

Université de Montréal

Sur le problème de l'intégration en philosophie de  
l'interdisciplinarité : une proposition informée par la  
philosophie de la biologie

par

**Kevin Kaiser**

Département de philosophie  
Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales  
en vue de l'obtention du grade de  
Maître ès arts (M.A.)  
en Philosophie

1 mai 2019

# Université de Montréal

Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé

## Sur le problème de l'intégration en philosophie de l'interdisciplinarité : une proposition informée par la philosophie de la biologie

présenté par

**Kevin Kaiser**

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

*Jean-Pierre Marquis*

---

(président-rapporteur)

*Frédéric Bouchard*

---

(directeur de recherche)

*Molly Kao*

---

(membre du jury)

Mémoire accepté le :

*22 juillet 2019*

---

## Résumé

---

La notion d'intégration est vue comme condition nécessaire et suffisante pour caractériser l'interdisciplinarité, son « litmus test » (KLEIN 2017, p. 23) ou sa « *differentia specifica* » (SCHMIDT 2008, p. 55). Or, ce concept est imprécis sur ce qui est intégré (*quoi ?*) et par quel processus (*comment ?*). L'imprécision des modalités de l'intégration est le « talon d'Achille de l'interdisciplinarité » (REPKO 2007, p. 7). Répondant à l'« Appel pour une philosophie de l'interdisciplinarité » (MÄKI 2016, p. 329), ce mémoire tente d'informer la philosophie de l'interdisciplinarité sur cette question à l'aide des travaux en philosophie de la biologie. Dans le premier chapitre sont explorées les raisons qui justifient la recherche d'outils conceptuels en philosophie de la biologie après avoir défini la philosophie de l'interdisciplinarité et son objet. Dans le second chapitre, l'éventail des outils conceptuels que la philosophie de la biologie peut offrir est présenté, i.e. les modèles d'intégration néomécanistes (CRAVER et DARDEN 2013), par unité coordonnée (POTOCHNIK 2011 ; POTOCHNIK 2017), et interchamps (O'MALLEY et SOYER 2012). Dans le troisième chapitre, les outils conceptuels identifiés sont évalués à la lumière des besoins de la philosophie de l'interdisciplinarité pour en sélectionner la proposition la plus apte (i.e. le modèle interchamps de O'MALLEY et SOYER (2012)) et les critiques la visant (i.e. NATHAN (2015)) sont montrées injustifiées. En conclusion, il est rapporté que la réponse offerte aux critiques a pour effet collatéral de suggérer un nouveau modèle hybride conjoignant la normativité de la pertinence explicative (NATHAN 2015) et la capacité descriptive des modèles interchamps (O'MALLEY et SOYER 2012). Il en résulte la nécessité d'une exploration empirique de la question de la justification de l'intégration, question dépassant les outils de la philosophie traditionnelle et le cadre du présent mémoire.

MOTS-CLÉS : philosophie des sciences, philosophie de l'interdisciplinarité, philosophie de la biologie, intégration, néomécanisme, unité coordonnée, théorie interchamps.

# Abstract

---

The notion of integration is seen as a necessary and sufficient condition to characterize interdisciplinary research, its “litmus test” (KLEIN 2017, p. 23) or “differentia specifica” (SCHMIDT 2008, p. 55). However, this concept is imprecise about what is integrated (*what ?*) and by what process (*how ?*). This problem of the imprecision of integration modalities is the “Achilles heel of interdisciplinarity” (REPKO 2007, p. 7). Responding to the “Call for a Philosophy of Interdisciplinarity” (MÄKI 2016, p. 329), this master thesis attempts to inform the philosophy of interdisciplinarity on this issue using the philosophy of biology. In the first chapter, the reasons justifying the search for conceptual tools in the philosophy of biology are explored after defining the philosophy of interdisciplinarity and its object of research. In the second chapter, the range of conceptual tools that the philosophy of biology can offer is presented, i.e. neomechanistic (CRAVER et DARDEN 2013), coordinate unity (POTOCHNIK 2011 ; POTOCHNIK 2017), interfield (O’MALLEY et SOYER 2012) integration account. In the third chapter, the conceptual tools identified are evaluated in the light of the needs of the philosophy of interdisciplinarity to select the most appropriate proposition (i. e. the interfield model of O’MALLEY et SOYER (2012)) and the criticisms directed at it (i. e. NATHAN (2015)) are shown to be unjustified. In conclusion, it is reported that the response offered to critics has the collateral effect of suggesting a new hybrid model combining the normativity of explanatory relevance (NATHAN 2015) and the descriptive capacity of the interfield model (O’MALLEY et SOYER 2012). As a result, there is a need for an empirical exploration of the question of the motivation for integration, a question that goes beyond the tools of traditional philosophy and this master thesis.

KEYWORDS : philosophy of science, philosophy of interdisciplinarity, philosophy of biology, integration, neomechanism, coordinate unity, interfield theory.

# Table des matières

---

<b>Résumé</b> .....	iii
<b>Abstract</b> .....	iv
<b>Liste des tableaux</b> .....	vii
<b>Table des figures</b> .....	viii
<b>Remerciements</b> .....	x
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre 1. Le problème de l'intégration</b> .....	9
1.1. Philosophie des sciences et de l'interdisciplinarité.....	10
1.1.1. Philosophie Générale des sciences (GPoS) et des sciences particulières.....	10
1.1.2. Philosophie <i>de</i> et <i>comme</i> interdisciplinarité .....	13
1.1.3. L'interdisciplinarité comme objet de recherche philosophique.....	19
1.1.4. Résumé.....	26
1.2. Interdisciplinarité et intégration .....	26
1.2.1. Définitions.....	26
1.2.2. Problématiques des modalités de l'intégration ( <i>quoi ? et comment ?</i> ) .....	35
1.2.3. Résumé.....	42
1.3. Intégration et philosophie de la biologie .....	42
1.3.1. Les trois justifications.....	42
1.3.2. Résumé.....	49
<b>Chapitre 2. Familles de Modèles d'intégration en philosophie de la biologie</b> .....	51
2.1. Modèles d'intégration néomécanistes .....	53

2.1.1.	Modèles d'intégration néomécanistes : cadre.....	53
2.1.2.	Modèles d'intégration néomécanistes : types d'intégration .....	66
2.1.3.	Résumé.....	74
2.2.	Modèles d'intégration par unité coordonnée .....	75
2.2.1.	Modèles d'intégration par unité coordonnée : cadre.....	75
2.2.2.	Modèles d'intégration par unité coordonnée : types d'intégration .....	83
2.2.3.	Résumé.....	100
2.3.	Modèles d'intégration interchamps .....	101
2.3.1.	Modèles d'intégration interchamps : cadre.....	101
2.3.2.	Modèles d'intégration interchamps : types d'intégration .....	107
2.3.3.	Résumé.....	121
<b>Chapitre 3.</b>	<b>Un modèle d'intégration généralisable : <i>survival of the fittest</i> .....</b>	<b>123</b>
3.1.	Sélection d'un modèle généralisable.....	124
3.1.1.	Élaboration d'un environnement sélectif.....	124
3.1.2.	<i>Fitness</i> des différentes familles de modèles d'intégration .....	127
3.1.3.	Résumé.....	134
3.2.	Deux modèles d'intégration rivaux .....	135
3.2.1.	<i>Contra</i> O'MALLEY et SOYER (2012).....	135
3.2.2.	La proposition de NATHAN (2015) .....	138
3.2.3.	<i>Contra</i> NATHAN (2015).....	143
3.2.4.	Résumé.....	152
<b>Conclusion</b>	.....	<b>153</b>
3.3.	Résumé du raisonnement général .....	153
3.4.	Le problème des deux modèles .....	159
<b>Bibliographie</b>	.....	<b>164</b>
<b>Annexe A.</b>	<b>Formalisation de la proposition de O'MALLEY et SOYER (2012).....</b>	<b>A-i</b>

## Liste des tableaux

---

- 2.1 Trois principales familles de modèles d'intégration en philosophie de la biologie déclinées en fonction des modalités de l'intégration (*quoi ?* et *comment ?*)..... 53
- 3.1 Résultats de l'évaluation des capacités analytiques de trois familles de modèles de l'intégration développés en philosophie de la biologie présentés selon les différences de cardinalité dans leur sous-ensemble analysable des ensembles théoriques  $I$  et  $R$  tel que définis par les *desiderata* 1 et 2. .... 134

## Table des figures

---

0.1	Résultat d'une requête par mots-clés dans Web of Science (présence de « interdisciplinarity » OU « interdisciplinary » dans les sujets [topic]) des articles réalisée le 29 avril 2019.....	4
1.1	Représentation des objets possibles des diverses philosophies des sciences suivant PSILLOS (2014) présentés selon leur degré de généralité et d'abstraction avec, à titre d'étalon, le positionnement de la biologie, de la biochimie, de la théorie générale des systèmes et de l'interdisciplinarité. ....	14
1.2	Représentation des dix étapes du modèle intégré du processus de recherche interdisciplinaire (IRP) (figure tirée de REPKO (2006, p. 23) repris dans REPKO et SZOSTAK (2016, p. 78)).....	36
2.1	Trois types de relation (le produit, le sous-tend ou le maintient) que peut entretenir un mécanisme avec un phénomène (figure tirée de CRAVER et DARDEN (2013, p. 66)).....	55
2.2	Diagramme représentant le dogme central de la biologie moléculaire tel que rapporté par Watson (tiré de MACHAMER et al. (2000, p. 16)).....	62
2.3	Différents niveaux du mécanisme d'apprentissage et de mémoire (tiré de CRAVER et DARDEN (2013, p. 171)).....	70
2.4	Différents sous-mécanismes connectés de façon sérielle du mécanisme de l'hérédité (tiré de CRAVER et DARDEN (2013, p. 174). ....	72
2.5	Exemples de raisons motivant l'utilisation des idéalizations catégorisées en fonction du statut temporel (temporaire, permanente) et de la motivation principale	



