d'environnement écologique indépendant des espèces le composant. Ce débat est intéressant et plusieurs pistes de solution tentent d'unifier ces deux approches (Sterelny et Griffiths 1999), mais y porter plus d'attention nous éloignerait trop de notre propos. Dans le cadre de ce mémoire, il est suffisant de conceptualiser une niche écologique comme représentant le rôle d'une espèce dans un écosystème selon les ressources qu'elle consomme et l'habitat qu'elle occupe (Ridley 2004, p.686; Odum et Barrette 1971 p.311-313).

La complémentarité de niche écologique réfère au fait qu'il est possible pour plusieurs espèces occupant des niches écologiques différentes de cohabiter sur une même zone sans être en compétition entre elles. Lorsque plusieurs espèces occupant des niches écologiques différentes cohabitent, une plus grande partie des ressources disponibles dans un écosystème seront utilisées.

Suivant l'exemple de Pâslaru (2009 p.826), il est possible d'illustrer le mécanisme de complémentarité de niche écologique de la manière suivante. Imaginons 2 groupes fonctionnels différents. Le groupe (A) est un groupe végétal tolérant à la lumière. Le groupe (B) est quant à lui un groupe végétal préférant l'ombre. Dans le cas présent, le mécanisme de CNE prédit que si ces deux groupes sont présents dans un même écosystème, alors la production de biomasse¹⁹ du groupe B augmentera. Pourquoi? Prenons un écosystème ensoleillé dans lequel le facteur limitant est la lumière. Dans cet écosystème, si seul le groupe (A) est présent, ce groupe sera productif et perdurera puisqu'il dispose de beaucoup de lumière. Cependant, si seul le groupe (B) est présent, ce dernier aura beaucoup de difficulté à survivre puisqu'il ne sera pas à l'ombre. Dans ces deux exemples, la meilleure situation pour la production de biomasse dans l'écosystème est d'avoir seulement le groupe (A). Cette situation est cependant sous-optimale. Prenons le même écosystème ensoleillé, mais cette fois avec la présence des groupes (A) et (B). Dans ce cas, le groupe (A) sera bien adapté, car il sera au soleil, mais il ne sera pas seul. En effet, le groupe (B) sera lui aussi bien adapté, car il pourra vivre à l'ombre grâce à la protection du soleil offerte par le groupe (A). Il est important de comprendre que les groupes (A) et (B) ne se nuisent pas mutuellement. Puisqu'ils sont des groupes fonctionnels différents, ils ne sont pas en compétition pour les mêmes ressources (lumière et ombre dans le cas présent). Cette situation sera supérieure aux deux premières, car aussi bien le groupe (A) que (B) vont perdurer dans cet écosystème. Puisque (A) et (B) seront bien adaptés à cet environnement, ils seront en mesure de se reproduire et donc d'être présent en grand nombre dans cet écosystème. La biomasse de ce dernier augmentera donc. Ceci signifie que la fonctionnalité de l'écosystème (calculé en biomasse) augmente grâce au mécanisme de CNE.

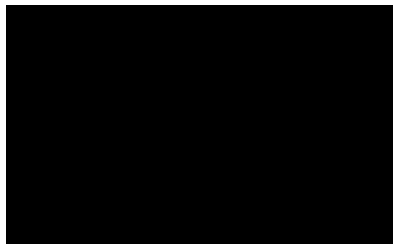
À l'aide de ce mécanisme, Tilman est en mesure d'expliquer pourquoi une augmentation de la diversité et de la composition fonctionnelle d'un écosystème a un effet important sur certains phénomènes. Voyons maintenant comment les théories de Woodward et de MDC sont en mesure de rendre compte de ces explications.

¹⁹ Il est seulement question de la biomasse dans l'exemple présent. Cependant, il est facile de construire d'autres exemples afin de rendre compte d'autres phénomènes écologiques tels la pénétration lumineuse ou encore le taux d'azote.

3.5.2 Manipulation et explication écologique

Comme nous pouvons maintenant le constater, les recherches de Tilman mènent à deux types d'explication : (1) des généralisations causales liant certaines variables à des phénomènes précis et (2) des mécanismes expliquant l'origine de ces généralisations causales. Dans cette sous-section, j'arguente que la théorie de Woodward est en mesure de rendre compte de (1).

Plusieurs auteurs dans la littérature s'accordent pour dire que la théorie de Woodward est adéquate en biologie (Cooper 2003; Reisman et Forber 2006; Woodward 2001; 2010) et en écologie (Pâslaru 2007; 2009; Raerinne 2010; 2011) afin d'expliquer les généralisations invariantes. Afin d'expliquer comment la théorie de Woodward peut rendre compte de ce type d'explication en écologie, suivons la suggestion de Pâslaru (2009 p.824) et reformulons les conclusions de Tilman sous la forme d'une généralisation invariante. De cette manière, nous obtenons : «Une augmentation de la diversité fonctionnelle et de la composition fonctionnelle augmente la productivité des écosystèmes». Cette relation causale est représentée dans la figure 3.6. Dans cette figure, C représente la composition fonctionnelle, D représente la diversité fonctionnelle et F le fonctionnement de l'écosystème.



Suivant la théorie de Woodward, afin que cette généralisation soit explicative, il est nécessaire de pouvoir intervenir (théoriquement) sur la valeur de C et D de sorte que ce changement modifie la valeur de F. Or, comme nous l'avons vu dans la sous-section précédente, c'est exactement ce que Tilman effectua comme expérience. En travaillant sur un grand ensemble de parcelle de terre identique se retrouvant dans les mêmes conditions et en intervenant sur une seule variable à la fois, Tilman a réussi à découvrir que C et D étaient réellement causalement impliqués dans F. Cette expérience satisfait donc les critères de ce qu'est une intervention dans la théorie de Woodward. De plus, puisque cette généralisation représente le résultat d'une série d'intervention, nous pouvons affirmer que cette relation est invariante et non pas simplement un accident de parcours ou encore un artefact provenant

d'une manipulation mal effectuée. Si les conditions d'arrière-plan sont stables, cette généralisation nous offre donc de l'information permettant de manipuler la valeur de F.

Il est intéressant de noter que bien que cette généralisation ne soit pas universelle²⁰, elle est tout de même explicative. En expliquant comment des généralisations contingentes peuvent être explicatives ainsi qu'en permettant de décrire les relations causales, la théorie de Woodward permet de rendre compte du premier aspect de la pratique explicative en écologie. Afin de rendre compte de l'ensemble de la pratique de cette discipline, il est cependant aussi nécessaire de rendre compte du versant mécaniste de cette dernière. C'est à ce point que nous tournons maintenant notre attention.

3.5.3 Mécanisme et explication écologique

Comme nous venons de le voir, la théorie de Woodward permet de rendre compte de la valeur explicative de la généralisation invariante «Une augmentation de la diversité fonctionnelle et de la composition fonctionnelle augmente la productivité des écosystèmes». Ce cadre d'analyse n'est cependant pas propice afin d'expliquer les travaux de Tilman portant sur les mécanismes. Pour se faire, il faut se tourner vers l'approche de MDC.

Voyons voir maintenant comment l'approche mécaniste de MDC peut expliquer le mécanisme de CNE. Commençons par identifier les entités et les activités composant ce mécanisme. Dans cet exemple, les entités sont les organismes qui composent les groupes fonctionnels ainsi que la lumière du soleil. Les activités sont quant à elle la photosynthèse ainsi que la respiration de ces organismes (Pâslaru 2009, p.832-33). Ce mécanisme possède une organisation précise. Spatialement, il est nécessaire que les groupes (A) et (B) soient relativement proches, sinon le groupe (B) n'obtient pas la protection du soleil offerte par le groupe (A). Temporellement, la durée et la fréquence de la lumière sont nécessaires au bon fonctionnement du mécanisme. De plus, si tous ces éléments sont réunis, le fonctionnement du mécanisme sera régulier.

Tous les éléments nécessaires afin d'avoir un mécanisme sont donc présents. Afin d'avoir une explication satisfaisante, il faut cependant aussi remplir deux autres critères normatifs. Premièrement, cette explication représente-t-elle une simple esquisse ou bien un

²⁰ Par exemple, dans le cas précédent, si le soleil augmente en intensité, aucune des deux espèces ne pourra survivre et la relation tombera donc à l'eau.

modèle explicatif complet? Cette explication semble bel et bien complète, car aucun élément du mécanisme n'est une boîte noire. En effet, aussi bien les entités que les activités sont bien connues. Il n'y a donc pas d'élément incertain ou encore à ajouter à cette explication afin de la rendre complète. Deuxièmement, il faut se questionner à savoir si cette explication est une simple possibilité parmi d'autres ou bien si elle représente réellement comment le monde écologique fonctionne. Cette explication semble réellement représenter comment le monde fonctionne, car Tilman a été en mesure d'intervenir directement sur les composantes de ce mécanisme. Si le monde ne correspondait pas à ce mécanisme, il aurait été impossible d'intervenir de la sorte. Nous avons donc une explication mécaniste complète permettant de rendre compte du mécanisme de CNE.

Comme le démontrent les travaux de Tilman, l'écologie recherche à la fois des généralisations invariantes et des mécanismes. En combinant les théories de Woodward et de MDC il est possible de rendre compte de ces deux aspects de ces explications. Nous disposons donc d'une base épistémique solide en écologie.

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai démontré comment faire intervenir la notion de causalité permet de corriger plusieurs défauts du modèle D-N (distinction loi et généralisation accidentelle, pertinence explicative, asymétrie). Par la suite, j'ai argumenté que la théorie manipulationniste de Woodward (2003) et la théorie mécaniste de Marchamer, Darden et Craver (2000) sont complémentaires et permettent de rendre compte de différents aspects des explications en écologie. En limitant la portée des généralisations explicatives et en portant attention au rôle de la causalité dans les explications scientifiques, ces deux modèles permettent d'éviter plusieurs problèmes présents dans l'approche déductivo-nomologique de Hempel. À l'aide des travaux de Tilman, j'ai par la suite démontré que ces deux approches permettent de rendre compte de l'ensemble de la pratique explicative en écologie.

En combinant les théories de Woodward et de MDC, nous disposons d'une base épistémique solide permettant de rendre compte des explications en écologie. Dans le chapitre suivant, j'utilise les outils développés dans ce chapitre afin d'offrir un argument en défendant la conception ontologique des communautés et des écosystèmes.

Chapitre 4 : L'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes

Résumé : Suivant Wimsatt (2007), j'argumente que le concept de robustesse est un critère adéquat afin de juger de l'existence ontologique d'un objet. Par la suite, j'utilise les conclusions du dernier chapitre afin d'argumenter en faveur d'une nouvelle conception des communautés et des écosystèmes. Selon cette définition, ces unités écologiques sont des mécanismes composés d'entités et d'activité produisant des phénomènes émergents précis de manière régulière. J'argumente que puisqu'il est possible de manipuler empiriquement et de manière contrefactuelle de différentes manières ces mécanismes, nous pouvons affirmer de manière robuste que ces entités existent réellement. Par la suite, afin de démontrer l'applicabilité de mon approche, je présente deux candidats potentiels au titre d'unité écologique existant réellement. Je conclus en répondant à l'argument des frontières présenté au chapitre 1.

4.1 Introduction

Dans le chapitre 3, j'ai conclu qu'en combinant la théorie manipulationniste de Woodward (2003) avec l'approche mécaniste de Machamer, Darden et Craver (2000) il était possible de rendre compte de la pratique explicative en écologie (descriptivement et normativement). Dans le chapitre présent, j'utilise ces deux théories afin d'offrir un argument en faveur de la conception ontologique des communautés et des écosystèmes.

Suivant les travaux récents portant sur le concept de robustesse (Calcott 2010; Craver 2007; Weisberg 2006; Wimsatt 2007), j'argumente que ce concept est un critère adéquat afin de juger de l'existence ontologique d'une entité. Par la suite, en combinant les conclusions du dernier chapitre avec le concept de robustesse, je présente un argument en faveur de la conception ontologique des communautés et des écosystèmes. Brièvement, j'argumente qu'il existe des propriétés émergentes à ces niveaux d'organisation explicables par des mécanismes. Or, puisque nous pouvons intervenir de plusieurs manières indépendantes sur ces mécanismes, nous sommes justifiés de conclure qu'ils sont robustes et donc qu'ils existent réellement. Suivant cet argument, je propose une nouvelle définition des communautés et des écosystèmes en termes de mécanismes. J'argumente que cette définition possède plusieurs avantages et permet de préciser les critères d'identification et de délimitation causaux rencontrés au chapitre 1. Je conclus en répondant à l'argument des frontières présenté au chapitre 1.

4.2 Robustesse et Ontologie

Dans les deux derniers chapitres, il a été question d'épistémologie. La question centrale de ce mémoire est cependant ontologique. Il est donc nécessaire de disposer d'un outil permettant de passer des théories de l'explication présentées précédemment à l'ontologie. Dans cette section, j'argumente que le concept de robustesse tel que développé notamment par Levins (1966) et Wimsatt (2007) permet de faire ce pont. Je débute par présenter ce qu'est la robustesse avant d'en identifier trois interprétations possibles (Calcott 2010). Par la suite, j'argumente que la robustesse phénoménale est un critère adéquat afin d'évaluer si une entité est réelle ou non (Wimsatt 2007).