	(accommoder la complexité du monde, accommoder les intérêts des scientifiques) (tiré de POTOCHNIK (2017, p. 48)).....	82
2.6	Illustration du test <i>cis-trans</i> tel que conçu par BENZER (1957) pour identifier les cistrons (tiré de KITCHER (1982, p. 352-353)). .....	91
2.7	Matrice des gains hypothétiques pour un couple d'oiseaux (un mâle et une femelle) en fonction des tâches ( <i>garder le nid</i> et <i>récolter des vers</i> ) nécessaire dans l'entretien d'un nid contenant des oisillons (figure tirée de ROUGHGARDEN (2009, p. 144))..	96
2.8	Diagramme du mouvement des rôles au sein d'un jeu d'équipe coopératif pour un couple d'oiseaux (un mâle et une femelle) en fonction des tâches ( <i>garder le nid</i> et <i>récolter des vers</i> ) nécessaires dans l'entretien d'un nid contenant des oisillons (figure tirée de ROUGHGARDEN (2009, p. 156)).....	97
2.9	Matrice des gains hypothétiques pour un couple d'oiseaux (un mâle et une femelle), tout deux homozygotes pour l'allèle A2 produisant phénotype plus grand, en fonction des tâches ( <i>garder le nid</i> et <i>récolter des vers</i> ) nécessaire dans l'entretien d'un nid contenant des oisillons (figure tirée de ROUGHGARDEN (2009, p. 166))..	99
3.1	Portrait de la science pour un cas idéalisé où la totalité des disciplines scientifiques $D$ se réduirait à la physique, chimie et la biologie et où ces dernières n'auraient pour contenu conceptuel qu'un <i>methodus m</i> , un <i>datum d</i> et un <i>explanans e</i> . ....	126
3.2	Représentations des ensembles $D$ , contenant la totalité des disciplines, et $I$ , contenant la totalité des combinaisons possibles entre les disciplines distinctes de $D$ , pour un cas idéalisé où la totalité des disciplines scientifiques $D$ se réduirait à la physique, chimie et la biologie. ....	126
3.3	Représentations des ensembles <i>Physique'</i> et <i>Biologie'</i> , i.e. représentations conceptuelles de la physique et de la biologie, <i>k-Physique'</i> et <i>k-Biologie'</i> , i.e. $\mathbb{P}(\text{Physique}') \setminus \emptyset$ et $\mathbb{P}(\text{Biologie}') \setminus \emptyset$ , et $R$ , i.e. le produit cartésien de <i>k-Physique'</i> et <i>k-Biologie'</i> , dans le cas idéalisé où le contenu des disciplines se réduit à un <i>methodus m</i> , un <i>datum d</i> et un <i>explanans e</i> .....	127

# Remerciements

---

Plusieurs personnes ont eu une influence causale de plus ou moins grande ampleur sur le présent mémoire, et ce, à différents moments. Celles-ci seront rapportées de façon indifférenciée pour des raisons de concision, en ordre alphabétique, selon leur rôle.

## *Direction*

- David Montminy (Assistance direction) - Frédéric Bouchard (Directeur) -

## *Commentaires et suggestions sur le projet de recherche*

- Anda Danciu - Anne-Marie Gagné-Julien - Céline Riverin - David Montminy - Feng Guo - François Papale - Simon Goyer - Sophie Bretagnolle - Sophia Rousseau-Mermans - *et autres membres du Laboratoire étudiant interuniversitaire en philosophie des sciences (LEIPS)* -

## *Collègues de rédaction*

- Audrey Paquet - Hubert Hamel-Lapointe - Jérôme Simard -

## *Source de financement via salariat*

- Alexandre Beaudoin - Luc Surprenant - Stéphane Béranger - *et autres personnes de l'équipe de l'Unité du Développement Durable* -

## *Motivation à quitter la biologie pour la philosophie*

- Karine Lemarchand - Richard Cloutier -

# Introduction

---

En effet, les divisions que nous établissons entre nos sciences, sans être arbitraires, comme quelques-uns le croient, sont essentiellement artificielles. En réalité, le sujet de toutes nos recherches est un ; nous ne le partageons que dans la vue de séparer les difficultés pour les mieux résoudre. Il en résulte plus d'une fois que, contrairement à nos répartitions classiques, des questions importantes exigeraient une certaine combinaison de plusieurs points de vue spéciaux, qui ne peut guère avoir lieu dans la constitution actuelle du monde savant ; ce qui expose à laisser ces problèmes sans solution beaucoup plus longtemps qu'il ne serait nécessaire.

---

Auguste Comte, *Cours de philosophie positive* (1830, 1ère leçon)

Trois types de recherche philosophique sont grossièrement compris sous l'appellation *philosophie de la biologie* suivant l'entrée « philosophy of biology » de la *Stanford Encyclopedia of Philosophy*<sup>1</sup> :

« [p]remièrement, les thèses générales en philosophie des sciences sont traitées dans le contexte de la biologie. Deuxièmement, les énigmes conceptuelles de la biologie elle-même sont soumises à une analyse philosophique. Troisièmement, on fait appel à la biologie dans les discussions sur les questions philosophiques traditionnelles. » (GRIFFITHS 2018)

Sur la première acception, les débats ayant portés sur la validité du modèle de réduction des théories des empiristes logiques, viz. NAGEL (1961), en sont un exemple paradigmatique. En effet, l'échec des tentatives de conceptualisation du passage de la génétique mendélienne à la génétique moléculaire en termes de réduction théorique est rapporté par GRIFFITHS (2018) comme ayant « renforcé le quasi-consensus des années 1970 et 1980 selon lequel les

---

1. <https://plato.stanford.edu/>.

sciences spéciales sont autonomes par rapport aux sciences plus fondamentales (FODOR 1974 ; KITCHER 1984) »<sup>2</sup>.

Sur la seconde acception, les problèmes rencontrés par le concept clé de valeur adaptative [fitness] au sein des théories de l'évolution sont rapportés en exemple. Il est rapporté qu'

« [i]l s'est avéré étonnamment difficile pour les biologistes d'éviter la critique selon laquelle "[s]i nous essayons de faire des lois de l'évolution au sens strict, nous semblons les réduire à des tautologies. Supposons donc que nous disions que même dans la galaxie d'Andromède 'le plus apte survivra', nous ne disons rien, car le 'plus apte' doit être défini en termes de 'survie' » (SMART 1959, p. 366). » (GRIFFITHS 2018)

De nombreux philosophes ont tenté de résoudre cette problématique conceptuelle en biologie dès le début des années 1970<sup>3</sup>.

Sur la troisième acception, l'usage de la biologie comme inspiration pour la philosophie traditionnelle est illustré par l'exemple de la téléologie biologique. En effet, à la lumière du développement de la synthèse moderne de l'évolution, l'usage non problématique d'un langage téléologique dans cette branche à inciter la révision de la conceptualisation de cette notion en philosophie. Une résultante de cela se trouve dans le fait que « [l]'idée de fonction 'étiologique' ou 'propre' fait désormais partie de la boîte d'outils conceptuels de la philosophie en général et, en particulier, de la philosophie du langage et de la philosophie de l'esprit » (GRIFFITHS 2018)<sup>4</sup>.

Le présent mémoire s'inscrit sous la première acception de la philosophie de la biologie. En effet, il sera tenté ici de jeter un éclairage philosophique sur un type de pratique scientifique actuel, du moins étant qualifié comme tel, : la recherche dite *interdisciplinaire* aussi compris sous l'appellation d'*interdisciplinarité*.

Préciser ce à quoi réfère ce type de pratique scientifique est une tâche en soi. En effet,

« [t]oute tentative de comprendre le concept d'interdisciplinarité est compliquée par une différence d'opinion considérable sur son origine. Pour certains, il est assez ancien, enraciné dans les idées de Platon, Aristote, Rabelais, Kant, Hegel,

---

2. Pour un exposé du contexte dans lequel s'inscrit ce débat de cette branche de la philosophie de la biologie, voir BOYD et al. (1991).

3. Pour un exposé large des travaux dans cette branche de la philosophie de la biologie de même que sur cette problématique, voir SOBER (2006).

4. Pour un exposé des travaux récents dans cette branche de la philosophie de la biologie, aussi appelée « biophilosophie », voir SMITH (2016).

et d'autres personnages historiques qui ont été décrits comme des "penseurs interdisciplinaires". Pour d'autres, il s'agit entièrement d'un phénomène du 20e siècle, enraciné dans les réformes éducatives modernes, la recherche appliquée et les mouvements traversant les frontières disciplinaires. » (KLEIN 1990, p. 19)

Dans le présent mémoire, le groupe de phénomène d'intérêt sera celui couvert par la deuxième interprétation de l'interdisciplinarité, i.e. celle-ci comme phénomène en science typiquement du 20e siècle<sup>5</sup>. Suivant cette interprétation, il est possible de positionner temporellement le début de l'institutionnalisation de l'interdisciplinarité en la conférence organisée par l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) tenue en 1970 et portant sur les problèmes de l'enseignement et la recherche interdisciplinaire dans les universités. La raison est que cette conférence est reconnue comme ayant eu « la plus grande influence sur la façon dont le concept est actuellement défini » KLEIN (1990, p. 36), i.e. sur l'ensemble de phénomènes faisant parti de l'extension du concept<sup>67</sup>.

Cette pratique scientifique, dont la popularité est grandissante en science (HVIDTFELT 2018) et dont la reconnaissance institutionnelle est en croissance (SZOSTAK et al. 2016), a reçu peu d'attention en philosophie des sciences amenant même certains philosophes à soutenir ce qu'ils nomment un *Appel pour une philosophie de l'interdisciplinarité* (MÄKI 2016). À titre d'exemple, une requête à l'aide des mots-clés « interdisciplinarity » et « interdisciplinary » dans les sujets [topic] des articles indexés dans la base de *data* Web of Science révèle un total de 4 156 entrées montrant une augmentation du nombre de publications à partir de 2007 (figure 0.1)<sup>89</sup>. Or, l'intérêt pour l'étude de l'interdisciplinarité reste modeste en philosophie (des sciences). À titre indicatif, une recherche du mot-clé « Philosophy of interdisciplinarity » dans les outils de référencement les plus communs révèle peu de sorties (Web

---

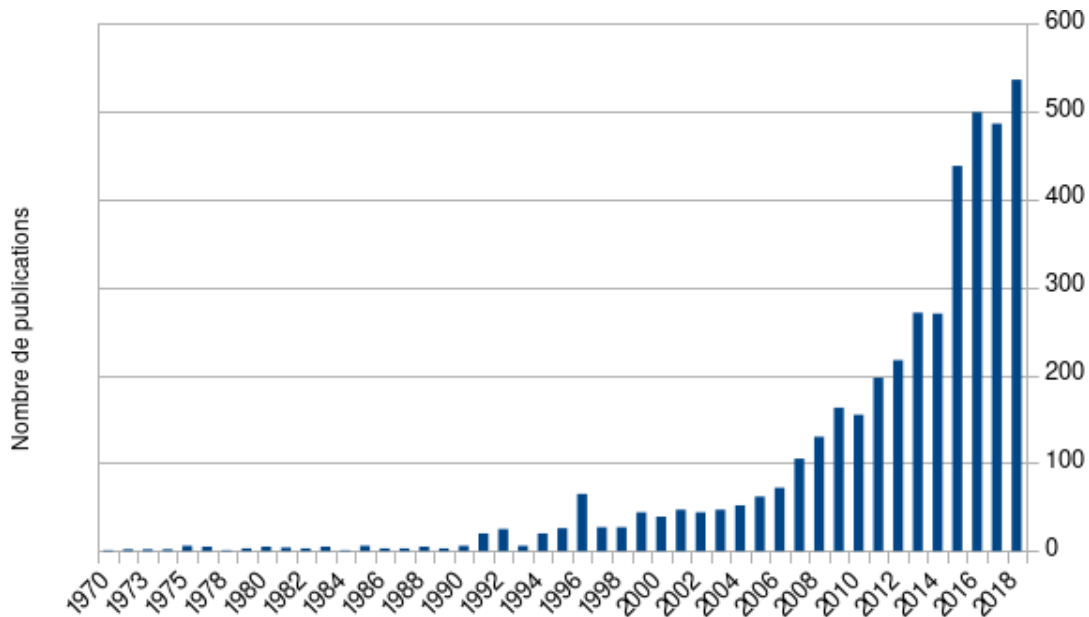
5. Le point ici de pas de prendre position sur l'interprétation adéquate, mais plutôt de clarifier l'objet d'intérêt ici.

6. Une transcription des discussions lors de cette conférence est trouvée dans APOSTEL (1972).

7. Pour une exposition détaillée des différents moments clés du développement de l'interdisciplinarité dans les universités, mais aussi dans la société en général, voir KLEIN (1990, chapitre 1).

8. Ces informations tirées de Web of Science (<https://www.webofknowledge.com/>) ne sont offertes qu'à titre indicatif ne faisant nullement office d'analyse exhaustive. En effet, ces résultats doivent être considérés dans les limites de cet outil et la superficialité de la requête effectuée. Pour plus de détails sur les limites intrinsèques à la base de *data* de Web of Science, voir LARIVIÈRE et al. (2018, chapitre 2).

9. Les deux autres bases de *data* principales, i.e. Google scholar et Scopus (LARIVIÈRE et al. 2018), ont été laissées de côté pour des raisons pratiques. Pour la première, la nécessité de logiciels ou extensions de navigateur auxiliaires de même de la faible qualité de celle-ci à motiver le fait de laissé de côté la base de *data* de Google scholar. Pour la seconde, les limites d'accessibilité ont motivé le fait de laisser de côté la base de *data* de Scopus.



**FIGURE 0.1.** Résultat d’une requête par mots-clés dans Web of Science (présence de « interdisciplinarity » OU « interdisciplinary » dans les sujets [topic]) des articles réalisée le 29 avril 2019.

of Science : 4 sorties ; et Google scholar : 217 sorties, incluant beaucoup de faux positifs). Par contre, les appels pour le développement de cette branche sont nombreux. Par exemple, SCHMIDT (2008) mentionne qu’« [i]l semble qu’une *philosophie des sciences minimale* soit la condition préalable pour comprendre (et probablement promouvoir) l’“interdisciplinarité” » (p. 66) tout en concluant que, cependant, « une philosophie de l’interdisciplinarité reste un desideratum » (p. 66). De même, plus récemment, l’article de MÄKI (2016), prenant la forme d’un *manifeste*, est explicitement « *un appel à une recherche collective systématique portant sur les aspects philosophiques de l’interdisciplinarité en science* » (p. 328). Ces appels s’inscrivent de façon explicite dans une perspective de philosophie des sciences. À titre d’exemple, MÄKI (2016) mentionne que

« contrairement à d’autres énoncés programmatiques pour une philosophie de l’interdisciplinarité (e.g. FRODEMAN (2014)), ma proposition est d’élaborer une [philosophie de l’interdisciplinarité] qui s’inscrit dans le cadre de l’agenda conventionnel de la philosophie des sciences. »<sup>10</sup> (MÄKI 2016, p. 329)

10. Ce dernier identifie quelques travaux en ce sens qui méritent d’être rapportés intégralement : « [l]’étude de l’interdisciplinarité sous l’angle de la philosophie de la science est à l’ordre du jour du TINT depuis 2006 (voir <http://www.helsinki.fi/tint>). Plusieurs ateliers et conférences ont été organisés et de nombreux articles ont été publiés dans des numéros spéciaux de revues telles que *Biology and Philosophy* (WEISBERG et al. 2011), *Perspectives on Science* (MORGAN et GRÜNE-YANOFF 2013), *Studies in History and Philosophy*

L'argument sous-jacent à cet appel, pour une augmentation de l'attention portée à l'interdisciplinarité en philosophie des sciences, est le suivant :

**Argument 1 : Nécessité d'une philosophie de l'interdisciplinarité en philosophie des sciences**

- (1) « Il fait partie de l'agenda de la philosophie de la science qu'elle devrait être informée à propos, et devrait produire de l'information à propos, des caractéristiques majeures de la science contemporaine[;]
- (2) L'interdisciplinarité joue un rôle de plus en plus central dans la recherche scientifique contemporaine et sa gouvernance[;]
- (∴) La Philosophie des sciences devrait répondre à l'Appel pour une [philosophie de l'interdisciplinarité]. » <sup>11</sup> (MÄKI 2016, p. 329)

C'est en réponse à cet *Appel* qu'il sera tenté dans le présent mémoire de jeter un regard nouveau sur une problématique conceptuel largement reconnue en philosophie de l'interdisciplinarité, i.e. la problématique de l'imprécision des modalités (*quoi?* et *comment?*) de l'intégration en recherche interdisciplinaire. En effet, bien que l'intégration soit qualifiée de « litmus test » de l'interdisciplinarité (KLEIN 2017, p. 23) ou *differentia specifica* (SCHMIDT 2008, p. 55), cette problématique est vue comme son « talon d'Achille » (REPKO 2007, p. 7). Pour ce faire, il sera tenté d'informer la philosophie de l'interdisciplinarité sur cette problématique à l'aide d'apports conceptuels provenant de la philosophie de la biologie.

Pour résumer ce *desideratum* exposé ci-haut, il est possible de le reformuler en la question suivante, qui servira de cadre érotétique pour le présent mémoire, :

La philosophie de la biologie peut-elle servir de source dans l'élaboration d'une *boîte à outils conceptuels* destinée au philosophe de l'interdisciplinarité sur la question de l'intégration ?

Ce questionnement général peut être subdivisé en trois questionnements distincts. Premièrement, quelles sont les raisons qui justifient la recherche d'outils conceptuels pour le philosophe de l'interdisciplinarité en philosophie de la biologie? Deuxièmement, quel est

---

of Science (GRÜNE-YANOFF et MÄKI 2014). D'autres activités similaires comprennent un numéro spécial de Synthèse (HOFFMANN et al. 2013) » (MÄKI 2016, note de bas de page 1, p. 329).

11. Ce type de distorsion entre l'importance d'une branche des sciences et l'attention philosophique qui y est portée est commune en philosophie des sciences. Pour une exemplification détaillée dans le cas de la relation entre biologie et philosophie de la biologie de même que des hypothèses pour expliquer cette distorsion, voir PRADEU (2017).

l'éventail des outils conceptuels que la philosophie de la biologie pourrait offrir au philosophe de l'interdisciplinarité? Troisièmement, si de tels outils existent, y en a-t-il qui sont supérieurs aux autres considérant les besoins conceptuels du philosophe de l'interdisciplinarité?

Pour répondre à ces questions, la séquence suivante sera suivie.

Dans le chapitre 1 sera exploré le rapport entre philosophie des sciences, philosophie de l'interdisciplinarité et philosophie de la biologie. Deux objectifs sont poursuivis dans ce chapitre. D'une part, présenter comment la philosophie de l'interdisciplinarité s'inscrit en philosophie des sciences. D'autre part, d'établir un lien entre philosophie de l'interdisciplinarité et philosophie de la biologie à travers la notion imprécise d'*intégration*. Pour ce faire, ce chapitre se divisera en trois sections.

La première inscrira la philosophie de l'interdisciplinarité au sein du cadre proposé par PSILLOS (2012) et PSILLOS (2014) comme une forme de philosophie des sciences-en-générale dont l'objet est l'interdisciplinarité. Cela permettra, d'une part, de détailler ce qui est entendu par *philosophie de l'interdisciplinarité*, d'une perspective de philosophie des sciences, en s'appuyant principalement sur les travaux de SCHMIDT (2008) et MÄKI (2016); et, d'autre part, de détailler son objet de recherche, l'interdisciplinarité.

La seconde précisera les termes liés au lexicon de l'interdisciplinarité. Le spectre des différentes définitions de l'*interdisciplinarité* sera introduit en précisant les limites extrêmes soit les définitions dites pluralistes (e.g. SCHMIDT (2008)) et les définitions dites monistes (e.g. MÄKI (2016)). Une définition plus sophistiquée, tirée d'un manuel d'apprentissage [text-book], sera aussi introduite (i.e. REPKO et SZOSTAK (2016)). Cela permettra d'introduire la problématique de l'*imprécision sur les modalités d'intégration (quoi? et comment?)*, problématique connue, mais pour laquelle même les propositions sophistiquées peuvent difficilement répondre.