4.2.1 Qu'est-ce que la robustesse?

Le concept de robustesse fut introduit par le biologiste Richard Levins dans son article très influent *The strategy of model building in population biology* (1966). Dans cet article, Levins argumente que nos modèles biologiques²¹ pris indépendamment ne reflètent pas la réalité, car ils effectuent tous certaines idéalizations. Cependant, en utilisant une multitude de modèles chacun faisant des idéalizations différentes afin d'expliquer un phénomène, il est possible d'avoir une connaissance du monde réel. C'est dans ce contexte que Levins affirme : «Our truth is the intersection of independent lies.» (Levins 1966 p.423). La robustesse est le fait d'utiliser différents modèles ou encore différentes manipulations afin de découvrir des phénomènes ou encore des explications réelles.

Plusieurs philosophes, influencés par les travaux de Levins, développèrent d'une manière plus philosophiquement rigoureuse le concept de robustesse (voir notamment : Cambell 1998, Weisberg 2006, Wimsatt 2007). Le philosophe ayant le plus développé ce concept est sans doute le philosophe de la biologie William Wimsatt. Une des préoccupations centrales dans les travaux de ce dernier est d'offrir des outils permettant à des êtres dotés de capacités limitées de minimiser leur risque d'erreur²². Selon lui, la robustesse permet d'atteindre cet objectif. Wimsatt propose la définition suivante de la robustesse :

²¹ Bien que le propos de Levins porte uniquement sur la biologie, son analyse est valable pour tout domaine scientifique utilisant des modèles.

²² D'où le titre de son livre de 2007 : *Re-engineering philosophy for limited being*.

«Robustness is the existence of multiple means of determination or access to an entity, property, process, result, or theorem that are at least partially independent. This allows even less reliable individual components to generate higher reliability and adaptability overall structure. It also characterizes the appropriate kind of stability for ecosystems » (Wimsatt 2007 p.360)

L'idée centrale de la robustesse en qu'en augmentant le nombre de déterminants (modèles, expériences, dérivation, etc.) portant sur un élément X, nous augmentons la certitude de notre connaissance de X. Autrement dit, plus nous avons de moyens différents de tester X, plus la probabilité de se tromper sur X diminue. Tester est ici utilisé de manière assez générale afin d'inclure à la fois les expérimentations empiriques, les modèles mathématiques ainsi que les simulations informatiques (Wimsatt 2007 p.196). Pour utiliser un vocabulaire à la Woodward, tester fait référence aussi bien aux interventions réalisées qu'à celles basées sur des contrefactuels. Il est important de noter que bien que la probabilité d'erreur diminue beaucoup en utilisant la robustesse, cette probabilité n'atteint jamais 0. La robustesse n'est pas un outil magique permettant d'éviter toutes les erreurs. Aucun outil ne permet ceci. La robustesse est cependant très utile afin de minimiser notre risque d'erreur (Wimsatt 2007 p.196-197).

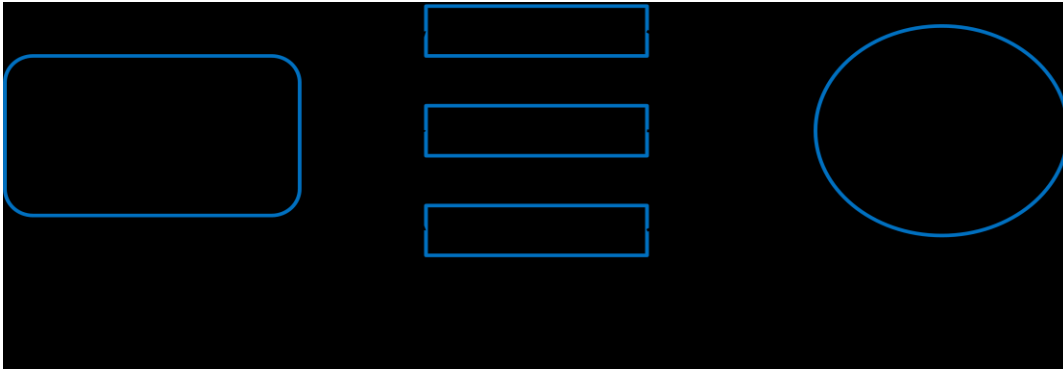
Le concept de robustesse tel que présenté par Wimsatt fait référence à un ensemble de pratiques scientifique et non pas à un seul élément particulier (Wimsatt 2007 p.44-46). Dans la sous-section suivante, je présente trois aspects différents de la robustesse. Par la suite, je précise lequel de ces aspects est le plus pertinent afin de résoudre la controverse portant sur le statut ontologique des communautés et des écosystèmes.

4.2.2 Trois types de robustesses

Calcott (2010), dans une critique du livre de Wimsatt (2007), identifie trois usages différents du concept de robustesse. Selon lui, la robustesse peut soit porter sur : (1) un théorème (2) un phénomène ou encore (3) la détection d'un élément particulier. Voici ce que ces trois usages signifient.

(1) Un théorème ou un modèle est dit robuste lorsque la conclusion de ce dernier est atteignable de plusieurs manières indépendantes. Dire qu'un théorème est robuste signifie que la conclusion de ce dernier n'est pas un artéfact de la méthodologie utilisée ou encore des idéalizations de notre modèle. De manière générale, cet aspect de la robustesse est très proche

de ce que Levins proposait en 1966. Plus un théorème est robuste, plus nous pouvons être certains que ce dernier décrit une partie du monde réel. La figure 4.1 représente la structure de la robustesse d'un théorème.



Dans la figure 4.1, les traits pointillés possédant deux flèches liant la structure causale du monde aux différents modèles représentent une relation de ressemblance entre le monde et nos théories. Les flèches pleines avec une seule tête représentent quant à elle le lien inférentiel liant nos modèles à notre théorème robuste. Ceci illustre que nos différents modèles en faisant différentes idéalizations représentent chacun à leur manière une partie de la structure causale du monde. Si malgré ces idéalizations différentes les conclusions sont invariantes, nous sommes justifiés d'inférer que notre théorème est robuste et donc qu'il porte sur le monde réel.

(2) Un phénomène est robuste lorsqu'il est présent dans plusieurs contextes différents (Calcott 2010 p.X). Comme le soutient Calcott (et Wimsatt) : « Often, but not always, the phenomena in question can be thought of as some kind of mechanism, either designed or evolved. In this case, the mechanism continues to function reliably, despite perturbation or interventions. » (Calcott 2010 p.X). Formulé autrement : s'il est possible d'intervenir de multiples manières indépendantes sur un phénomène (ou encore un mécanisme) et que ce phénomène demeure invariant, alors ce phénomène est robuste et existe donc réellement. La robustesse sert ici de critère ontologique et permet d'identifier les objets et les phénomènes de la structure causale du monde. Cet aspect de la robustesse est central à mon propos et je le développe plus en profondeur dans la sous-section suivante.

(3) Une affirmation portant sur le monde empirique est robuste s'il est possible de la détecter ou encore de la vérifier de multiples manières indépendantes. Cet usage de la robustesse est épistémique et sert notamment de justification à nos explications. S'il est

possible d'utiliser différentes méthodes ou encore différentes interventions afin de confirmer une proposition sur le monde, alors cette dernière est robuste. La figure 4.2 représente cette relation de robustesse.



La figure 4.2 débute avec une proposition portant sur le monde. Cette proposition est par la suite vérifiée à l'aide de plusieurs méthodes indépendantes. Ces dernières étant en accord avec la proposition initiale, nous pouvons affirmer que cette proposition est robuste. Illustrons ceci avec un exemple. Considérons la proposition suivante : le pH de cet étang est de 8. Afin de savoir si cette proposition est robuste, il est nécessaire de la tester à l'aide de différentes méthodes. Ici, nous pouvons utiliser une mesure électrochimique (pH mètre), un indicateur de pH ou encore un indicateur universel. Si ces trois méthodes de vérifications atteignent le même résultat, nous pouvons affirmer de manière robuste que le pH de cet étang est réellement de 8.

Bien que ces trois usages du concept de robustesse soient différents, ils partagent tous deux éléments essentiels. Premièrement, tous ces usages visent à identifier le réel. Comme l'affirme Wimsatt (2007 p.46):

« [...] all the variants and uses of robustness have a common theme in the distinguishing of the real from the illusory; the reliable from the unreliable; the objective from the subjective; the object of focus from artifacts of perspective; and, in general, that which is regarded as ontologically and epistemologically trustworthy and valuable from that which is unreliable, ungeneralizable, worthless and fleeting ».

L'objectif de la robustesse dans tous ces cas est toujours de tenter de limiter le risque d'erreur et de nous permettre d'identifier quels éléments ontologiques et épistémiques sont fiables.

Le deuxième élément que tous les usages de la robustesse partagent est la nécessité d'utiliser des moyens de justification partiellement indépendants (aussi bien au niveau des modèles que de nos interventions) (Wimsatt 2007 p.46). Si nos méthodes de justification ne sont pas indépendantes, elles courent le risque d'être toute susceptible aux mêmes erreurs. Si ceci se produit, nous serons aux prises avec une robustesse illusoire, car l'inférence liant nos modèles au monde réel sera fallacieuse.

Un exemple est ici pertinent afin d'illustrer ce type d'erreur. À la suite de la parution de *Adaptation and natural selection* par Williams en 1966, les théories de sélection de groupe furent très fortement critiquées. Plusieurs biologistes très influents, suivant les travaux de Williams, argumentèrent à l'aide de différents modèles mathématiques que la sélection de groupe, bien que possible, était tout au plus une force marginale (voir notamment : Hamilton (1971); Maynard-Smith (1976) ainsi que E.O Wilson(1973)). Cette conclusion étant supportée par une douzaine de modèles différents, son adoption fut assez rapide dans le cercle des biologistes favorisant une approche mathématique («modeler»).

Bien que mathématiquement rigoureuse, cette conclusion est cependant problématique empiriquement. Plusieurs biologistes expérimentaux, curieux de tester la conclusion de ces modèles, conduisirent des expériences visant à tester l'efficacité relative de la sélection individuelle et de groupe (ex : Craig 1982; Goodnight 1997; Wade 1978). La conclusion de ces expériences est que la sélection de groupe peut non seulement être une force considérable, mais en plus elle peut dans certains cas surpasser la force de la sélection individuelle.

Suite à ce constat, Wade (1978) se questionna sur les raisons expliquant que bien que nos résultats mathématiques semblèrent robustes, ces derniers ne représentaient pas le fonctionnement du monde réel. Suite à une étude des douze modèles mathématiques utilisés afin de justifier la conclusion que la sélection de groupe était peu efficace, Wade découvrit que 5 hypothèses étaient partagées par plusieurs de ces modèles. Chacun de ces douze modèles partage au minimum 3 de ces 5 hypothèses et 5 modèles utilisent ces 5 hypothèses. Ceci est problématique, car ces assomptions sont non seulement fausses et irréalistes, mais en plus ont chacune une tendance à limiter la possibilité de l'efficacité de la sélection de groupe (Wimsatt 2007 p.72).

L'effet net de l'usage partagé par plusieurs modèles de ces différentes hypothèses fut de conduire plusieurs biologistes à considérer la sélection de groupe comme une force négligeable. Bien que cette conclusion semble robuste, ceci n'est qu'illusoire, car les hypothèses de ces différents modèles ne sont pas réellement indépendantes. La leçon à tirer de cet exemple est qu'afin d'augmenter notre confiance envers un certain résultat, nos méthodes de justification se doivent d'être partiellement indépendantes. De cette manière, le risque que toutes ces justifications produisent la même erreur diminue (bien que cette probabilité ne soit jamais de 0).

Bien que les aspects (1) et (3) de la robustesse soient très intéressants et ont un rôle central en écologie, je n'ai pas ici l'espace pour argumenter ceci. Afin de répondre à la question du statut ontologique des communautés et des écosystèmes, seule la robustesse phénoménale est ici nécessaire. Ce concept est défini plus en détail dans la sous-section suivante.

4.2.3 Robustesse phénoménale

La robustesse phénoménale est un critère permettant de juger si une entité ou encore une propriété est réelle. L'intuition ici est simplement que plus il est possible d'intervenir sur un objet, plus nous pouvons être certains d'affirmer que ce dernier existe réellement (Wimsatt 2007 p.60). Ce type de robustesse est représenté dans la figure 4.3.



La figure 4.3 illustre comment il est possible en utilisant différentes interventions indépendantes, d'inférer qu'un phénomène ou encore une entité observée sont réels. Il est important ici de souligner une distinction entre la robustesse phénoménale et les théorèmes robustes ainsi que les détections robustes. Alors que ces deux derniers types de robustesse nous

permettent d'apprendre quelque chose sur le monde, la robustesse phénoménale fait partie intégrante du monde (Calcott p. 288). La robustesse est donc ici un critère d'existence et non pas simplement un critère épistémique.