La troisième introduira le lien possible entre la philosophie de l'interdisciplinarité et la philosophie de la biologie en l'utilisation de la seconde comme intrant potentiel d'outils conceptuels pour la première. En effet, diverses raisons seront présentées pour soutenir que la mobilisation des ressources de la philosophie de la biologie est justifiée dans une perspective



de résolution de la problématique d'imprécision des modalités d'intégration, i.e. la similarité entre les objets d'études ; la présence de modèles variés et sophistiqués conceptualisant l'intégration ; et la présence de nombreux cas d'étude diversifiés.

Dans le chapitre 2 seront présentées les différentes familles de modèles d'intégration ayant été développées en philosophie de la biologie. L'objectif poursuivi dans ce chapitre sera, à travers l'exposition de ces diverses propositions, d'exposer clairement les modalités de l'intégration sous-jacentes, le *quoi ?* et le *comment ?* de celles-ci. Pour ce faire, ce chapitre se divisera en trois sections, chacune s'attardant à une famille de modèles particulière.

La famille de modèles *néomécaniste* conçoit l'intégration à travers un cadre purement mécaniste. En effet, s'appuyant sur les travaux de MACHAMER et al. (2000) et CRAVER et DARDEN (2013), ces derniers se concentrent sur les explications mécanistiques et leur utilisation dans la construction de schèmes mécanistiques pour représenter les phénomènes. Ainsi, l'intégration y est mécanistique et peut être divisée en trois types distincts : l'intégration intraniveau ; l'intégration interniveau ; et l'intégration intertemporelle (séquentielle et continue). En ce sens, l'intégration concerne des explications mécanistiques (*quoi ?*) et se fait par la construction de schèmes (ou esquisse) mécanistiques (*comment ?*).

La famille de modèles par *unité coordonnée* conçoit l'intégration à travers un cadre *causal*. En effet, s'inspirant des travaux de Neurath et développés par POTOCHNIK (2011) et POTOCHNIK (2017), ces derniers se concentrent sur les explications *causales* et leur utilisation, conjointement aux idéalizations, dans la découverte de patrons causaux. Ainsi, l'intégration consiste en la collaboration dans la recherche de ces patrons, et ce, de trois façons distinctes : la collaboration dans le tri des interactions causales ; la collaboration dans le dépassement des différences entre les champs de recherche ; et la collaboration dans le développement de représentations intégrées. En ce sens, l'intégration concerne des explications causales (*quoi ?*) et se fait par la collaboration dans la recherche de patrons causaux (*comment ?*).

La famille de modèles *interchamps* conçoit l'intégration à travers un cadre centré sur l'analyse des champs de recherche. En effet, s'appuyant sur les travaux de DARDEN et MAULL (1977) et MAULL (1977) et, plus récemment, O'MALLEY et SOYER (2012), ces derniers se concentrent sur les champs de recherche, leur contenu conceptuels et les relations entre les champs de recherche dans la conceptualisation des sciences. Ainsi, l'intégration est réalisée par l'établissement d'interconnexion entre des champs de recherche, i.e. la combinaison

de leurs éléments (e.g. *methodi, data, explanans*), dans l'étude d'une question et peut être divisée en trois types distincts : l'intégration méthodologique ; l'intégration des *data* ; et l'intégration explicative. En ce sens, l'intégration concerne les éléments des champs de recherche (*quoi ?*) et se fait par la combinaison d'éléments de champs dans l'exploration d'une question (*comment ?*).

Dans le chapitre 3, la capacité des modèles d'intégrations développés en philosophie de la biologie et introduits dans le chapitre précédent à être exportés en philosophie de l'interdisciplinarité sera explorée. Deux objectifs sont poursuivis dans ce chapitre. D'une part, identifier la famille de modèles la plus apte à répondre aux besoins de philosophie de l'interdisciplinarité. D'autre part, examiner les propositions en compétition dans cette famille pour en identifier la plus apte à être exporté et l'amendé, si nécessaire, à la lumière des critiques formulées contre elle. Pour ce faire, ce chapitre se divisera en deux sections.

Dans la première, un environnement sélectif sera développée en s'inspirant des besoins conceptuels présumés de la philosophie de l'interdisciplinarité concernant une modèle génération de l'intégration. Celui-ci permettra l'examen des différentes propositions tirées de la philosophie de la biologie et la sélection du meilleur modèle à la lumière des critères d'adéquation ainsi établis.

Dans la seconde, les propositions alternatives au modèle type identifié seront rapportées et les critiques formulées à l'encontre de celui-ci seront examinées. Une réponse *forte* sera offerte à celles-ci pour éviter que les problématiques soulevées contre le modèle d'intégration ne puissent, ultérieurement, resurgir, i.e. ces critiques seront utilisées pour consolider le modèle sélectionné.

La conclusion servira, quant à elle, de récapitulatif des étapes parcourues (ce qui a été accompli) et présentera les perspectives de ce projet (ce qui reste à accomplir).

# Chapitre 1

---

## Le problème de l'intégration

“That’s a great deal to make one word mean,” Alice said in a thoughtful tone.

“When I make a work do a lot of work like that,” said Humpty Dumpty, “I always pay it extra.”

---

Lewis Carroll, *Alice in Wonderland* (1865), cité par KLEIN (1990, p. 55)

Dans ce chapitre sera présenté le rapport en philosophie des sciences, philosophie de l'interdisciplinarité et philosophie de la biologie.

Pour commencer, la philosophie des sciences sera caractérisée, suivant PSILLOS (2012) et PSILLOS (2014), comme une activité *descriptive* et *critique* d'un objet scientifique (e.g. physique, chimie, biologie). La philosophie de l'interdisciplinarité pourra ainsi être conçue comme une forme de philosophie des sciences dont l'objet est l'interdisciplinarité. Les différentes formes (e.g. interdisciplinarité instrumentale et critique) de cet objet seront développées de même que leurs éléments communs, i.e. leurs postulats, théories et leur engagement envers un pluralisme épistémologique.

Ensuite, le lexicon particulier lié à l'interdisciplinarité sera précisé de même que les concepts associés. Diverses définitions seront, pour ce faire, introduites. Les limites définitionnelles que sont les définitions pluralistes (e.g. SCHMIDT (2008)) et monistes (e.g. MÄKI (2016)) serviront préciser le spectre des définitions de l'interdisciplinarité. Une définition de type [textbook] plus sophistiquée (REPKO et SZOSTAK 2016) pourra, alors, être introduite. Cette exposition permettra la présentation de la problématique de l'*imprécision sur les modalités d'intégration* (*quoi ? et comment ?*). Cette dernière sera montrée comme toujours problématique pour la proposition de REPKO et SZOSTAK (2016).

Enfin, trois raisons seront offertes pour justifier l'utilisation de la philosophie de la biologie comme source d'outils conceptuels pour la philosophie de l'interdisciplinarité établissant ainsi le lien entre ces deux branches. En effet, il apparaît que (1) la similarité entre les objets d'études ; (2) la présence de modèles variés et sophistiqués conceptualisant l'intégration ; et (3) la présence de nombreux cas d'étude diversifiés permettent de justifier cet export.

## 1.1. Philosophie des sciences et de l'interdisciplinarité

### 1.1.1. Philosophie Générale des sciences (GPoS) et des sciences particulières

Il est utile, pour situer la philosophie de l'interdisciplinarité, de préciser la branche plus large dans lequel celle-ci s'insère. En ce sens, il est nécessaire de brièvement définir la philosophie des sciences. Considérant, la complexité de la tâche que représente le fait de dresser un portrait général de la philosophie des sciences<sup>1</sup>, la présente formulation se calquera simplement sur l'interprétation de PSILLOS (2014), cette dernière ayant pour avantage d'explicitier les liens entre *philosophie générale des sciences* et *philosophies des différentes sciences*, e.g. philosophie de la physique, philosophie de la chimie, philosophie de la biologie, ce qui permettra de mieux situer la philosophie de l'interdisciplinarité.

Introduisant la *Philosophie Générale des sciences* (GPoS)<sup>2</sup>, PSILLOS (2014) mentionne que :

« [l]a philosophie générale des sciences (GPoS) est la partie de l'espace conceptuel où la philosophie et la science se rencontrent et interagissent[, ...] il s'agit de l'espace dans lequel l'image scientifique du monde est synthétisée et dans lequel la structure générale et abstraite de la science devient l'objet d'investigations théoriques. » (PSILLOS 2014, p. 137)

La GPoS vise à remplir « deux fonctions différentes, mais liées, et a besoin des deux pour son fonctionnement » (PSILLOS 2014, p. 143). La première est dite *explicative* au sens où « elle vise à expliquer (i.e. à rendre plus précis et plus définis) les différents concepts employés par les différentes sciences —et donc à préciser leur contenu commun de même que

---

1. À titre d'exemple, il est d'intérêt de noter que les deux principales ressources introductives en philosophie, i.e. la *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (consulté au <https://plato.stanford.edu/> le 26/03/2019) et l'*Internet Encyclopedia of Philosophy* (consulté au <https://www.iep.utm.edu/> le 26/03/2019) n'ont pas d'entrée spécifique pour *philosophy of science*.

2. Acronyme de la formulation anglaise *General Philosophy of Science* utilisé par PSILLOS (2014). Celle-ci sera reprise ici pour une question de continuité terminologique.

leurs différences et relations » (PSILLOS 2014, p. 143). La seconde est dite *critique* au sens où « elle vise à critiquer (au sens kantien de porter des jugements sur) les différentes conceptions de la science ainsi que les différentes manières de présenter la science, ses méthodes et ses objectifs (PSILLOS 2014, p. 143).

De façon précise, PSILLOS (2014) stipule que « l’objet d’étude de la GPoS est la *Science-en-général* » (p. 142). Par cela, il entend une catégorie générale, une *abstraction rationnelle*<sup>3</sup>, « visant à saisir un mode de connaissance du monde, qui est soumis à des déterminations différentes (conceptuelles et historiques), dont certaines sont générales et communes à toutes les sciences, tandis que d’autres sont différentes » (PSILLOS 2014, p. 145).