Illustrons le fonctionnement de la robustesse phénoménale à l'aide d'un exemple. Imaginons que je désire savoir si la table sur laquelle j'écris en ce moment existe. Je dispose de plusieurs interventions possibles afin d'identifier cette entité ainsi que ses frontières. Par exemple, je peux toucher la table, regarder la table, peser la table, déposer un autre objet sur la table afin de voir si ces derniers interagissent, etc. En agissant de la sorte, il m'est possible d'identifier la table ainsi que ses frontières. La table est une entité robuste et existe donc réellement. Cette démarche souligne le fait que lorsque nous sommes confrontés à des entités réelles le nombre d'interventions possibles permettant de découvrir ces entités est très vaste (Cambell 1958 p.23-24).

Comme l'exemple de la table le démontre, identifier des phénomènes robustes ayant des dimensions similaires aux nôtres est relativement simple. La raison de ceci est que les interventions potentielles sur ces phénomènes nous sont plus naturelles (ex : observer une table est plus simple de notre point de vue qu'observer un microorganisme). Identifier des phénomènes localisés à des niveaux d'organisation inférieurs au nôtre, bien que plus difficiles, est tout de même relativement facile à réaliser. Ceci s'explique par le fait qu'en partant d'un point de vue plus macroscopique nous percevons facilement les tous occupant les niveaux inférieurs. Il devient possible par la suite de décomposer ces tous en partie. Il est évidemment possible aussi de découvrir des phénomènes robustes à des niveaux d'organisations plus élevés que le nôtre. Cette démarche est cependant plus difficile, car nous ne connaissons que les parties de ces tous. La difficulté est donc d'identifier quelles parties sont causalement liées et forme les tous. En identifiant des phénomènes robustes et en intervenant sur ces derniers, il est cependant possible de découvrir ces entités. Ce qu'il est important de réaliser est que notre point de vue anthropocentrique n'est pas le point de vue privilégié de la nature. Le fait que certaines entités sont difficiles à identifier de notre point de vue ne signifie pas qu'elles sont moins réelles que d'autres. Ceci signifie simplement que nos outils sont développés afin de travailler dans un cadre précis et que la nature ne rentre pas nécessairement facilement dans ce cadre.

Précédemment, j'ai mentionné que la robustesse phénoménale n'était pas seulement épistémique, mais bien ontologique. Il est important de noter que ceci ne signifie cependant pas que la robustesse phénoménale n'a pas de liens avec l'épistémologie. En effet, il est nécessaire de disposer d'une certaine connaissance du phénomène étudié afin d'intervenir. Sans cette connaissance, il est impossible de savoir si nos interventions sont réellement indépendantes et donc si le phénomène étudié est robuste. L'affirmation ontologique de la robustesse phénoménale provient donc d'une inférence à partir de nos connaissances épistémiques. Le rôle de la robustesse pour mon propos se précise donc. Il est possible à l'aide des théories explicatives manipulationnistes et mécanistes d'expliquer les phénomènes écologiques. À l'aide de cette information, il est possible d'intervenir sur ces phénomènes. Et donc, en utilisant la robustesse, il est possible de partir de cette connaissance épistémique et de découvrir des entités ontologiques en écologie. Dans la section suivante, je précise cette piste de réflexion et je présente un argument formel en faveur de la conception ontologique des communautés et des écosystèmes.

4.3 Argument en faveur de la conception ontologique des communautés et des écosystèmes

Dans cette section, j'utilise les différents outils présentés au fil de ce mémoire afin de construire un argument afin de soutenir la conception ontologique des communautés et des écosystèmes. Je débute par présenter mon argument. Par la suite, je défends chacune des prémisses ainsi que ma conclusion. Je termine la section en proposant deux candidats au titre d'unité écologique.

4.3.1 L'argument

Mon argument en faveur de la conception ontologique des communautés et des écosystèmes va comme suit :

- i- Il existe des phénomènes émergents propres au niveau des communautés et des écosystèmes.
 - ii- Ces phénomènes sont explicables par des mécanismes.
 - iii- Ces mécanismes sont identifiables par manipulation.
 - iv- Puisqu'il est possible d'intervenir de différentes manières indépendantes sur ces mécanismes, ces derniers sont robustes.
-

Conclusion : En adoptant la robustesse comme critère d'existence, on peut affirmer que certaines communautés et les écosystèmes existent donc réellement.

Prémisse 1

La prémisse 1 affirme l'existence de propriétés émergentes au niveau des communautés et des écosystèmes. Avant d'offrir des exemples de ces propriétés, il est cependant important de débiter par préciser ce que j'entends ici par émergence.

Le concept de propriété émergente est ici caractérisé comme l'opposé de propriété agrégative (Wimsatt 2007 p.277). Une propriété est dite agrégative lorsqu'elle est invariante au réarrangement de ses parties. Les propriétés agrégatives d'un système ne sont « rien de plus » que l'addition des propriétés de chacune des parties composant ce dernier. De manière informelle (bien qu'un peu graphique), Wimsatt propose l'image suivante (Wimsatt 2007 p.175). Prenons une grenouille et déposons-la dans un mélangeur Waring²³ avant d'activer ce dernier. Les propriétés partagées par la grenouille avant et après la rencontre de cette dernière avec le mélangeur sont des propriétés agrégatives (ex : masse). Comme l'illustre l'exemple de la grenouille, les propriétés agrégatives ne sont pas affectées par l'organisation des parties (ex : une grenouille entière et cette même grenouille coupée en morceaux possèdent la même masse).

Les propriétés émergentes quant à elles sont le résultat de l'organisation précise d'un système. Un bon exemple de ceci est les mécanismes. Le résultat d'un mécanisme est un phénomène ne pouvant être obtenu simplement en additionnant les parties ou encore par les parties isolément. Dans ce sens faibles, les mécanismes sont émergents puisque leurs produits sont dépendants de leurs organisations (Craver 2007 p.216). Si nous reprenons l'exemple de la grenouille, la propriété qu'a cette dernière d'être en mesure de sauter une hauteur X dépend de l'organisation de ses parties. La grenouille postmélangeuse ne peut pas sauter.

Interprétée de cette manière, l'émergence n'est pas un concept mystérieux proposant l'apparition *ex nihilo* de nouvelles propriétés à certains niveaux d'organisation. Cette conception de l'émergence est courante en science et est compatible avec une attitude de recherche réductionniste modérée. C'est-à-dire une approche tentant d'expliquer un phénomène d'un

²³ Les mélangeurs Waring sont des mélangeurs haute puissance utilisés en laboratoire.

niveau d'organisation supérieur en vertu des mécanismes sous-jacent à ce niveau (voir notamment : Bechtel et Richardson 2010; Craver 2007; Kim 1989; Sarkar 1992; Wimsatt 2007). Ce type d'approche est réductionniste en raison de son désir d'expliquer certains niveaux d'organisation en vertu du fonctionnement des parties de ce dernier. Ce projet est cependant modéré, car contrairement au réductionnisme classique (Hempel, Nagel), il ne tente pas de réduire les explications des niveaux supérieurs à de simples dérivations provenant des théories plus « fondamentales ».

Cet usage du concept d'émergence est de plus courant en écologie. Odum et Barrett, dans leur manuel d'écologie très influent, entreprennent leur caractérisation de l'écologie en soulignant l'importance des propriétés émergentes dans les systèmes écologiques. Selon eux, chaque niveau d'organisation écologique possède des propriétés émergentes uniques. C'est dans ce sens qu'ils affirment :

«An important consequence of hierarchical organization is that as components, or subsets, are combined to produce larger functional wholes, new properties emerge that are not present at the level below» (Odum et Barrett 2005 p.7)

Cette caractérisation est très similaire à celle offerte précédemment par Craver (2007) et Wimsatt (2007). En effet, Odum et Barrett proposent explicitement que l'organisation des parties de manière précise soit responsable de nouvelles propriétés à différents niveaux d'organisation. De plus, ces derniers ne désirent pas prôner un holisme radical. C'est pourquoi ils affirment notamment : «Both holism and reductionism must be accorded equal value- and simultaneously, not alternatively» (Odum et Barrett 2005 p.9). Reconnaître l'importance l'existence de propriété émergente est nécessaire afin de saisir l'ensemble du réel. Ceci ne signifie cependant pas que la méthodologie réductionniste n'a rien à nous apporter. Chaque outil possède un contexte d'application propice et reconnaître les limites de ces outils ne peut que limiter nos risques d'erreurs.

Il est légitime de se demander pourquoi j'accorde autant d'importance aux propriétés émergentes. Deux raisons principales justifient ce choix. Premièrement, les propriétés émergentes sont des proxys très fiables afin d'identifier des niveaux ontologiques. En effet, puisque les différents niveaux ontologiques possèdent des phénomènes émergents particuliers, identifier ces phénomènes permet d'identifier ces niveaux (Voir notamment Humphreys 1997;

Silverstein et McGeever 1999). Deuxièmement, puisque les propriétés agrégatives sont invariantes à l'organisation ou encore aux liens entre les parties les composant, tout ensemble possède de telles propriétés. Par exemple : un ensemble composé de moi, mon chien et l'ananas sur le comptoir possède une masse précise. Cette propriété est l'agrégat des masses de chacun des trois éléments composant l'ensemble. Je ne souhaite cependant pas affirmer que puisque cet ensemble d'entités biologiques possède une propriété agrégative, il existe réellement. Si tel était le cas, tout regroupement arbitraire pourrait être une communauté ou encore un écosystème. Mon objectif est de découvrir des entités écologiques réelles et non pas de réifier différents ensembles arbitraires. La distinction entre propriété émergente et agrégative permet de distinguer entre les niveaux ontologiques réels et de simples regroupements arbitraires.

Maintenant que la première prémisse est défendue, voici une liste non exhaustive de propriétés émergentes proposées dans la littérature. Au niveau des écosystèmes nous retrouvons entre autres : le cycle des nutriments du sol (Matson 1997), le cycle de l'énergie (Odum 2005), le pH (Penn 2003; 2004; Swenson et Wilson 2000; Swenson et Arendt 2000), la biodégradation de certains composés chimiques (Penn 2003; 2004; Swenson et Wilson 2000; Swenson et Arendt 2000), la décomposition de composé organique (Cerniglia 1992) ainsi que la température du sol et de l'air (Wildung et al 1975). Au niveau des communautés, les propriétés suivantes sont proposées : la bioluminescence (Bouchard 2010), la structure trophique, la biodégradation de composés chimiques (Swenson et Wilson 2000) ainsi que la biodégradation de composé organique (Cerniglia 1992).

Prémisse 2-3

Passons maintenant aux prémisses 2 et 3. Ces dernières affirment que nous pouvons expliquer les phénomènes écologiques émergents défendus dans la première prémisse à l'aide de mécanismes et d'interventions. Ma défense de ces deux prémisses sera ici assez courte puisque le chapitre 3 est consacré en entier à la question des explications manipulationnistes et mécanistes en écologie. Je me contenterai ici de renvoyer le lecteur à ce chapitre.

Prémisse 4

La prémisse 4 fait quant à elle le pont entre les conclusions du chapitre 3 et le début du chapitre présent. Elle affirme qu'il est possible d'identifier des mécanismes robustes en

écologie. C'est-à-dire que nous pouvons intervenir de plusieurs manières partiellement indépendantes sur un mécanisme afin de tester sa robustesse.

Afin de découvrir des mécanismes robustes en écologie, il est nécessaire de posséder une multitude d'outils. Historiquement (Odum et Barrett 2005 p.9), la quantité d'outils disponible en écologie était malheureusement assez limitée. La complexité des systèmes étudiés dépassait les limites technologiques à la disposition des scientifiques. Comme l'affirment Odum et Barrett, le développement de nouveaux outils permettant d'analyser les systèmes écologiques fut cependant très fructueux dans les dernières années :

« Fortunately, in the past 10 years, technological advances have allowed humans to deal quantitatively with large, complex systems such as ecosystems and landscapes. Tracer methodology, mass chemistry (spectrometry, colorimetry, chromatography), remote sensing, automatic monitoring, mathematic modeling, geographic information systems (GIS), and computer technology are providing tools. » (Odum et Barrett 2005 p.9)

En plus de ces outils récents, il ne faut pas oublier les méthodes expérimentales plus traditionnelles telles les expériences à l'échelle des microcosmes (ex : Taub 1966), des mésocosmes²⁴ (ex : Tilman 1997) ainsi que des expériences à long terme et large échelle se produisant dans des environnements naturels (ex : Schindler 1998). Cette grande variété d'outils représente des moyens indépendants d'analyser les systèmes écologiques. Par exemple, l'intervention expérimentale, la construction de modèle mathématique et de simulation information ainsi que les analyses spectrométriques sont des outils ne reposant pas sur la même démarche explicative. Tous ces outils remplissent donc le critère d'indépendance partielle nécessaire afin de pouvoir obtenir des résultats robustes.

Il est important de noter que chacun de ces outils possède des limites. Par exemple, les résultats obtenus à la suite à des expériences à petites échelles sont souvent difficilement extrapolables à un système complet; les résultats des expériences à large échelle sont plus fiables, mais ils sont moins facilement répliquables; les résultats des modèles sont précis, mais

²⁴ Les microcosmes et les mésocosmes sont des dispositifs expérimentaux clos permettant aux chercheurs de manipuler différents paramètres. Alors que les microcosmes font référence à de petits dispositifs (habituellement quelques cm³, les mésocosmes sont quant à eux de taille moyenne (habituellement plusieurs m³ (Odum et Barrett 2005 p.60).

sont le résultat de certaines idéalizations, etc. Bien qu'aucun de ces outils pris isolément ne soit suffisant afin de découvrir des entités écologiques réelles, nous pouvons combiner nos résultats afin d'analyser si nous sommes confrontés à des mécanismes robustes. Si différents outils permettent d'atteindre la même conclusion, nous sommes justifiés d'inférer que le mécanisme observé est robuste et donc réel. La conclusion de mon argument découle donc logiquement des prémisses.

4.3.2 Deux exemples d'entités écologiques

Maintenant que mon argument formel en faveur de l'existence ontologique des communautés et des écosystèmes est explicité et défendu, je propose de présenter deux candidats au titre de communauté et d'écosystème réel afin d'illustrer le fonctionnement de mon approche.

4.3.2.1 Communauté

Débutons avec un candidat au titre de communauté déjà utilisé en philosophie de la biologie (ex : Bouchard 2010). Plusieurs espèces animales manifestent de la bioluminescence. C'est-à-dire qu'elles sont en mesure de produire naturellement de la lumière. Alors que plusieurs de ces espèces produisent de la lumière suite à des réactions chimiques internes (ex : lucioles), d'autres acquièrent cette propriété par une relation symbiotique. C'est le cas notamment du calmar hawaïen bobtail (*Euprymna scolopes*) (McFall-Ngai 1999; 2000; Montgomery et McFall-Ngai 1994). Ce dernier possède un organe lumineux (nommé photophore) qui est peuplé de bactérie *Vibrio fischeri* (environ 10^9 bactéries par calmar). Ces deux espèces vivent en symbiose : alors que les bactéries *V.fischeri* reçoivent des nutriments de la part des calmars, les calmars acquièrent la bioluminescence de la part des *V.fischeri*. Cette bioluminescence est favorable aux calmars, car les prédateurs de ces derniers chassent en identifiant les ombres de leurs proies. Or, en produisant de la lumière, les calmars ne produisent pas d'ombres. Ils deviennent donc invisibles à leurs prédateurs.

Il est important de souligner que lorsque les *V.fischeri* vivent hors des calmars bobtail, aucune bioluminescence n'est émise. La raison de ceci est qu'afin de produire de la bioluminescence, une certaine concentration de *V.fischeri* doit être atteinte (le quorum). Une fois le quorum atteint, une série de réactions chimiques est mise en marche ce qui produit de la bioluminescence. Or, la concentration nécessaire afin d'obtenir le quorum n'est pas

avantageuse aux bactéries *V.fischeri* hors des calmars. Bien que la bioluminescence soit possible théoriquement hors des calmars, le fait que cette propriété ne soit jamais réalisée semble indiquer qu'elle n'affecte pas la fitness des *V.fischeri* (Bouchard 2010 p.630).

De leurs côtés, les calmars bobtails sont en mesure de vivre sans la présence des *V.fischeri*. Dans ce cas, ils ne sont cependant pas bioluminescents (Wei et Young 1989). Leur fitness diminue donc puisque leurs prédateurs peuvent plus facilement les identifier. La bioluminescence n'étant produite que par l'association symbiotique des calmars bobtail et des bactéries *V.fischeri*, je suggère, suivant Bouchard (2010 p.631), que ce phénomène est une propriété émergente au niveau de la communauté bobtail-*V.fischeri*.

Voici maintenant pourquoi, si mon argument présenté précédemment est vrai, nous sommes justifiés de considérer les calmars bobtail ainsi que les bactéries *V.fischeri* en relation symbiotique comme des communautés ontologiques. Premièrement, la bioluminescence est une propriété émergente au niveau de la communauté symbiotique bobtail-*V.fischeri*. Comme je l'ai mentionné précédemment, ni les calmars bobtails ni les bactéries *V.fischeri* ne produisent de bioluminescence isolément. Nous sommes donc face à une propriété propre à la communauté. De plus, cette propriété est réelle, car en plus d'être mesurable à l'aide de plusieurs méthodes indépendantes (donc robuste), cette propriété affecte la fitness de la communauté (Bouchard 2010 p.630-632). La bioluminescence joue donc un rôle causal important dans la survie aussi bien des calmars bobtails que des *V.fischeri*.

Deuxièmement, les calmars bobtails ainsi que les bactéries *V.fischeri* interagissent de manière à former un mécanisme. Ce mécanisme est composé d'entités (ex : calmar bobtail, *V.fischeri*, photophore, nutriments) et d'activités (ex : colonisation de photophore par les *V.fischeri*, échange de nutriment, cascade chimique lorsque le quorum est atteint). Ces composantes sont organisées de manière précise. Par exemple : (1) si les bactéries n'occupent pas le photophore du calmar, la concentration nécessaire au quorum ne sera pas atteinte ou encore (2) si la distribution des nutriments par le calmar n'est pas adéquate, les *V.fischeri* ne seront pas en mesure de survivre et donc le quorum ne sera pas atteint. Si nous intervenons sur cette communauté en supprimant un des deux membres ou encore en changeant l'organisation de ces derniers, le mécanisme sera brisé et aucune bioluminescence ne sera produite. De plus, le mécanisme composé du calmar bobtail et des bactéries *V.fischeri* est très régulier. Aussi bien dans des conditions naturelles qu'en laboratoire, la symbiose de ces deux

espèces produit de la bioluminescence (Wei et Young 1989). Les relations causales liant ces deux espèces sont donc stables malgré plusieurs modifications environnementales. Lorsque toutes les entités et les activités sont organisées de la bonne manière, ce mécanisme produit de manière fiable de la bioluminescence.

Troisièmement, les composantes de ce mécanisme sont identifiables par intervention. Plusieurs études en laboratoires ont été menées afin d'identifier les différentes relations causales présentes dans ce mécanisme ainsi que les entités composant ce dernier (Arnold et al 1972; Hanlon et al 1997; Wei et Young 1989). Par exemple : Wei et Young (1989) ont élevé en laboratoire des calmars bobtail dans un environnement dépourvu de *V.fischeri*. En intervenant sur la présence de *V.fischeri* dans cette communauté, les chercheurs ont réussi à découvrir que le calmar bobtail seul n'est pas en mesure de produire de la bioluminescence. Suite à une série d'expériences, chacune intervenant sur des éléments particuliers de cette communauté, les chercheurs ont réussi à identifier les différentes composantes de ce mécanisme.

Finalement, les biologistes disposent d'une multitude d'outils indépendants permettant d'intervenir sur la communauté bobtail-*V.fischeri*. Par exemple, McFall-Ngai (1999) propose d'utiliser des approches moléculaires, génétiques ainsi que biochimiques afin d'expliquer le fonctionnement de ces communautés. D'autres chercheurs offrent quant à eux différents modèles reproduisant le fonctionnement de ces communautés (ex : Hooper et al. 1998; McFall-Ngai 1999). Puisqu'il est possible d'intervenir de différentes manières indépendantes sur les mécanismes composés du calmar bobtail ainsi que des bactéries *V.fischeri*, il est possible d'affirmer que ce mécanisme est robuste. Or, comme je l'ai argumenté précédemment, la robustesse est un critère adéquat afin de juger de l'existence ontologique d'une entité. En adoptant la robustesse comme critère ontologique, il est donc possible d'affirmer que les différentes communautés symbiotiques composées du calmar bobtail ainsi que des bactéries *V.fischeri* sont des entités écologiques existant réellement.

4.3.2.2 Écosystème

Récemment, la possibilité d'appliquer la sélection naturelle au niveau des écosystèmes a piqué l'intérêt de plusieurs biologistes (Goodnight 2000; Penn 2003; 2004; 2005; Swenson et Wilson 2000; Swenson et al 2000; Williams et Lenton 2007). Afin de tester expérimentalement cette possibilité, Swenson et Wilson (2000) ont conduit des expériences de sélection artificielle

au niveau des écosystèmes. Cette démarche est très intéressante dans notre contexte, car afin de sélectionner ces écosystèmes, Swenson et Wilson ont dû identifier des propriétés émergentes propres aux systèmes étudiés (le phénotype des écosystèmes)²⁵. Puisque ces propriétés sont le résultat de l'interaction des composantes des écosystèmes, nous avons ici une piste de recherche intéressante afin d'identifier des écosystèmes réels. Je débute cette section par présenter une étude menée par Swenson et Wilson (2000). Par la suite, j'argumente que les écosystèmes utilisés dans cette étude sont des candidats sérieux au titre d'entité ontologique.

Voici la démarche utilisée par Swenson et Wilson (2000) afin de tester la possibilité de la sélection naturelle au niveau des écosystèmes. 72 microcosmes aquatiques furent créés à l'aide chacun de 2ml de sédiment et de 28 ml d'eau provenant d'un étang situé sur le campus de l'université de Binghamton. Afin de sélectionner artificiellement certains écosystèmes, Swenson et Wilson durent identifier un phénotype à sélectionner. Dans le cas présent, ce choix fut le pH de l'écosystème. La raison de ceci est que le pH est le résultat de différents processus internes aux écosystèmes. Le pH peut donc être considéré comme une propriété émergente propre aux systèmes étudiés (Swenson et Wilson 2000 p.9111). Suivant une période d'incubation de 3.5 jours, le pH de chacun de ces microcosmes fut mesuré. Les six microcosmes ayant le plus haut pH et les six ayant le plus faible pH furent sélectionnés afin de servir de « parents » à la génération suivante. Chacun de ces écosystèmes « vainqueurs » servit de parent à 4 nouveaux écosystèmes. Cette nouvelle génération fut produite en jumelant 5ml provenant de l'écosystème «parent» avec 25ml d'eau provenant d'un autoclave et de sédiments provenant de l'étang où les échantillons originaux furent prélevés. Par la suite, la démarche fut répétée afin de produire 40 générations d'écosystèmes. En étudiant l'évolution de ces écosystèmes sur 40 générations, Swenson et Wilson ont constaté que le pH était « héréditaire » entre les générations. C'est-à-dire que les microcosmes sélectionnés en vertu de leur pH élevé ont en moyenne des descendants avec un pH élevé alors que ceux sélectionnés pour leur pH faible ont en moyenne des descendants avec un pH faible.

Ce que je suggère ici est que chacun de ces écosystèmes est un candidat sérieux au titre d'entité ontologique. Premièrement, le pH est une propriété émergente propre au niveau des écosystèmes. En effet, pris isolément, ni les bactéries ni les composantes abiotiques (c'est-à-dire non vivant (ex : eau, terre)) ne sont en mesure de produire ce pH. C'est pourquoi Swenson et

²⁵ Les implications de ces études pour le concept de fitness sont analysées par Bouchard (In Press).

Wilson (2000 p.9110) considèrent cette propriété comme propre aux systèmes étudiés. De plus, cette propriété émergente est robuste puisqu'il est possible de l'identifier à l'aide de plusieurs méthodes indépendantes (ex :). Finalement, cette propriété joue un rôle causal important dans le cas présent, car elle est l'objet de la sélection artificielle. La fitness des écosystèmes est donc dépendante de cette propriété.

Deuxièmement, ces écosystèmes sont des mécanismes. Il est vrai que le mécanisme exact produisant le pH dans le cas de ces écosystèmes n'est pas connu avec précision (Swenson et Wilson 2000 p.9113). Nous disposons cependant d'assez d'information pour élaborer un sketch réaliste de ce mécanisme. Ce mécanisme est composé d'entités (ex : milliers d'espèces de bactéries, algues, protozoaires, champignons) et d'activités (ex : échange carbone/oxygène, relation prédateur/proie, photosynthèse). Ces composantes sont organisées de manière précise. Par exemple, afin de produire de la photosynthèse, les algues doivent être en mesure d'entrer en contact avec de la lumière. Si le microcosme devient opaque à la lumière suite à la prolifération d'un organisme quelconque, les algues vont disparaître et le mécanisme produisant le pH sera affecté. De plus, ces mécanismes sont stables. Bien que sensibles aux conditions initiales, ces mécanismes manifestent par la suite une forte stabilité (Swenson et Wilson 2000 p.9112). En effet, comme l'expérience de Swenson et Wilson (2000) le démontre, même si seulement une fraction de ces mécanismes sont transmis d'une génération à l'autre, le fonctionnement des écosystèmes demeure très similaire (d'où la notion d'hérédité). Bien qu'incomplet, je crois que le sketch du mécanisme produisant le pH présenté ci-dessus permet de bien voir que lorsque toutes les entités et les activités sont organisées de la bonne manière, ce mécanisme produit de manière stable un pH précis.