Ainsi, « leur unité découle de l’identité du sujet (viz. que la science est un mode particulier de connaissance de la nature) et de l’identité de l’objet (viz. la nature elle-même) » (PSILLOS 2014, p. 145). De façon générale, « le tronc commun de la science —ce qui caractérise la Science-en-général *qua* une abstraction— est une forme de connaissance et un ensemble concomitant de pratiques et de méthodes qui visent à atteindre cette forme de connaissance (PSILLOS 2014, p. 145). Plus encore, le rapport entre sciences particulières et Science-en-générale est analogue celui que partage un individu avec son espèce en biologie. Plus précisément,

« on peut très bien penser que les différentes sciences (telles qu’elles ont été réellement et historiquement individualisées) comme ayant des essences historiques. L’idée phare ici serait que ce qui constitue une science est un lien généalogique de théories (et peut-être de pratiques). Les différentes sciences peuvent ainsi être considérées comme les espèces d’un genre : la *Science-en-général*. »<sup>4</sup> (PSILLOS 2012, p. 101)

Le rapport entre GPoS et *Science-en-générale* peut être plus amplement explicité en examinant ce que PSILLOS (2014) appelle les *philosophies de X*, où X correspond à diverses

---

3. PSILLOS (2014) introduit ce terme en utilisant comme analogue le concept de *production en général* de Marx. Celui-ci rapporte la citation suivante : « [l]a *production en général* est une abstraction, mais une abstraction rationnelle dans la mesure où elle fait vraiment ressortir et fixe l’élément commun et nous évite ainsi la répétition. Pourtant, cette catégorie *générale*, cet élément commun trié par comparaison, est elle-même segmentée à de nombreuses reprises et se divise en différentes déterminations. (Marx, 1857-58 ; p. 85 tiré de PSILLOS (2014, p. 144). Pour la citation complète, voir PSILLOS (2014, p. 144).

4. Sur la notion d’essence historique, PSILLOS (2012) la précise ainsi : les essences n’ont pas besoin d’être des ensembles de propriétés intrinsèques ; elles peuvent être historiques en ce sens qu’elles spécifient un lien généalogique tel qu’une certaine entité est un noeud de ce lien. L’essence de l’espèce *est* simplement ce réseau de relations historiquement conditionné entre ses membres. C’est une “unité de descendance” comme le mentionne Charles Darwin » (PSILLOS 2012, p. 100). Voir PSILLOS (2012, section 6) pour une exposition détaillée.

sciences (e.g. physique, biologie, chimie, etc.). Ce passage utilisant la philosophie de la physique comme analogie est particulièrement éclairant :

« [e]n pratique, la physique comprend nombre de champs et disciplines, de la mécanique à la physique à haute-énergie, de la physique des états solides, à la physique chimique, et plusieurs autres. La physique, si une telle chose existe, est un agrégat de sciences et disciplines, suivant l'évolution de celles-ci dans le temps. La philosophie de la physique est la philosophie-de-la-physique-en-général! Et, comme nous le savons tous, il existe plusieurs philosophies de sous-X au sein de la philosophie de X : la philosophie de l'espace-temps, la philosophie de la mécanique quantique, la philosophie de la mécanique statistique ; la philosophie de la théorie des cordes ; et ainsi de suite. La philosophie de la physique, ainsi, se positionne par rapport aux diverses philosophies des sous-disciplines de la physique de la même façon que la GPoS se positionne par rapport aux philosophies des diverses sciences. »<sup>5</sup> (PSILLOS 2014, p. 155)

Deux choses peuvent être notées par rapport à ce passage. D'une part, la GPoS peut être conçue comme une forme de philosophie de X où X correspondrait à la science-en-générale, i.e. toutes les sciences à la fois (e.g. physique, chimie, biologie, etc.) et leurs sous-divisiones (e.g. mécanique statistique, la biologie moléculaire, la chimie organique, etc.). D'autre part, ce passage explicite le rapport entre GPoS et les diverses philosophies de X en un simple rapport de généralité. Par exemple, le rapport entre la GPoS et philosophie de la physique est le même la philosophie de la physique et la philosophie de la mécanique statistique. En ce sens, la différence entre la GPoS et une philosophie de X est qu'une philosophie de X s'attardera de façon plus précise aux idiosyncrasies de X (e.g. l'interprétation des diverses théories de X, les relations entre les sous-disciplines de X), éléments n'étant pas considéré comme la tâche propre de la GPoS<sup>6</sup>. En d'autres termes, ces dernières sont fonctionnellement identiques, mais leurs objets d'études est différent. De façon explicite,

« la philosophie de X (ou la philosophie de X *en général*, comme je voudrais le dire), *qua* philosophie de la science, utilise et explore les ressources conceptuelles de la GPoS. Elle remplit les deux fonctions de la GPoS, l'explicative et la critique, au niveau de X. À bien des égards, il traite des problèmes du GPoS tels qu'ils sont concrétisés dans les sciences individuelles. » (PSILLOS 2014, p. 156)

---

5. Un parallèle similaire est effectué avec la philosophie de la biologie où « [l]a philosophie de la biologie-en-général se positionne par rapport aux philosophies des diverses sous-disciplines biologiques de la même façon que la GPoS se positionne par rapport aux philosophies des diverses sciences (PSILLOS 2014, p. 155).

6. Pour une exposition des tâches de la GPoS, se référer les quatre dimensions de la GPoS PSILLOS (2014, section 4), et pour deux exemples d'enjeux propres à la GPoS, voir PSILLOS (2014, p. 156-158).

Un dernier élément est ici à noter, PSILLOS (2014) mentionne « il n'existe pas de barrière imperméable entre philosophie de X et philosophie de sous-X, tout comme il n'y a pas de barrière imperméable entre la GPoS et les philosophies de X, où X s'étend sur l'ensemble des sciences individuelles » (p. 155)<sup>7</sup>. Il existe en effet des interrelations entre les différentes branches de la philosophie des sciences où « [l]a GPoS et les philosophies des différentes sciences forment un réseau homogène [seamless web] » (PSILLOS 2014, p. 155)<sup>8</sup>.

Pour résumer le portrait des différentes philosophies des sciences, la schématisation suivante peut être offerte. Une philosophie de X a pour double fonction d'expliquer et de critiquer X où X est un objet présent dans la figure 1.1<sup>9</sup>. Par exemple, la GPoS a pour fonction d'expliquer et de critiquer l'objet science-en-général, objet à la fois le plus abstrait et général des sciences<sup>10</sup>.

### 1.1.2. Philosophie *de* et *comme* interdisciplinarité

À la lumière du cadre présenté plus haut, il est possible de positionner la philosophie de l'interdisciplinarité comme une forme de philosophie des sciences dont l'objet d'étude, i.e. l'interdisciplinarité, possède un degré d'abstraction et de généralité très élevé (voir figure 1.1). Comme champ de recherche philosophique, les contours de cette branche naissante de la philosophie des sciences sont difficiles à définir, et même si cela était possible, il est à appréhender que ceux-ci seraient soit flous, soit instables. Ainsi, une caractérisation précise de la philosophie de l'interdisciplinarité présente un défi certain. Par contre, les motivations pour le développement de celle-ci sont nettement plus définies et ont reçu, récemment, un

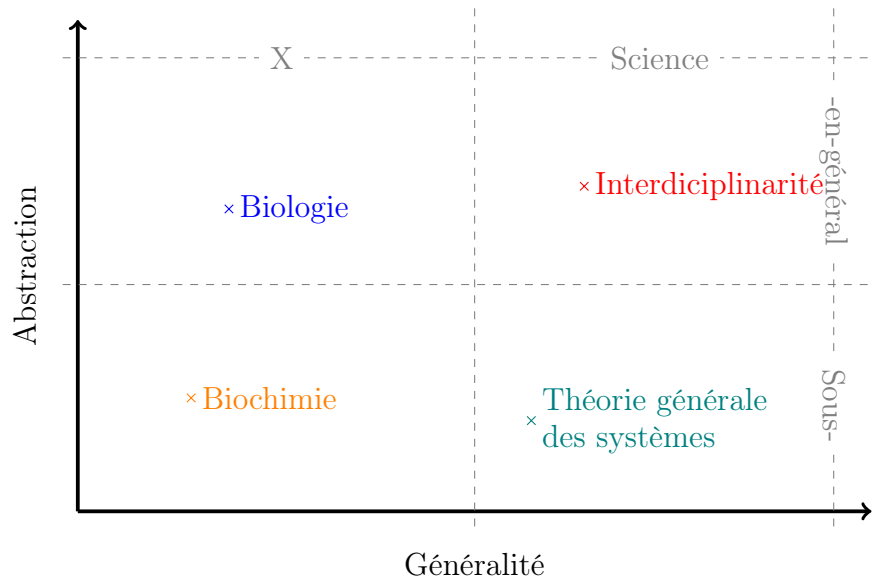
---

7. PSILLOS (2014) mentionne même que « [c]ette perméabilité est renforcée par le fait que des disciplines hybrides sont formées (e.g. la biologie moléculaire ou la biophysique), et, avec eux, il existe un transfert des méthodes, techniques de même que les problèmes conceptuels » (p. 155). En d'autres termes, cette perméabilité est si forte que des interdisciplines peuvent être formées (ont été formées par le passé).

8. Fait intéressant, il semble que l'on puisse déduire de l'interprétation de la philosophie des sciences de PSILLOS (2014) que ce réseau lui-même peut être étendu à toutes les sciences puisque ce dernier n'effectue pas de coupure nette entre une philosophie de X et X. En effet, il mentionne que « [l]a philosophie de X est à bien des égards la fin abstraite et théorique de X lui-même » (PSILLOS 2014, p. 156).

9. La théorie générale des systèmes fait référence à une science générale ayant pour objectif d'offrir une interprétation systémique du monde. Un exposé détaillé peut être trouvé dans POUVREAU (2013), POUVREAU et DRACK (2007), POUVREAU (2014) et DRACK et POUVREAU (2015).