Troisièmement, les composantes de ce mécanisme sont identifiables par manipulation. Bien que la composition totale des écosystèmes présents dans l'expérience de Swenson et Wilson (2000) soit inconnue, ces derniers ont tout de même fait analyser la composition des sédiments présents dans ces écosystèmes (Swenson et Wilson 2000 p.9110). Dans des expériences futures, si la composition totale des écosystèmes est jugée pertinente par les chercheurs (comme l'indiquent Swenson et Wilson 2000 p.9113), ces derniers peuvent toujours utiliser des cultures gnotobiotique élevées dans des microcosmes aquatiques standardisés (Taub 1989; 1997). Ces cultures sont des écosystèmes artificiels dans lesquels chaque espèce et chaque élément abiotique sont introduits indépendamment par les chercheurs. Ceci signifie que

la composition totale de ces systèmes est connue avant même de débiter les expérimentations. Plusieurs de ces expériences se déroulent dans des milieux clos telles les expériences en bouteille (Odum et Barrett 2005 p.61). Comme l'affirment Odum et Barrett:

«Gnotobiotic cultures have been used mostly to study the nutrition, biochemistry, and other aspects of single species or strains or to study the interactions of species, but ecologists have experimented with more complex polyaxenic cultures to devise self-contained ecosystems» (Odum et Barrett 2005 p.61)

Le fait que la composition totale des écosystèmes analysés par Swenson et Wilson n'est pas connue provient d'un choix méthodologique effectué par ces derniers. Dans le cadre de leurs expériences, ce choix n'est pas problématique puisque leur objectif était d'étudier l'effet de la sélection artificielle sur des systèmes entiers et non pas d'identifier le mécanisme sous-jacent au phénotype sélectionné. Cependant, si nous désirons découvrir la composition précise de ces mécanismes à l'aide d'interventions, une méthodologie précise existe déjà à cette fin.

Dernièrement, les écologistes disposent de plusieurs outils indépendants permettant d'intervenir sur ces écosystèmes. Comme je l'ai présenté précédemment, Swenson et Wilson (2000) favorisent une approche expérimentale. Cette démarche est aussi utilisée par Swenson et al (2000). De leurs côtés, Penn (2003; 2004; 2005) ainsi que Williams et Lenton (2007) favorisent une approche par modèles mathématiques et simulation informatique. Puisqu'il est possible d'intervenir de différentes manières indépendantes sur les mécanismes produisant le pH, il est possible d'affirmer que ce mécanisme est robuste. Encore une fois, si la robustesse est adoptée comme un critère ontologique adéquat, nous sommes justifiés de conclure que les différents écosystèmes présents dans l'expérience menée par Swenson et Wilson (2000) sont des entités écologiques existant réellement.

À l'aide de ces deux exemples d'unités ontologiques réelles, j'espère avoir convaincu le lecteur que mon argument présenté précédemment n'est pas seulement théoriquement intéressant, mais permet aussi d'identifier des unités écologiques réelles dans les faits.

4.4 Que sont les communautés et les écosystèmes?

Dans le chapitre 1, j'ai présenté la problématique portant sur les définitions des communautés et des écosystèmes. En résumé, j'ai argumenté que les biologistes ne disposent

pas de critères objectifs permettant d'identifier et de délimiter les unités écologiques. Suite à cet échec, la majorité des biologistes favorisent des critères pragmatiques (statistiques et topographiques) afin d'identifier et de délimiter les communautés et les écosystèmes. À l'aide des outils développés tout au long de ce mémoire ainsi que de l'argument présenté précédemment, il est maintenant possible d'offrir une piste de solution à ce débat. Dans cette section, je propose une nouvelle définition de ce que sont les communautés et les écosystèmes. Par la suite, je présente les avantages de cette conception.

Dans la section 4.3.1, j'ai argumenté qu'il existe des phénomènes émergents au niveau des communautés et des écosystèmes et qu'il est possible d'expliquer ces derniers à l'aide de mécanismes. Comme nous l'avons vu dans la section 3.4, une bonne explication mécaniste n'explique pas seulement comment un mécanisme peut fonctionner, mais bien comment le mécanisme fonctionne réellement. Puisque nous pouvons expliquer à l'aide de mécanismes le fonctionnement réel des communautés et des écosystèmes, *je propose de définir ces unités écologiques comme étant des mécanismes.*

Suivant cette piste de réflexion, il est possible de formuler les définitions suivantes des communautés et des écosystèmes :

- Communauté : ensembles d'entités (biotiques) et d'activités organisés de manière à exhiber de manière régulière des phénomènes émergents précis.
- Écosystèmes : ensembles d'entités (biotiques et abiotiques) et d'activités organisés de manière à exhiber de manière régulière des phénomènes émergents précis.

Définies de cette manière, les unités écologiques sont des mécanismes composés d'entités et d'activité. Ces dernières sont organisées de manière à produire de manière régulière des phénomènes émergents précis.

Ces définitions possèdent plusieurs avantages. Premièrement, elle permet d'offrir un critère objectif afin d'identifier les communautés et les écosystèmes. Comme je l'ai argumenté précédemment, il existe des propriétés émergentes robustes au niveau des unités écologiques (ex : pH, bioluminescence). Si tel est le cas, il n'est pas nécessaire de se rabattre sur un critère pragmatique afin d'identifier les unités écologiques. En effet, découvrir une telle propriété émergente est suffisant afin de permettre d'identifier une unité écologique. De plus, puisque les phénomènes émergents n'apparaissent pas *ex nihilo*, nous savons qu'il existe une structure

causale sous-jacente. Il est donc possible de concilier l'intuition présente chez les défenseurs de l'approche causale voulant que l'intégration des composantes soit importante tout en simplifiant l'application de ce critère. L'idée ici est simplement qu'il est plus facile d'identifier un phénomène émergent que de décrire la structure causale d'une unité écologique. Cependant, puisque nous savons que ces phénomènes émergents sont le résultat de mécanismes, cette approche souligne tout de même l'importance de l'intégration causale des différentes composantes des communautés et des écosystèmes.

Deuxièmement, l'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes permet de clarifier le critère de délimitation des frontières. Comme nous l'avons vu au chapitre 1, bien que plusieurs biologistes désirent être en mesure de délimiter objectivement les unités écologiques, les critères causaux permettant de le faire sont peu satisfaisants. En définissant les communautés et les écosystèmes comme des mécanismes, la solution au problème de la délimitation devient beaucoup plus tangible. La raison de ceci est que la frontière d'une unité écologique est une propriété agrégative. Afin d'identifier les frontières d'une unité écologique, il suffit donc d'identifier les frontières des différentes composantes de ces dernières. Par exemple, les frontières de la communauté calmar bobtail-*V.fischeri* est simplement la somme des frontières du calmar bobtail et de celles l'ensemble de *V.fischeri* présent dans le photophore. Ceci signifie que nous pouvons reformuler la question «qu'elles sont les frontières de l'unité écologique X» par «qu'elles sont les frontières des composantes du mécanisme X?». Or, comme je l'ai argumenté au chapitre 3, la théorie manipulationniste de Woodward (2003) permet d'identifier les composantes des mécanismes. En combinant la théorie de ce dernier avec les outils à la disposition des écologistes, il devient possible d'identifier objectivement les frontières des unités écologiques.

L'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes permet donc à la fois de simplifier l'application des critères d'identification et de délimitation causaux ainsi que de préciser ces mêmes critères. En adoptant cette thèse, il devient donc possible de répondre de manière convaincante aux critiques provenant du camp épistémique mettant en doute l'application possible des critères causaux. Dans la prochaine section, je démontre comment ces nouvelles définitions permettent de répondre à l'argument des frontières (Odenbaugh 2007) souvent adressé contre la conception réaliste des communautés et des écosystèmes.

4.5 Répondre à l'argument des frontières

Au chapitre 1, j'ai présenté un argument souvent avancé contre la conception ontologique des communautés et des écosystèmes : l'argument des frontières. Dans cette section, je rappelle au lecteur quel était cet argument avant de démontrer comment l'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes est en mesure d'y répondre.

Comme je l'ai expliqué au premier chapitre (section 1.4), l'argument des frontières (Odenbaugh 2007) utilise l'absence de critère objectif permettant d'identifier les frontières des unités écologiques afin de rejeter l'existence de ces dernières. Cet argument va comme suit :

- 1- Une communauté ou un écosystème existe si et seulement s'ils disposent de frontières objectives.
- 2- Or, les communautés et les écosystèmes ne disposent pas de frontières objectives

Conclusion : Les communautés et les écosystèmes n'existent pas objectivement.

Comme je l'ai déjà mentionné auparavant, je désire répondre à cet argument en acceptant la première prémisse. Pour se faire, mon défi est donc de démontrer que les communautés et les écosystèmes possèdent des frontières objectives. Or, comme je l'ai souligné dans la section précédente, l'interprétation mécaniste des entités communautés et des écosystèmes permet d'identifier par intervention les frontières réelles des unités écologiques. Si j'ai raison sur ce point, il est donc possible de répondre à l'argument des frontières.

Ma réponse à l'argument des frontières va comme suit :

- 1- Une communauté ou un écosystème existe si et seulement s'ils disposent de frontières objectives.
- 2- Les communautés et les écosystèmes sont des mécanismes.
- 3- Les mécanismes possèdent des frontières objectives et ces dernières sont identifiables par intervention.

Conclusion 1: Les frontières des communautés et des écosystèmes sont identifiables par des interventions.

Conclusion 2 : Les communautés et les écosystèmes existent donc réellement.

L'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes permet donc de conserver l'intuition que les unités écologiques existent si et seulement si elles disposent de frontières objectives tout en offrant des outils permettant de découvrir ces dernières. L'argument des frontières est ainsi neutralisé. En plus d'offrir une nouvelle conception ontologique des communautés et des écosystèmes, ma thèse permet en plus de répondre à une critique très forte adressée à la conception ontologique classique des unités écologiques.

4.6 Conclusion

J'ai entrepris ce chapitre en introduisant le concept de robustesse. J'ai identifié trois usages de ce concept avant d'argumenter que la robustesse phénoménale est un critère adéquat afin de juger de l'existence ontologique d'un objet. Par la suite, en usant à la fois de la robustesse phénoménale et les théories manipulationnistes et mécanistes présentées au chapitre 3, j'ai présenté un argument en faveur de l'existence ontologique des communautés et des écosystèmes. Brièvement, j'ai argumenté qu'il était possible d'identifier des propriétés émergentes au niveau des communautés et des écosystèmes. Comme nous l'avons vu au chapitre 3, ces phénomènes sont explicables par des mécanismes. De plus, en utilisant la théorie de Woodward (2003), il est possible d'identifier les composantes de ces mécanismes. Or, puisqu'il est possible d'intervenir de plusieurs manières indépendantes sur ces mécanismes, nous pouvons conclure qu'ils sont robustes et donc réels. Afin d'illustrer comment cette méthode permet d'identifier des unités écologiques, j'ai présenté deux candidats potentiels au titre d'unité écologique : les communautés symbiotiques composées des sépiolides et des *vibrio fischeri* et les écosystèmes gnotobiotique utilisés dans les expériences aquatiques standardisées.

Suite à ces exemples, j'ai proposé une nouvelle définition des communautés et des écosystèmes. Cette définition suggère de définir ces unités écologiques comme des mécanismes composés d'entités et d'activités organisées de manière précise afin d'exhiber de manière régulière des phénomènes émergents particuliers. J'ai argumenté que l'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes permet de clarifier les critères causaux proposés par plusieurs biologistes. Finalement, je suis revenu sur l'argument des frontières présenté au premier chapitre. En utilisant les outils développés au fil de ce mémoire ainsi que ma nouvelle interprétation des communautés et des écosystèmes, j'ai démontré qu'il était possible d'identifier des frontières objectives à ces unités écologiques. L'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes permet donc non seulement de préciser des

critères d'identification et de délimitation déjà existants dans la littérature écologique, mais permet en plus de répondre à l'argument principal contre la conception ontologique des communautés et des écosystèmes.

Conclusion

J'ai structuré ce mémoire portant sur le statut ontologique des communautés et des écosystèmes autour de la recherche d'une théorie de l'explication satisfaisante en écologie. Tout au long de ce mémoire, j'ai souligné l'importance de tenir compte à la fois de nos meilleures théories de l'explication en philosophie des sciences contemporaines et des développements expérimentaux et méthodologiques récents en écologie. En empruntant cette piste de réflexion, il a été possible de découvrir non seulement le meilleur cadre explicatif descriptif et normatif en écologie (chapitre 3), mais aussi de construire un argument fort en faveur de la conception ontologique des communautés et des écosystèmes (chapitre 4). En guise de conclusion, je retrace les éléments centraux de ma démarche tels qu'explicités tout au long de ce mémoire.

Comme je l'ai présenté en **introduction** ainsi qu'au **chapitre 1**, aussi bien chez les écologistes que les philosophes, le statut ontologique des communautés et des écosystèmes est controversé. J'ai expliqué que cette controverse provient du fait que malgré l'acceptation unanime de certaines définitions minimales de ces termes, plusieurs questions importantes portant principalement sur la nature même de ces termes demeurent ouvertes. Lorsque confronté à ces interrogations, les chercheurs tendent à offrir, chacun selon leurs besoins, une définition précise différente de ce que sont les communautés et les écosystèmes.

Afin d'ordonner les différents usages possibles des termes «communauté» et «écosystème», j'ai utilisé la classification offerte par Jax (2006) et Odenbaugh (2007). Suivant Jax(2006), j'ai explicité quatre critères permettant de classer ces usages. Ces critères sont : (1) l'identification des frontières (2) l'identification des unités écologiques (3) le degré de relation interne de ces unités écologiques et (4) finalement le statut ontologique des communautés et des écosystèmes. Par la suite, j'ai utilisé les travaux d'Odenbaugh (2007) afin de raffiner le critère (3) portant sur le degré de relation interne aux différentes unités écologiques. Suivant ce dernier, j'ai présenté trois niveaux d'intégration possible : (a) une intégration agrégative telle que retrouvée chez Gleason (1917) (b) une intégration modérée telle que présente dans les travaux de 1948 d'Hutchinson et finalement (c) une intégration holiste telle que défendue par Clements (1916). À la suite de cette démarche de classification, j'ai présenté comment différents écologistes et philosophes utilisent les concepts de communauté et d'écosystème. Ceci a permis

notamment de démontrer les liens logiques existant entre les critères topographiques / statistiques / épistémiques (Peters 1991) et les critères par processus / fonctionnels / ontologiques (Odenbaugh 2007).

Après avoir effectué ce recensement des différents usages, j'ai présenté l'argument des frontières (Odenbaugh 2007). Cet argument souvent avancé contre la conception ontologique des communautés et des écosystèmes va comme suit :

- 1- Une communauté ou un écosystème existe si et seulement s'il dispose de frontières objectives.
- 2- Or, les communautés et les écosystèmes ne disposent pas de frontières objectives.

Conclusion : Les communautés et les écosystèmes n'existent pas objectivement.

Après avoir explicité cet argument, j'ai présenté les travaux de Davies (1984) et de Whittaker (1975) qui sont souvent avancés afin de soutenir empiriquement l'argument des frontières. Suivant Odenbaugh (2007), j'ai argumenté que bien que ces travaux démontrent que les communautés étudiées par chacun de ces auteurs ne sont pas des communautés de Clements, ces études ne démontrent pas que ces communautés sont purement agrégatives (communauté de Gleason). L'inexistence des communautés de Hutchinson reste donc encore à démontrer.

Malgré mon endossement des thèses d'Odenbaugh (2007), j'ai expliqué pourquoi la démarche argumentative de ce dernier demeure insatisfaisante. La raison de ceci est qu'il n'est pas suffisant de critiquer les arguments avancés contre la position ontologique. Il est nécessaire, si nous voulons rendre cette thèse crédible, de proposer des arguments positifs en faveur de cette conception. J'ai conclu le chapitre 1 en argumentant que le meilleur moyen de répondre à ce défi était de préciser les critères d'identification et de délimitation causaux présentés précédemment.

Ma méthodologie afin d'atteindre cet objectif fut d'analyser la démarche explicative en écologie afin de développer des outils permettant de répondre à la question du statut ontologique des communautés et des écosystèmes. En agissant de la sorte, je me suis inspiré des démarches argumentatives de Cooper (2003) et Wimsatt (2007). J'ai entrepris ma recherche de ce qu'est une bonne explication en écologie en analysant dans le **chapitre 2** le modèle

déductivo-nomologique d'Hempel (Hempel 1942; 1965; 1966; Hempel et Oppenheim 1948) ainsi que l'application de ce dernier en écologie. J'ai débuté par expliciter le fonctionnement de ce modèle explicatif avant de le critiquer sévèrement. J'ai argumenté que le modèle D-N possède deux failles majeures : (1) il n'est pas en mesure de distinguer entre loi et généralisation accidentelle (Salmon 1984) et (2) son application dans le cas de l'écologie mène à la conclusion que l'écologie n'explique rien, car elle ne dispose pas de loi (Cooper 2003).

Alors que le consensus philosophique actuel est qu'il n'existe pas de loi en biologie au sens hempélien du terme, le terme loi demeure très couramment utilisé en écologie (ex : Berryman 2003; Colyvan et Ginzburg 2003). Afin de faire sens de cet usage, j'ai analysé la thèse d'Elgin (2006) qui argumente qu'en modifiant légèrement le modèle D-N, il devient possible d'identifier plusieurs lois en écologie (ex : les allométries). J'ai argumenté que bien que ce dernier ait raison de désirer limiter la portée de nos énoncés nomiques, sa thèse demeure susceptible aux problèmes de la pertinence explicative et de l'asymétrie explicative présents chez Hempel.

La conclusion de ce chapitre est principalement négative : le modèle D-N ne permet pas de rendre compte de la démarche explicative en écologie et donc, ne permet pas d'offrir des outils afin de répondre à la question du statut ontologique des communautés et des écosystèmes. Malgré tout, l'analyse effectuée tout au long de ce chapitre m'a permis de découvrir deux éléments importants afin de disposer d'une théorie de l'explication adéquate en écologie : (1) une théorie de l'explication adéquate doit permettre à des énoncés ayant une portée limitée d'être explicatifs (2) une théorie de l'explication adéquate se doit de traiter de la causalité.

Le **chapitre 3** bâtit sur les deux éléments positifs découverts au chapitre 2. J'ai amorcé ce chapitre en précisant ce que j'entends par causalité et comment cette notion permet de corriger les problèmes de la pertinence explicative et de l'asymétrie explicative présente chez le modèle D-N. Après ceci, j'ai présenté deux théories de l'explication contemporaine satisfaisante les critères (1) et (2) ci-dessus : l'approche manipulationniste de James Woodward (2003) et l'approche mécaniste de Machamer, Darden et Craver (2000). J'ai argumenté que bien que développée originalement comme des théories concurrentes, il est nécessaire de les combiner afin de rendre compte de la pratique explicative en écologie. La raison de ceci est que les écologistes recherchent des généralisations explicatives invariantes telles que le propose

Woodward, mais ils recherchent aussi des mécanismes expliquant l'origine de ces généralisations invariantes telles que le défendent MDC. La théorie de Woodward est donc nécessaire afin de rendre compte de la partie portant sur la recherche de généralisations invariantes en écologie alors que la théorie de MDC est quant à elle nécessaire afin d'expliquer la partie mécaniste de la pratique écologique.

Afin d'illustrer cette complémentarité, j'ai par la suite présenté les travaux de Tilman et al (1997a; 1997b; 1997c) portant sur le lien entre la diversité fonctionnelle des écosystèmes et le fonctionnement de certains processus internes à ces derniers. Cet exemple m'a permis de démontrer clairement le désir des écologistes à la fois de disposer de généralisation invariante et de mécanismes, mais de plus que plusieurs éléments des théories de Woodward et MDC font partie intégrante de la pratique explicative écologique contemporaine. J'ai conclu ce chapitre en soulignant que puisque ces deux modèles explicatifs sont en mesure (lorsque combinés) de rendre compte de la démarche explicative en écologie, ils offrent des outils intéressants afin de répondre à la question du statut ontologique des communautés et des écosystèmes.

Après avoir développé ces outils (manipulations et mécanismes) au chapitre 3, le **chapitre 4** a marqué mon retour au traitement direct de la question du statut ontologique des communautés et des écosystèmes. J'ai entrepris ce chapitre en argumentant que la robustesse est un critère adéquat afin de juger de l'existence réelle ou non d'un objet (Wimsatt 2007). J'ai identifié trois types de robustesse : (1) la robustesse d'un théorème (2) la robustesse phénoménale (3) la robustesse d'une affirmation empirique. Par la suite, j'ai argumenté que la robustesse phénoménale (2), c'est-à-dire le fait que plus nous pouvons intervenir de manière indépendante sur un phénomène plus ce phénomène a de chance d'être réel, était l'aspect le plus important de la robustesse dans notre entreprise actuelle.

Par la suite, j'ai présenté mon argument positif en faveur de la conception ontologique des communautés et des écosystèmes. Cet argument va comme suit :

- i- Il existe des phénomènes émergents propres au niveau des communautés et des écosystèmes.
- ii- Ces phénomènes sont explicables par des mécanismes.
- iii- Ces mécanismes sont identifiables par manipulation.

- iv- Puisqu'il est possible d'intervenir de différentes manières indépendantes sur ces mécanismes, ces derniers sont robustes.
-

Conclusion : En adoptant la robustesse comme critère d'existence, on peut affirmer que certaines communautés et les écosystèmes existent donc réellement.

J'ai défendu la première prémisse de mon argument en défendant une conception faible de l'émergence. C'est-à-dire qu'un phénomène est émergent s'il est plus que la somme de ses parties (Wimsatt 2007). Interprété de cette manière, les mécanismes produisent des phénomènes émergents, car le produit final dépend non seulement de partie de ce dernier, mais aussi de leur l'organisation (Craver 2007 p.216). Les prémisses 2 et 3 sont quant à elles les conclusions du chapitre 3. Finalement, à l'aide d'un survol des différentes méthodes d'investigation à la disposition des écologistes, j'ai démontré qu'il était possible d'intervenir de plusieurs manières indépendantes sur des unités écologiques.

Afin de démontrer que cet argument permet non seulement de préciser les critères de délimitation et d'identification des unités écologiques, mais en plus de simplifier leur application, j'ai par la suite présenté deux candidats au titre d'unité écologique réelle : les communautés composées des calmars bobtail et des bactéries *Vibrio fischeri* (Bouchard 2010) ainsi que les écosystèmes artificiels utilisés lors des expériences de sélection artificielle de Swenson et Wilson (2000).

À la suite de cet argument, j'ai présenté une nouvelle définition de ce que sont les communautés et les écosystèmes. Ces définitions vont comme suit :

- Communauté : ensembles d'entités (biotiques) et d'activités organisés de manière à exhiber de manière régulière des phénomènes émergents précis.
- Écosystèmes : ensembles d'entités (biotiques et abiotiques) et d'activités organisés de manière à exhiber de manière régulière des phénomènes émergents précis.

Selon cette interprétation que j'ai nommée l'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes, les communautés et les écosystèmes sont des mécanismes suivant la définition de MDC (2000). C'est-à-dire qu'ils sont composés d'entités et d'activités organisées de manière précise permettant de produire des phénomènes émergents particuliers de manière régulière. Ces définitions possèdent deux avantages importants sur ses

compétitrices : (1) elles offrent des critères objectifs permettant d'identifier les différentes communautés et écosystèmes (2) elles permettent de clarifier le critère d'identification des frontières des communautés et des écosystèmes. Bien que ces définitions soient plus exigeantes pour les écologistes que les définitions pragmatiques courantes actuellement, l'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes permet d'identifier et de délimiter objectivement des communautés et des écosystèmes réels. Un des objectifs principaux de la science étant de découvrir le fonctionnement réel du monde, l'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes est supérieure aux approches pragmatiques puisque ces dernières sont par définition incapables de remplir cette tâche.

J'ai conclu le chapitre 4 en répondant à l'argument des frontières (Odenbaugh 2007) présenté au chapitre 1. Ma réponse va comme suit :

- 1- Une communauté ou un écosystème existe si et seulement s'ils disposent de frontières objectives.
- 2- Les communautés et les écosystèmes sont des mécanismes.
- 3- Les mécanismes possèdent des frontières objectives et ces dernières sont identifiables par intervention.

Conclusion 1: Les frontières des communautés et des écosystèmes sont identifiables par des interventions.

Conclusion 2 : Les communautés et les écosystèmes existent donc réellement.

Cette réponse concède la première prémisse à l'argument des frontières, mais fait intervenir l'interprétation mécaniste des communautés et des écosystèmes afin de démontrer que malgré cette exigence, les communautés et les écosystèmes peuvent exister réellement. Une fois cette réponse en place, l'argument des frontières n'est plus une menace pour la conception ontologique des communautés et des écosystèmes, mais devient plutôt un argument en faveur de cette conception!

En conclusion, à l'aide de la théorie manipulationniste de Woodward (2003) et de la théorie mécaniste de Machamer, Darden et Craver (2000), j'ai réussi non seulement à répondre à une critique importante adressée contre la conception ontologique des communautés et des écosystèmes, mais aussi à construire un argument fort en faveur de cette conception. Les communautés et les écosystèmes sont des mécanismes dont nous pouvons découvrir le

fonctionnement à l'aide d'interventions. Le fait qu'il est possible d'intervenir sur ces mécanismes démontre hors de tous doutes raisonnables que ces unités écologiques font partie intégrante du monde réel.