10. Le sens des termes *abstrait* et *général* utilisé ici est celui proposé dans CRAVER et DARDEN (2013). Grossièrement, le degré d'abstraction augmente à mesure que des détails sont laissés de côté, alors que le degré de généralité augmente à mesure que le domaine d'application grossit. Ainsi, la science-en-général est l'objet le moins spécifique et le moins particulier de tous les objets pouvant être placé dans la figure 1.1. Pour plus de détail, partie de la discussion sur le détail et la portée des schèmes mécanistiques présentés dans la section 2.1.1 du chapitre 2 du présent mémoire.



**FIGURE 1.1.** Représentation des objets possibles des diverses philosophies des sciences suivant PSILLOS (2014) présentés selon leur degré de généralité et d'abstraction avec, à titre d'étalon, le positionnement de la biologie, de la biochimie, de la théorie générale des systèmes et de l'interdisciplinarité.

traitement attentif dans le sillage de l'*Appel pour une philosophie de l'interdisciplinarité* de MÄKI (2016).

De façon générale, ce dernier inscrit l'élaboration d'une philosophie de l'interdisciplinarité dans les étapes de développement *naturel* de la philosophie des sciences, simplement un outil pour répondre aux besoins de cette dernière. Pour illustrer son propos, MÄKI (2016) suggère la schématisation *stylisée* suivante de l'histoire de la philosophie des sciences :

« *D'abord* : Philosophie générale de la science (traiter de la science dans son ensemble, ou de la science en général, sans accorder une attention systématique aux spécialités disciplinaires).

*Ensuite* : Philosophies des sciences spéciales (comme la philosophie de la biologie, des sciences cognitives, de l'économie).

*Par la suite* : Philosophie des relations entre ces disciplines scientifiques, c'est-à-dire de l'interdisciplinarité. » (MÄKI 2016, p. 335)

Appliquée grossièrement à une échelle temporelle, le premier stade correspondrait aux développements en philosophie générale des sciences couvrant une bonne partie du 20<sup>e</sup> siècle ; le second couvrirait la période des dernières décennies où l'attention aux sciences spéciales est devenue prédominante ; et le troisième représenterait les décennies à venir. Cette succession de stades ne doit pas être vue comme une nécessité historique, mais plutôt comme un axe



de progression logique où chaque stade crée les conditions favorables au développement du suivant<sup>11</sup>. Ainsi, le fait que plusieurs champs de spécialisation de la philosophie des sciences aient été récemment institutionnalisés (e.g. philosophie de la biologie, philosophie de la chimie, philosophie des sciences cognitives, philosophie de l'économie, philosophie de l'ingénierie, etc.) est vu comme un indicateur que le passage vers le troisième stade de la philosophie des sciences, axée sur l'étude des relations entre disciplines, est l'étape de développement à venir. C'est en ce sens que la philosophie de l'interdisciplinarité s'inscrirait *naturellement* dans l'agenda développementale de la philosophie des sciences en fournissant les outils d'analyses pour ces phénomènes qui seront amenés à devenir le centre d'attention focale.

De nombreux impacts positifs pour la philosophie des sciences sont attendus du développement de la philosophie de l'interdisciplinarité. MÄKI (2016) mentionne les trois conséquences générales suivantes : (a) le portrait de la science contemporaine gagnera en précision, et ce, faisant, le domaine de la philosophie des sciences s'en trouvera élargie<sup>12</sup>; (b) les virages institutionnel et cognitif de la philosophie des sciences seront facilités, i.e. l'étude de la science comme entreprise sociale où les ressources cognitives sont distribuées<sup>13</sup>; et (c) la pertinence de la philosophie des sciences auprès des scientifiques et des décideurs politiques sera promue<sup>14</sup>.

---

11. MÄKI (2016) précise que cette schématisation du développement de la philosophie des sciences « ne doit pas être considérée comme un simple développement linéaire à sens unique. En effet, une fois que les philosophies des sciences spéciales et de l'interdisciplinarité auront suffisamment progressé, le contenu de la philosophie générale des sciences devra être reconsidéré et révisé, en fonction des nouvelles informations plus locales qui auront été produites » (p. 335).

12. « La [philosophie de l'interdisciplinarité] produira plus d'informations, plus à jour et plus précises, sur la science contemporaine en général et sur les pratiques disciplinaires et interdisciplinaires spécifiques en particulier. [...] Porter attention aux parties moins ordonnées et moins rigoureuses, et la plupart du temps infructueuses — et pourtant massives et essentielles — de la pratique scientifique aidera à élargir le domaine de la philosophie des sciences et à repenser ses propres principes de conduite. L'image de la science qui en résultera sera plus nuancée, complexe et variée » (MÄKI 2016, p. 340-341).

13. « La [philosophie de l'interdisciplinarité] facilitera le *virage institutionnel* nécessaire dans la philosophie des sciences simplement parce que les disciplines et leurs relations dynamiques — tant au sein de la science académique qu'entre le milieu universitaire et les parties extra-universitaires de la société — sont des réalités institutionnelles. Elle facilitera également un *virage cognitif* connexe puisque la dynamique interdisciplinaire implique typiquement des situations de cognition distribuée et étendue entre divers experts disciplinaires et artefacts technologiques. Ces virages exigent que la philosophie de la science devienne une activité plus interdisciplinaire et interchamps » (MÄKI 2016, p. 341).

14. « La [philosophie de l'interdisciplinarité] améliorera la pertinence pratique de la philosophie de la science. [...] Parce que l'interdisciplinarité est un mot à la mode dans la science contemporaine et dans les politiques scientifiques, et parce que tant les scientifiques praticien-ne-s que les responsables des politiques scientifiques sont souvent désemparés lorsqu'ils traitent de situations interdisciplinaires, la philosophie des

Plus précisément, MÄKI (2016) souligne que la philosophie de l'interdisciplinarité permettra de récolter deux types d'information, i.e. *information comparative* et *information contactuelle* [*contactual information*]. Le premier type représente « [l']informations sur les similitudes et les différences entre deux ou plusieurs disciplines ou familles de disciplines, quoiqu'il arrive (ou non) entre elles » (MÄKI 2016, p. 335). Celle-ci serait facilitée par le fait que travaux en philosophie des sciences spéciales ont produit beaucoup d'information pour chacune de ces sciences. Le second type représente « [l']informations sur ce qui se passe (ou ne se passe pas) lorsque deux ou plusieurs disciplines sont mises en contact les unes avec les autres » (MÄKI 2016, p. 336). Plus précisément, cela concerne « la grande variété de façons dont les disciplines peuvent [ou non] être en contact les unes avec les autres —comme la collaboration, l'inspiration, le transfert de modèles ou de méthodes, le soutien ou la critique des preuves, l'intégration et l'unification, etc. » (MÄKI 2016, p. 336). C'est l'important potentiel normatif de ces deux types d'information qui rend leur collection particulièrement pertinente pour la philosophie des sciences. En effet, d'une part, « l'information comparative peut permettre à une discipline d'apprendre d'une autre, de ce qui est perçu comme des principes et des pratiques disciplinaires (peut-être plus) efficaces » (MÄKI 2016, p. 336). D'autre part, « [l]es épisodes d'apprentissage interdisciplinaire sont des cibles d'informations contactuelles qui peuvent être utilisées pour promouvoir des améliorations interactives futures » (MÄKI 2016, p. 336). Ces informations ouvrent la porte à l'optimisation des pratiques disciplinaires et interdisciplinaires.

Les gains espérés pour la philosophie des sciences motive ce que MÄKI (2016) nomme l'*Appel pour une philosophie de l'interdisciplinarité*, « un appel à une recherche collective systématique sur les aspects philosophiques de l'interdisciplinarité scientifique » (p. 328). Cet appel ne se traduit pas comme un simple impératif au développement d'une philosophie de l'interdisciplinarité, mais précise aussi divers critères qu'il serait désirable de retrouver chez celle-ci.

Premièrement, une part, cette dernière devra être *systématique* au sens où la philosophie de l'interdisciplinarité devra « aborder un certain nombre de questions interdépendantes et

---

sciences aura un certain poids supplémentaire en traitant systématiquement de ces questions et en montrant l'utilité de ses propres perspectives et méthodes disciplinaires pour mettre en lumière certains aspects complexes de l'interdisciplinarité en science contemporaine » (MÄKI 2016, p. 341).

produire des résultats qui peuvent être contestés et qui peuvent servir de base à une enquête plus approfondie » (p. 328).

Deuxièmement, considérant la taille de la tâche, elle devra être *collective* au sens où

« [u]n plus grand nombre de philosophes que ce n'est le cas aujourd'hui devraient consacrer plus de temps à étudier les différentes facettes du thème, et ils devraient le faire en interaction les uns avec les autres, sur la base d'une division du travail intellectuel et de programmes de recherche qui se chevauchent au moins partiellement. » (MÄKI 2016, p. 328)

Troisièmement, l'aspect *philosophique* de la philosophie de l'interdisciplinarité possède ici un double sens et consiste en le fait que « cette recherche vise à fournir une perspective philosophique sur, et l'analyse de, l'interdisciplinarité en science » (MÄKI 2016, p. 328). Plus précisément, « [c]ela implique une invitation à un léger réexamen du programme de recherche et de la stratégie de recherche de la philosophie de la science elle-même » (MÄKI 2016, p. 328).

Au sein de cet appel, l'inclusion de l'interdisciplinarité en philosophie peut être conçue sous deux acceptions (déjà distinguées chez HOFFMANN et al. (2013))<sup>15</sup>.

D'une part, une philosophie *de* l'interdisciplinarité [*philosophy of interdisciplinarity*] s'apparentant aux autres branches de la philosophie des sciences, c'est-à-dire, « il peut s'agir d'un nouveau domaine d'étude tout comme la science est le domaine d'étude d'une "philosophie des sciences", et la biologie le domaine d'étude d'une "philosophie de la biologie", et ainsi de suite » (HOFFMANN et al. 2013, p. 1858)<sup>16</sup>.

D'autre part, une philosophie *comme* interdisciplinarité [*philosophy as interdisciplinarity*] s'inscrivant dans une mouvance de transformation plus profonde de la philosophie. Succinctement,

« l'interdisciplinarité peut être perçue comme un défi plus fondamental pour la philosophie elle-même, c'est-à-dire comme un défi à l'autocompréhension et à l'autoconceptualisation de la philosophie en tant que discipline académique, y compris ses formes d'institutionnalisation avec ses procédures de financement,

---

15. Cet article introduit une collection portant spécialement sur ce sujet paru dans *Synthèse* et s'intitulant *Philosophy of and as interdisciplinarity*.

16. Voir HOFFMANN et al. (2013, p. 1859-1860) pour un résumé des articles de HOLBROOK (2013), ANDERSEN et WAGENKNECHT (2013) et FULLER (2013) s'inscrivant dans cette première acception de l'inclusion de l'interdisciplinarité en philosophie.

ses carrières universitaires, ses programmes de cours et ses méthodes pédagogiques. »<sup>17</sup> (HOFFMANN et al. 2013, p. 1858)

Ces deux acceptions sont même considérées comme mutuellement nécessaires. Par exemple, MÄKI (2016) mentionne que « [m]ettre l'interdisciplinarité dans toute sa richesse à l'ordre du jour de la philosophie de la science exige et permet à cette dernière de *reconsidérer ses propres méthodes et principes d'investigation* » (p. 339). Pour ce faire, les méthodes et principes de diverses pratiques scientifiques doivent être mobilisées. MÄKI (2016) offre, par exemple, la liste suivante : l'analyse de texte scientifique ; l'observation (participative) des pratiques scientifiques, disciplinaires et interdisciplinaires ; sondages et entretiens auprès des scientifiques ; recherche expérimentale sur les pratiques interdisciplinaires ; et la transformation de la philosophie elle-même en une entreprise interdisciplinaire<sup>18</sup>.

Une motivation supplémentaire pour cet appel se situe dans le fait que, malgré la popularité du terme, l'attrait pour l'interdisciplinarité en philosophie reste marginal. Ce constat est, entre autres, rapporté par HOFFMANN et al. (2013) ainsi :

« [a]lors que la multi-, inter-, et transdisciplinarité ont été largement étudiés au cours des dernières décennies par des chercheur-e-s en sciences sociales, particulièrement dans le domaine des sciences et technologies (STS ; cf. ROSSINI et PORTER 1979 ; KLEIN 1990, 1996 ; GIBBONS et al. 1994), il est surprenant que les philosophes, jusqu'à maintenant, soient restés en marge pour la plupart. » (HOFFMANN et al. 2013, p. 1857-1858)

SCHMIDT (2008) soutient que deux postulats entretenus par les philosophes vont limiter le travail philosophique sur ce mode de production de connaissance.

D'une part, l'*interdisciplinarité* semble être « aréférentiel » au sens où le référent du terme est très imprécis, voire inexistant. Plus précisément,

« [o]utre être un nouveau terme à la mode, aucun contenu sémantique spécifique ne semble être sous-entendu (postulat de l'absence de contenu)[, ainsi l]'interdisciplinarité apparaît n'être, plus ou moins, qu'un terme public, politique ou idéologique, une rhétorique dénuée de sens. » (SCHMIDT 2008, p. 56)

---

17. Voir HOFFMANN et al. (2013, p. 1860-1862) pour un résumé des articles de FRODEMAN (2013), O'ROURKE et CROWLEY (2013) et TUANA (2013) s'inscrivant dans cette deuxième acception de l'inclusion de l'interdisciplinarité en philosophie.

18. Voir MÄKI (2016, p. 339-340) pour une exposition plus détaillée.

D'autre part, ce mode de production regroupe une diversité de pratique tellement grande que cette dernière apparaît difficilement conceptualisable sous une même acception, et, ce faisant, par les philosophes. Autrement dit,

« le phénomène de la recherche interdisciplinaire semble trop complexe, hétérogène, dynamique et contextuel pour être accessible à la philosophie (postulat de surcomplexité) [où i]mplicitement, les philosophes ont pu considérer l'interdisciplinarité comme un phénomène non universel et non théorique, spécifique au contexte, révélant les limites de la philosophie des sciences. » (SCHMIDT 2008, p. 56)

Or, pour SCHMIDT (2008), les postulats d'absence de contenu et de surcomplexité à propos de l'interdisciplinarité peuvent être montrés comme non problématiques par un examen plus détaillé de certains enjeux en philosophie, notamment à s'attardant aux débats concernant la question du pluralisme en science. SCHMIDT (2008) mentionne que

« [l']on peut trouver certains aspects d'approches [de ce type de phénomène] dans des domaines qui sont généralement classés par des mots-clés comme “monisme et pluralisme”, “unité des sciences”, “relations interthéoriques”, “holisme”, “unification”, “réduction”, “rationalité”, etc. [où] l' “interdisciplinarité” pourrait être comprise comme un instrument d'intégration afin de mettre en relation différents pans [patchwork] de connaissances disciplinaires —son but fondamental est d'obtenir une synthèse et de restaurer ce que l'on croit être perdu[, i.e. l'unité]. » (SCHMIDT 2008, p. 56)

Ainsi, les travaux sur le pluralisme en science représenterait une preuve qu'il est possible d'effectuer un travail philosophique malgré les postulats d'absence de contenu et de surcomplexité, et donc, que l'utilisation de ceux-ci contre le développement d'une philosophie de l'interdisciplinarité sont difficilement soutenables.

### **1.1.3. L'interdisciplinarité comme objet de recherche philosophique**

Une caractérisation de la philosophie de l'interdisciplinarité comme branche particulière de la philosophie des sciences demande de préciser plus amplement son objet, i.e. l'interdisciplinarité. Cette dernière est régulièrement catégorisée au sein des sciences comme un mode particulier de production de connaissances conjoignant une forte diversité de pratiques et de disciplines. Les appellations pour ce mode de production des connaissances sont multiples et éclectiques. À titre d'exemple, la liste de termes fournie par SCHMIDT (2008) est particulièrement explicite sur cette hétérogénéité et mérite d'être rapportée intégralement :

« l' "interdisciplinarité" semble être le critère distingué pour le diagnostic d'un changement actuel dans le mode de production du savoir scientifique, le plus souvent caractérisé par des termes comme mode-2-science<sup>19</sup>, science post-normale<sup>20</sup>, science post-paradigmatique et orientation sociétale finalisée<sup>21</sup>, science post-académique<sup>22</sup>, technoscience<sup>23</sup>, recherche orientée problème<sup>24</sup>, recherche socio-écologique<sup>25</sup>, post-disciplinarité<sup>26</sup> ou recherche et innovation "triple spirale"<sup>27</sup>. (SCHMIDT 2008, p. 54-55)

Différentes conceptions de l'interdisciplinarité peuvent être identifiées, chacune sous-tendant des motivations différentes pour l'interaction entre les disciplines. KLEIN (2017) propose une typologie de l'interdisciplinarité permettant d'en identifier au moins deux formes : l'*instrumentale* et la *critique*.

L'*interdisciplinarité instrumentale* se distingue par le fait qu'elle répond à des besoins soit « d'une discipline ou d'un champ de recherche »<sup>28</sup> ou « du marché et de la nation »<sup>29</sup> (KLEIN 2017, p. 28). Plus précisément,

« [l]'interdisciplinarité est considérée comme un outil très précieux pour rétablir l'unité des sciences ou pour résoudre des problèmes pressants pour la société ; la première position est principalement motivée de façon *interne* aux sciences, la seconde de façon *externe*. » (SCHMIDT 2008, p. 57)

Deux *desiderata* sont donc sous-jacents à l'interdisciplinarité instrumentale permettant de subdiviser celle-ci en interdisciplinarité instrumentale *unificationnistes* et des *pragmatistes*<sup>30</sup>.

---

19. Gibbons et al. (1994), cité dans SCHMIDT (2008, p. 54).

20. Funtowicz and Ravetz (1993) et Elzinga (1995), cité dans SCHMIDT (2008, p. 54).

21. Böhme et al. (1974, p. 276f) et Böhme et al. (1983), cité dans SCHMIDT (2008, p. 55).

22. Ziman (2000) et Bammé (2004), cité dans SCHMIDT (2008, p. 55).

23. Haraway (1991) et Latour (1987), cité dans SCHMIDT (2008, p. 55).

24. Chubin et al. (1986), De Bie (1970), cité dans SCHMIDT (2008, p. 55).

25. Becker et Jahn (2006) et Becker (2002), cité dans SCHMIDT (2008, p. 55).

26. Norton (2005), cité dans SCHMIDT (2008, p. 55).

27. Etzkowitz et Leydesdorff (1997), cité dans SCHMIDT (2008, p. 55).

28. Aussi qualifié d'interdisciplinarité *méthodologique* suivant BRUUN et al. (2005) rapporté par KLEIN (2017).

29. Aussi qualifié d'interdisciplinarité *stratégique ou opportuniste*, suivant WEINGART (2000) rapporté par KLEIN (2017).

30. Cette distinction est aussi faite par KLEIN (1990) en ce qu'elle nomme les justifications *synoptique* et *instrumentale* pour l'interdisciplinarité, la seconde ayant particulièrement pris de l'ampleur à partir de la moitié du siècle dernier. Les termes unificationniste et pragmatiste ont été préférés pour éviter les risques d'équivocité et pour des raisons de cohérence avec le lexique utilisé en philosophie des sciences. Voir KLEIN (1990, chap. 2) pour un bref exposé historique de ces deux tendances.