Bibliographie

Allen, T. and T. W. Hoekstra (1992). *Toward a unified ecology: complexity in ecological systems*, Columbia University Press, New York.

Arnold, J. M., C. T. Singley, et al. (1972). "Embryonic development and post-hatching survival of the sepiolid squid *Euprymna scolopes* under laboratory conditions." *Veliger* 14(4): 361-364.

Beatty, J. (1980). "Optimal-design models and the strategy of model building in evolutionary biology." *Philosophy of Science*: 532-561.

Beatty, J. (1995). *The evolutionary contingency thesis. Concepts, theories, and rationality in the biological sciences: the second Pittsburg-Konstanz Colloquim in the Philosophy of Science*, Univ of Pittsburgh Pr.

Bechtel, W. and A. Abrahamsen (2005). "Explanation: A mechanist alternative." *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36(2): 421-441.

Bechtel, W. and R. C. Richardson (2010). *Discovering complexity: Decomposition and localization as strategies in scientific research*, Mit Pr.

Begon, M., J. L. Harper, et al. (1996). *Ecology: individuals, populations, and communities*, Wiley-Blackwell.

Berryman, A. (2003). "On principles, laws and theory in population ecology." *Oikos* 103(3): 695-701.

Binney, J., N. Dowrick, et al. (1992). *The theory of critical phenomena*, Oxford University Press, USA.

Bogen, J. (2004). "Analysing causality: The opposite of counterfactual is factual." *International Studies in the Philosophy of Science* 18(1): 3-26.

Bouchard, F. (2010). "Symbiosis, lateral function transfer and the (many) saplings of life." *Biology and Philosophy*: 1-19.

Bouchard, F. (2011). "How ecosystem evolution strengthens the case for functional pluralism." *Functions: Selection and Mechanism* (Huneman P, ed), Springer.

Bromberger, S. (1966). "Questions." *The Journal of Philosophy* 63(20): 597-606.

Brown, J. H. (1995). *Macroecology*, University of Chicago Press.

Brown, J. H. (1999). "Macroecology: progress and prospect." *Oikos* 87(1): 3-14.

Brown, J. H., J. F. Gillooly, et al. (2003). The next step in macroecology: from general empirical patterns to universal ecological laws. *Macroecology: Concepts and Consequences*. T. M. Blackburn and K. J. Gaston, Cambridge University Press: 64-84.

Brown, J. H. and G. B. West (2000). *Scaling in biology*, Oxford University Press, USA.

Bunge, M. (2004). "How does it work?: The search for explanatory mechanisms." *Philosophy of the Social Sciences* 34(2): 182.

Cadenasso, M. L., S. T. A. Pickett, et al. (2003). "An interdisciplinary and synthetic approach to ecological boundaries." *BioScience* 53(8): 717-722.

Calcott, B. (2010). "Wimsatt and the robustness family: Review of Wimsatt's *Re-engineering Philosophy for Limited Beings*." *Biology and Philosophy*: 1-13.

Cale, W. G., G. M. Henebry, et al. (1989). "Inferring process from pattern in natural communities." *BioScience* 39(9): 600-605.

Campbell, D. and D. Fiske (1998). "Convergent and discriminant validation by the multitrait-multimethods matrix." *Personality* 56: 162.

Campbell, D. T. (1958). "Common fate, similarity, and other indices of the status of aggregates of persons as social entities." *Behavioral science* 3(1): 14-25.

Cartwright, N. (1980). "The truth doesn't explain much." *American Philosophical Quarterly* 17(2): 159-163.

Cartwright, N. (1983). *How the laws of physics lie*, Clarendon Press.

Cartwright, N. (1994). *Nature's Capacities and their Measurement*, Oxford University Press, USA.

Cartwright, N. (1999). *The dappled world: A study of the boundaries of science*, Cambridge Univ Pr.

Cerniglia, C. E. (1992). "Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons." *Biodegradation* 3(2): 351-368.

Clements, F. E. (1916). *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*, Carnegie Institution of Washington.

Colyvan, M. and L. Ginzburg (2003). "Laws of nature and laws of ecology." *Oikos* 101(3): 649-653.

Cooper, G. (2003). *The science of the struggle for existence: on the foundation of ecology*. Cambridge, Cambridge University Press.

Craig, D. M. (1982). "Group selection versus individual selection: an experimental analysis." *Evolution*: 271-282.

Craver, C. (2006). "When mechanistic models explain." *Synthese* 153(3): 355-376.

Craver, C. and W. Bechtel (2007). "Top-down causation without top-down causes." *Biology and Philosophy* 22(4): 547-563.

Craver, C. and L. Darden (2005). "Special issue: Mechanisms in biology." *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 31(2).

Craver, C. F. (2007). *Explaining the brain : mechanisms and the mosaic unity of neuroscience*. Oxford

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

Daehler, C. C. and D. R. Strong (1996). "Can you bottle nature? The roles of microcosms in ecological research." *Ecology* 77(3): 663-664.

Darden, L. (2007). *Mechanism and Models. The Cambridge companion to The philosophy of biology*. D. Hull and M. Ruse. Cambridge, Cambridge University Press: 139-159.

Darden, L. and C. Craver (2002). "Strategies in the interfield discovery of the mechanism of protein synthesis." *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 33(1): 1-28.

Davis, M. B. (1981). "Quaternary history and the stability of forest communities." *Forest succession: concepts and application*. Springer-Verlag, New York, New York, USA: 132–153.

DeLaplante, K. and J. Odenbaugh (2006). *What isn't wrong with ecosystem ecology*. Philosophy of the life sciences, MIT Press.

DesAutels, L. (2010). "Sober and Elgin on laws of biology: a critique." *Biology and Philosophy* 25(2): 249-256.

Desjardins, E. (2011). "Historicity and experimental evolution." *Biology and Philosophy*: 1-26.

Desjardins, E. C. (2009). *Historicity in biology*. Philosophy. Vancouver, University of British Columbia. Phd: 216.

Diamond, J. M. and T. J. Case (1986). *Community ecology*, Harper & Row New York, USA.

Diaz and M. Cabido (2001). "Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes." *Trends in Ecology & Evolution* 16(11): 646-655.

Díaz, S., A. J. Symstad, et al. (2003). "Functional diversity revealed by removal experiments." *Trends in Ecology & Evolution* 18(3): 140-146.

Dunbar, M. (1972). "The ecosystem as unit of natural selection." *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 44: 113-130.

Elgin, M. (2006). "There may be strict empirical laws in biology, after all." *Biology and Philosophy* 21(1): 119-134.

Elton, C. (1927). *Animal Ecology*. London, Sidgwick and Jackson.

Enquist, B. J., A. P. Allen, et al. (2007). "Biological scaling: Does the exception prove the rule?" *Nature* 445(7127): E9-E10.

Ford, E. D. (2000). *Scientific method for ecological research*, Cambridge Univ Pr.

Friedman, M. (1974). "Explanation and scientific understanding." *The Journal of Philosophy* 71(1): 5-19.

Giere, R. N. (1999). *Science without laws*, University of Chicago Press.

Ginzburg, L. R. and M. Colyvan (2004). *Ecological orbits: how planets move and populations grow*, Oxford University Press, USA.

Gleason, H. A. (1939). "The individualistic concept of the plant association." *American Midland Naturalist* 21(1): 92-110.

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

Glennan, S. (2005). "Modeling mechanisms." *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36(2): 443-464.

Gould, S. J. (1990). *Wonderful life: The Burgess Shale and the nature of history*, WW Norton & Company.

Grime, J. P. (1997). "Biodiversity and ecosystem function: the debate deepens." *Science* 277(5330): 1260.

Halpern, J. and J. Pearl (2005). "Causes and explanations: A structural-model approach. Part I: Causes." *The british journal for the philosophy of science* 56(4): 843.

Halpern, J. and J. Pearl (2005). "Causes and explanations: A structural-model approach. Part II: Explanations." *The british journal for the philosophy of science* 56(4): 889.

Hamilton, A. (2007). "Laws of Biology, Laws of Nature: Problems and (Dis) Solutions." *Philosophy Compass* 2(3): 592-610.

Hamilton, W. D. (1971). "Geometry for the selfish herd." *Journal of theoretical Biology* 31(2): 295-311.

Hanlon, R. T., M. F. Claes, et al. (1997). "Laboratory culture of the sepiolid squid *Euprymna scolopes*: a model system for bacteria-animal symbiosis." *The Biological Bulletin* 192(3): 364.

Hart, H. L. A. and T. Honoré (1985). *Causation in the Law*, Oxford University Press, USA.

Hector, A., B. Schmid, et al. (1999). "Plant diversity and productivity experiments in European grasslands." *Science* 286(5442): 1123.

Hempel, C. (1965). *Aspects of scientific explanation*. New York, Free Press.

Hempel, C. (1991). "Laws and their role in scientific explanation." *The philosophy of science*: 299–315.

Hempel, C. G. (1935). "On the logical positivists' theory of truth." *Analysis* 2(4): 49-59.

Hempel, C. G. (1942). "The function of general laws in history." *The Journal of Philosophy* 39(2): 35-48.

Hempel, C. G. (1965). "Aspects of scientific explanation."

Hempel, C. G. (1966). "Philosophy of natural Science."

Hempel, C. G. and P. Oppenheim (1948). "Studies in the Logic of Explanation." *Philosophy of Science* 15(2): 135-175.

Hitchcock, C. (2001). "The intransitivity of causation revealed in equations and graphs." *The Journal of Philosophy* 98(6): 273-299.

Hitchcock, C. (2007). "Three Concepts of Causation." *Philosophy Compass* 2(3): 508-516.

Hitchcock, C. and J. Knobe (2009). "Cause and norm." *Journal of Philosophy* 11: 587-612.

Hooper, D., F. Chapin Iii, et al. (2005). "Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge." *Ecological monographs* 75(1): 3-35.

Hooper, L. V., L. Bry, et al. (1998). "Host–microbial symbiosis in the mammalian intestine: exploring an internal ecosystem." *Bioessays* 20(4): 336-343.

Humphreys, P. (1997). "How properties emerge." *Philosophy of Science*: 1-17.

Huston, M. A. (1997). "Hidden treatments in ecological experiments: re-evaluating the ecosystem function of biodiversity." *Oecologia* 110(4): 449-460.

Hutchinson, G. E. (1948). "Circular causal systems in ecology." *Annals of the New York Academy of Sciences* 50(4): 221-246.

Hutchinson, G. E. (1967). *A treatise on limnology: introduction to lake biology and the limnoplankton*, Wiley.

Jax, K. (2006). "Ecological Units: Definitions and Application." *The Quarterly Review of Biology* 81(3): 237-258.

Jax, K. (2007). "Can we define Ecosystems? On the confusion between definition and description of Ecological concepts." *Acta Biotheoretica* 55(4): 341-355.

Jorgensen, S. E., B. C. Patten, et al. (1992). "Ecosystems emerging: toward an ecology of complex systems in a complex future." *Ecological Modelling* 62(1-3): 1-27.

Kim, J. (1989). "Mechanism, purpose, and explanatory exclusion." *Philosophical Perspectives* 3: 77-108.

Kim, J. (2003). "The American origins of philosophical naturalism." *Journal of philosophical research*: 83-98.

Kitcher, P. (1981). "Explanatory Unification." *Philosophy of Science* 48(4): 507-531.

Klijn, F. and H. A. U. Haes (1994). "A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification." *Landscape Ecology* 9(2): 89-104.

Knobe, J. (2003). "Intentional action and side effects in ordinary language." *Analysis* 63(3): 190.

Knobe, J. and B. Fraser (2008). "Causal judgment and moral judgment: Two experiments." *Moral psychology* 2: 441-448.

Lange, M. (2005). "Ecological laws: what would they be and why would they matter?" *Oikos* 110(2): 394-403.

Lehman, H. (2000). "Ecosystem health as a moral requirement." *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 12(3): 305-317.

Lepš, J. and P. Šmilauer (2003). *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*, Cambridge Univ Pr.

Levins, R. (1966). "The strategy of model building in population biology." *Am. Sci.* 54: 421-431.

Levins, R. and R. Lewontin (1980). "Dialectics and reductionism in ecology." *Synthese* 43(1): 47-78.

Lewis, D. (1973). *Counterfactuals*, Wiley-Blackwell.

Lewis, D. (2000). "Causation as influence." *The Journal of Philosophy* 97(4): 182-197.

Lewontin, R. (1982). *Human diversity*, Scientific American Library New York.

Lewontin, R. C. (1969). *The meaning of stability*. Brookhaven Symposia in Biology.

Likens, G. E. and F. H. Bormann (1995). *Biogeochemistry of a forested ecosystem*, Springer-Verlag New York Inc.

Lindeman, R. L. (1942). "The trophic-dynamic aspect of ecology." *Ecology* 23(4): 399-417.

Looijen, R. C. and J. van Andel (1999). "Ecological communities: conceptual problems and definitions." *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 2(2): 210-222.

Loreau, M., S. Naeem, et al. (2001). "Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges." *Science* 294(5543): 804.

MacArthur, R. H. (1971). "Patterns of terrestrial bird communities." *Avian biology* 1: 189-221.

Machamer, P. (2004). "Activities and causation: The metaphysics and epistemology of mechanisms." *International Studies in the Philosophy of Science* 18(1): 27-39.

Machamer, P., L. Darden, et al. (2000). "Thinking about Mechanisms." *Philosophy of Science* 67(1): 1-25.

Marquet, P. A., R. A. Quiñones, et al. (2005). "Scaling and power-laws in ecological systems." *Journal of Experimental Biology* 208(9): 1749-1769.

Matson, P., W. Parton, et al. (1997). "Agricultural intensification and ecosystem properties." *Science* 277(5325): 504.

Maynard Smith, J. (1976). "Group selection." *Quarterly Review of biology* 51: 277-283.

- McFall-Ngai, M. J. (1999). "Consequences of evolving with bacterial symbionts: insights from the squid-vibrio associations." *Annual Review of Ecology and Systematics* 30: 235-256.
- McFall-Ngai, M. J. and E. G. Ruby (2000). "Developmental biology in marine invertebrate symbioses." *Current opinion in microbiology* 3(6): 603-607.
- McNaughton, S. (1989). "Ecosystems and conservation in the twenty-first century." *Conservation for the Twenty-first Century*: 109-120.
- Mikkelsen, G. (2007). *Ecology. Cambridge companion to the philosophy of biology*. M. Ruse. New York, Cambridge University Press: 372-387.
- Montgomery, M. K. and M. McFall-Ngai (1994). "Bacterial symbionts induce host organ morphogenesis during early postembryonic development of the squid *Euprymna scolopes*." *Development* 120(7): 1719.
- Odenbaugh, J. (2003). "Complex systems, trade-offs, and mathematical modeling: A response to Sober and Orzack." *Philosophy of Science* 70: 1496-1507.
- Odenbaugh, J. (2007). "Seeing the Forest and the Trees." *Philosophy of Science* 74: 628-641.
- Odling-Smee, F. J., K. N. Laland, et al. (2003). *Niche construction: the neglected process in evolution*, Princeton Univ Pr.
- Odum, E. P. (1971). "Fundamentals of ecology." Philadelphia: Saunders: 574.
- Odum, E. P. (1985). "Trends expected in stressed ecosystems." *BioScience* 35(7): 419-422.
- Odum, E. P. and G. W. Barrett (1971). "Fundamentals of ecology."
- O'Hara, R. (2005). "The anarchist's guide to ecological theory. Or, we don't need no stinkin' laws." *Oikos* 110(2): 390-393.
- Orzack, S. and E. Sober (1993). "A critical assessment of Levins' «Strategy of model building»." *Quarterly review of Biology* 68: 534-546.
- Pâslaru, V. (2007). *Ecological Mechanisms in Philosophical Focus. Philosophy*. Cincinnati, UNIVERSITY OF CINCINNATI. PhD.

Pâslaru, V. (2009). "Ecological Explanation between Manipulation and Mechanism Description." *Philosophy of Science* 76: 821-837.

Pearl, J. (2000). *Causality: models, reasoning, and inference*, Cambridge Univ Pr.

Penn, A. and I. Harvey (2004). *The Role of Non-Genetic Change in the Heritability, Variation and Response to Selection of Artificially Selected Ecosystems*. Proceedings of the ninth international conference on artificial life, MIT Press.

Penn, A. S. (2003). *Modelling Artificial Ecosystem Selection: a preliminary investigation*. *Advances in Artificial Life, 7th European Conference, ECAL 2003*. Proceedings. W. Banzhaf and e. al. vol 2801 of *Lecture Notes in Computer Science*: 659-666.

Peters, R. H. (1991). *A critique for ecology*, Cambridge Univ Pr.

Petersen, C. "J. 1913. Valuation of the sea. II. The animal communities of the sea bottom and their importance for marine zoogeography." *Report of the Danish Biological Station* 21: 1 44.

Phillips, J. (1931). "The biotic community." *Journal of Ecology* 19(1): 1-24.

Phillips, J. (1934). "Succession, Development, the Climax, and the Complex Organism: An Analysis of Concepts. Part I." *Journal of Ecology* 22(2): 554-571.

Phillips, J. (1935). "Succession, development, the climax, and the complex organism: an analysis of concepts: part II. Development and the climax." *Journal of Ecology* 23(1): 210-246.

Phillips, J. (1935). "Succession, Development, the Climax, and the Complex Organism: An Analysis of Concepts: Part III. The Complex Organism: Conclusions." *Journal of Ecology* 23(2): 488-508.

Pickett, S. T., J. Kolasa, et al. (2007). *Ecological understanding: the nature of theory and the theory of nature*, Academic Press.

Psillos, S. (2007). "Causal Explanation and manipulation." *Rethinking explanation*: 93-107.

Quine, W. V. O. (1969). "Epistemology naturalized." *Ontological relativity and other essays* 13(3): 69-90.

Raerinne, J. (2010). "Causal and Mechanistic Explanations in Ecology." *Acta Biotheoretica*: 1-21.

Raerinne, J. (2011). "Allometries and scaling laws interpreted as laws: a reply to Elgin." *Biology and Philosophy* 26: 99-111.

Raerinne, J. (2011). "Generalizations and Models in Ecology: Lawlikeness, Invariance, Stability, and Robustness."

Reichenbach, H. (1954). *The rise of scientific philosophy*, Univ of California Press.

Reisman, K. and P. Forber (2006). "Manipulation and the Causes of Evolution." *Philosophy of Science* 72: 1113-1123.

Ridley, M. (2004). *Evolution*. Oxford, Blackwell Publishing.

Rosenberg, A. (1994). *Instrumental biology, or, The disunity of science*. Chicago, University of Chicago Press.

Rowe, J. S. (1961). "The level-of-integration concept and ecology." *Ecology* 42(2): 420-427.

Rowe, J. S. and B. V. Barnes (1994). "Geo-ecosystems and bio-ecosystems." *Bulletin of the Ecological Society of America* 75(1): 40-41.

Sagoff, M. (2003). "The plaza and the pendulum: Two concepts of ecological science." *Biology and Philosophy* 18(4): 529-552.

Salmon, W. C. (1984). *Scientific explanation and the causal structure of the world*. Princeton, N.J., Princeton University Press.

Salmon, W. C. (1989). *Four decades of scientific explanation*. Minneapolis, University of Minnesota Press.

Salmon, W. C. (1998). *Causality and explanation*. New York, Oxford University Press.

Salmon, W. C., R. C. Jeffrey, et al. (1971). *Statistical explanation and statistical relevance*. With contributions by Richard C. Jeffrey and James G. Greeno. [Pittsburgh], University of Pittsburgh Press.

Sarkar, S. (1992). "Models of reduction and categories of reductionism." *Synthese* 91(3): 167-194.

Schindler, D. (1998). "Whole-Ecosystem Experiments: Replication Versus Realism: The Need for Ecosystem-Scale Experiments." *Ecosystems* 1(4): 323-334.

Sellars, R. W. (1927). "Why Naturalism and Not Materialism?" *The philosophical review* 36(3): 216-225.

Silberstein, M. and J. McGeever (1999). "The search for ontological emergence." *The Philosophical Quarterly* 49(195): 201-214.

Simberloff (1990). Free-living communities and alimentary tract helminths: hypotheses and pattern analysis. *Parasite Communities: Patterns and Processes*. G. Esch, A. Bush and J. Aho. London and New York, Chapman and Hall: 289-319.

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

Sober, E. (1997). "Two outbreaks of lawlessness in recent philosophy of biology." *Philosophy of Science* 64: 458-467.

Stanley, H. E., L. Amaral, et al. (2000). "Scale invariance and universality: organizing principles in complex systems." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 281(1-4): 60-68.

Sterelny, K. and P. E. Griffiths (1999). *Sex and death : an introduction to philosophy of biology*. Chicago, Ill., University of Chicago Press.

Swenson, W., J. Arendt, et al. (2000). "Artificial selection of microbial ecosystems for 3-chloroaniline biodegradation." *Environmental Microbiology* 2: 564-571.

Swenson, W., D. S. Wilson, et al. (2000). "Artificial Ecosystem Selection." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97: 9110-9114.

Tansley, A. G. (1935). "The use and abuse of vegetation concepts and terms." *Ecology* 16(3): 284-307.

- Tarski, A. (1944). "The semantic conception of truth: and the foundations of semantics." *Philosophy and Phenomenological Research* 4(3): 341-376.
- Taub, F. (1989). "Standardized Aquatic Microcosm--Development and Testing." *Aquatic Ecotoxicology: Fundamental Concepts and Methodologies*. 2.
- Taub, F. B. (1969). "A biological model of a freshwater community: a gnotobiotic ecosystem." *Limnology and Oceanography* 14(1): 136-142.
- Taub, F. B. (1997). "Unique information contributed by multispecies systems: examples from the standardized aquatic microcosm." *Ecological Applications* 7(4): 1103-1110.
- Tilman, D. (1997). "Community invasibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity." *Ecology* 78(1): 81-92.
- Tilman, D., J. Knops, et al. (1997). "The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes." *Science* 277(5330): 1300.
- Tilman, D., J. Knops, et al. (1997). "The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes." *Science* 277(5330): 1300.
- Tilman, D., C. L. Lehman, et al. (1997). "Plant diversity and ecosystem productivity: theoretical considerations." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94(5): 1857.
- Tokeshi, M. (1996). "Power fraction: a new explanation of relative abundance patterns in species-rich assemblages." *Oikos* 75(3): 543-550.
- Underwood, A. (1986). "What is a community." *Patterns and processes in the history of life*: 351-367.
- Van Fraassen, B. C. (1989). *Laws and symmetry*, Oxford University Press, USA.
- Visick, K. L. and M. J. McFall-Ngai (2000). "An exclusive contract: specificity in the *Vibrio fischeri*-*Euprymna scolopes* partnership." *Journal of Bacteriology* 182(7): 1779.
- Wade, M. J. (1978). "A critical review of the models of group selection." *Quarterly Review of biology*: 101-114.

Wei, S. and R. Young (1989). "Development of symbiotic bacterial bioluminescence in a nearshore cephalopod, *Euprymna scolopes*." *Marine Biology* 103(4): 541-546.

Weisberg, M. (2006). "Robustness analysis." *Philosophy of Science* 73(5): 730-742.

West, G. B. and J. H. Brown (2004). "Life's universal scaling laws." *Physics Today* 57(9): 36-43.

Whittaker, R. (1975). "Community and ecosystems." McMillan, New York.

Whittaker, R. H. (1962). "Classification of natural communities." *Botanical Review* 28(1): 1-239.

Wildung, R., T. Garland, et al. (1975). "The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root decomposition in arid grassland soils." *Soil Biology and Biochemistry* 7(6): 373-378.

Williams, G. C. (1996). *Adaptation and natural selection: a critique of some current evolutionary thought*, Princeton Univ Pr.

Wilson, D. S. (1997). "Biological communities as functionally organised units." *Ecology* 78: 2018-2024.

Wilson, E. O. (1973). "Group selection and its significance for ecology." *BioScience*: 631-638.

Wimsatt, W. (1981). "Robustness, reliability and overdetermination." reprinted in Wimsatt 2007."

Wimsatt, W. (1997). "Aggregativity: reductive heuristics for finding emergence." *Philosophy of Science* 64: 372-384.

Wimsatt, W. (2006). "Aggregate, composed, and evolved systems: Reductionistic heuristics as means to more holistic theories." *Biology and Philosophy* 21(5): 667-702.

Wimsatt, W. (2007). *Re-engineering philosophy for limited beings: piecewise approximations to reality*, Harvard Univ Pr.

Woodward, J. (2001). "Law and explanation in biology: Invariance is the kind of stability that matters." *Philosophy of Science* 68(1): 1-20.

Woodward, J. (2002). "What Is a Mechanism? A Counterfactual Account." *Philosophy of Science* 69: 2366-s2377.

Woodward, J. (2003). *Making things happen : a theory of causal explanation*. Oxford, Oxford University Press.

Woodward, J. (2004). "Counterfactuals and causal explanation." *International Studies in the Philosophy of Science* 18(1): 41-72.

Woodward, J. (2006). "Some varieties of robustness." *Journal of Economic Methodology* 13(2): 219-240.

Woodward, J. (2010). "Causation in biology: stability, specificity, and the choice of levels of explanation." *Biology and Philosophy*: 1-32.

Woodward, J. and C. Hitchcock (2003). "Explanatory generalizations, Part I: A counterfactual account." *Noûs* 37(1): 1-24.

Yarrow, M. M. and S. N. Salthe (2008). "Ecological boundaries in the context of hierarchy theory." *BioSystems* 92(3): 233-244.

Zenetos, A., D. Koutsoubas, et al. (2005). "Origin and vectors of introduction of exotic molluscs in Greek Waters." *Belgian journal of zoology* 135(2): 279.