Les promoteurs de la variante *unificationnistes* vont, face à un portrait des sciences désunifié, défendre que l'interdisciplinarité est la solution pour rétablir des liens entre les différentes spécialités. MÄKI (2016) résume bien cette impulsion en rapportant qu'

« [u]ne partie du besoin pour l'interdisciplinarité découle d'une préoccupation intellectuelle : le sentiment que l'unité de la science a été perdue en raison de la spécialisation et de la division en science ayant été poussée très loin. Par rapport à ces préoccupations, l'interdisciplinarité manifeste le rêve d'une unité retrouvée de la science. » (MÄKI 2016, p. 333)

En ce sens, « l'interdisciplinarité n'est pas considérée comme une fin en soi, mais plutôt comme un moyen de retrouver une unité supposée de la pluralité (évidente) des disciplines » (SCHMIDT 2008, p. 56). SCHMIDT (2008) catégorise ce type d'approche de l'interdisciplinarité comme *forte* et en caractérise la motivation sous-jacente, qui est interne la à science, de la façon suivante :

« La première motivation —déterminant l'*interdisciplinarité forte*— est fondée sur la volonté d'intégrer la mosaïque des connaissances disciplinaires. L'interdisciplinarité [...] est considérée] comme un moyen de (re)gagner et d'assurer le progrès, de restaurer la production de connaissances et de permettre une compréhension universelle du comportement d'un objet dans le monde réel. » (SCHMIDT 2008, p. 58)

Plus largement, cette tendance est inscrite par GRÜNE-YANOFF (2016) dans la filiation conceptuelle de l'unification des sciences vue comme idéal régulateur<sup>31</sup>. En effet,

« [c]ertains chercheurs considèrent l'interdisciplinarité comme un cas particulier d'un programme unificationniste plus large. Ils acceptent l'unification des sciences comme un idéal régulateur et en tirent la justification normative des pratiques de recherche interdisciplinaire. » (GRÜNE-YANOFF 2016, p. 358)

En somme, la motivation est interne aux sciences, dans cette variante de l'interdisciplinarité instrumentale, au sens où l'unité de celles-ci est vue comme un objectif en soi et l'interdisciplinarité permet réaliser cette unité, créant des ponts entre des disciplines isolées<sup>32</sup>.

---

31. Suivant les travaux de KITCHER (1999).

32. *Contra* une vision unilatérale de l'interdisciplinarité se limitant à cette variante (e.g. réductionnisme) SCHMIDT (2011) mentionne que « l'interdisciplinarité » serait dénuée de sens et impuissante si elle visait simplement à rétablir l'unité et à permettre davantage de réductions. Si tel était le cas, la physique serait le moyen le plus efficace de pratiquer l'interdisciplinarité. De plus, il est encore plus paradoxal que, si l'interdisciplinarité l'emportait finalement, l'unité serait atteinte et, en même temps, « l'interdisciplinarité » serait dissoute ». (SCHMIDT 2011, note de bas de page 3, p. 253).

Les promoteurs de la variante *pragmatistes* vont, quant à eux, défendre que l'interdisciplinarité est la solution aux divers problèmes urgents dans les sociétés humaines, ces derniers étant souvent considérés comme trop complexes pour être résolus par les ressources d'une seule discipline<sup>33 34</sup>. MÄKI (2016) résume cette position de la façon suivante :

la science est divisée en disciplines et sous-disciplines, mais la plupart des problèmes réels les plus urgents (des changements climatiques à la pauvreté mondiale) ne le sont pas autant —si bien que pour y remédier, il faut dépasser les frontières disciplinaires et combiner les ressources intellectuelles et autres, indépendamment de leur origine disciplinaire ou de la base sur laquelle se situent ces dernières. » (MÄKI 2016, p. 333)

En d'autres termes, il existe un décalage entre la façon dont est découpée la science et les besoins sociétaux ce que nécessite une révision de la façon dont sont mobilisées les ressources intellectuelles produites en science dans la résolution de problème. En effet,

« [l]es problèmes sociétaux sont si complexes et interreliés qu'une approche disciplinaire n'est généralement pas possible[, ainsi l']interdisciplinarité est vue comme un outil pour aborder ces problèmes complexes. » (SCHMIDT 2008, p. 57).

Ainsi, « [s]ouvent ces positions faibles de l'unité sont développées à partir d'une perspective "axée sur les problèmes" ou "du monde réel" ; leur but est d'aborder et de résoudre les problèmes urgents de la société » (SCHMIDT 2008). SCHMIDT (2008) catégorise ce type d'approche de l'interdisciplinarité comme *faible*, au sens où « [e]lle se concentrent particulièrement sur "l'unité partielle et relative de l'objet empirique"<sup>35</sup> — une unité contextuelle locale par rapport à un objet au lieu d'une unité globale dans le monde entier » (p. 57). De plus, il subdivise la motivation sous-jacente, qui est externe à la science, en deux variantes

---

33. MÄKI (2016) mentionne qu'« il est courant de définir l'interdisciplinarité largement en termes de fins et de moyens [où l']interdisciplinarité dans ces caractérisations manifeste l'ambition de résoudre des problèmes vastes ou complexes en combinant et en intégrant deux ou plusieurs perspectives disciplinaires, elles-mêmes seules trop étroites ou trop simples pour la tâche (e.g. KLEIN et NEWELL 1996) » (p. 331).

34. MÄKI (2016) mentionne que cette deuxième forme de motivation est particulièrement liée à l'engouement actuel entourant l'interdisciplinarité. En effet, « [l']agitation actuelle autour de l'interdisciplinarité est en grande partie - mais pas seulement - motivé par les pressions croissantes qui s'exercent sur la science pour qu'elle réponde à des besoins extrascientifiques (par exemple résoudre des problèmes pratiques reconnus comme importants par les forces politiques ou commerciales) en réduisant le pouvoir et l'autonomie des disciplines scientifiques (et donc, peut-être, de la science) dans l'établissement des objectifs de recherche et des normes de qualité de la recherche (p. 333) ».

35. SCHELKY (1961) cité par SCHMIDT (2008).



structurellement similaires, mais différant sur l'intention poursuivie. La première forme d'interdisciplinarité faible est motivée *économiquement*. Plus précisément,

« les partisans de la *motivation économique* considèrent la science —dans la tradition de Francis Bacon, Adam Smith et Karl Marx— comme un moyen d'obtenir et d'assurer richesse, bien-être et prospérité. [Or, l]es problèmes économiques du monde réel ne s'inscrivent pas dans la différenciation fonctionnelle et la séparation des disciplines académiques qui se sont développées au cours de l'histoire. » (SCHMIDT 2008, p. 58)

La deuxième forme d'interdisciplinarité faible est motivée *socialement*. Plus précisément,

« la motivation *sociale, éthique et problème orienté [problem-oriented]* est assez similaire à la motivation économique, bien que les deux poursuivent des objectifs différents. La réduction disciplinaire est sous-complexe et, par conséquent, ne peut pas faire face aux problèmes du monde réel parce que ces problèmes sont trop nouveaux, complexes, épineux, hybrides ou trop risqués (par exemple les problèmes environnementaux/liés au changement planétaire). » (SCHMIDT 2008, p. 58)

En somme, la motivation est externe aux sciences, dans cette variante de l'interdisciplinarité instrumentale, au sens où l'unification locale, via l'interdisciplinarité, est vue comme un moyen pour répondre à des enjeux sociétaux dépassant souvent le cadre d'une seule discipline.

*L'interdisciplinarité critique* se distingue par le fait qu'elle « interroge la structure dominante du savoir et de l'éducation dans le but de la transformer, en soulevant des questions de valeur et de finalité silencieuses en [interdisciplinarité instrumentale] » (KLEIN 2017, p. 28). Plus précisément, « elles cherchent à transformer, plutôt qu'à construire des ponts entre les unités [disciplinaires] existantes à des fins utilitaires » (KLEIN 2005, p. 57) Cette forme, particulièrement présente en lettres [humanities], se serait construite, en partie, en opposition à l'interdisciplinarité instrumentale, mais aussi, plus largement, à la production disciplinaire des connaissances<sup>36</sup>. Deux principales objections sont mentionnées comme moteur pour le développement de cette forme d'interdisciplinarité. D'une part, l'interdisciplinarité instrumentale est conçue comme se limitant à « servir l'économie politique du marché et les besoins nationaux » (KLEIN 2005, p. 57). L'extension de ce qui est entendu ici comprend « la recherche et la résolution de problèmes qui produisent des technologies de l'information et

---

36. Pour un exposé du développement de l'interdisciplinarité critique, voir KLEIN (2005, chapitre 3).

applications à des fins “instrumentales,” “stratégiques,” “pragmatiques” ou “opportunistes” » (KLEIN 2005, p. 57). Ainsi, tel que mentionné plus haut, l’absence de questionnement sur la production même de connaissance et sur ces visées est au cœur de cette première objection. Référant aux travaux de la triade Derrida, Lyotard et Readings<sup>37</sup>, KLEIN (2005) rapporte que l’interdisciplinarité instrumentale y est critiquée sur l’accent mis sur le « calcul rationnel » (p. 56), sur « l’absence de métalangage or métanarrative émancipatoire » (p. 57) et sur l’assujettissement de l’université occidentale aux besoins du marché où la « notion d’“excellence” remplace l’ancien appel à la “culture” » (p. 57).

D’autre part, l’interdisciplinarité instrumentale est conçue comme se limitant à « combiner les approches existantes sans les transformer » (KLEIN 2005, p. 57). Or, ce faisant, la « simple interdisciplinarité », en se concentrant sur la synthèse des perspectives disciplinaires, n’arriverait pas à rendre justice au pluralisme de certaines branches du savoir (e.g. les études américaines [american studies]) et échouerait à créer une véritable synthèse entre celles-ci (e.g. lettres et sciences sociales)<sup>38</sup>. En effet, une forme d’interdisciplinarité qui permettrait de transformer les savoirs devrait pouvoir

« démanteler la frontière entre le littéraire et le politique, traiter les objets culturels de manière relationnelle, inclure la culture populaire et remettre en question les prémisses des pratiques dominantes. » (KLEIN 2005, p. 58)

Ainsi, tel que mentionné plus haut, l’absence de visée transformatrice est au cœur de cette deuxième objection<sup>39</sup>.

Il est à souligner que la distinction entre interdisciplinarité *instrumentale* et *critique* n’est pas absolue et que ces deux formes d’interdisciplinarité ne sont pas hermétiques. En effet, ces deux formes d’interdisciplinarité sont souvent cooccurrentes dans un même projet de recherche. Par exemple, KLEIN (2005) mentionne que « [l]es recherches sur des problématiques en environnement et en santé vont souvent combiner la critique et la résolution de

---

37. Jacques Derrida, Jean-François Lyotard et Bill Readings.

38. Ces deux limites sont des généralisations des deux « fautes » formulées par David Marcell contre les formes d’interdisciplinarité instrumentales en études américaines et rapportées par KLEIN (2005, p. 57).

39. Des problématiques peuvent aussi être soulevées concernant l’interdisciplinarité critique. Ce passage de KLEIN (2005) les résume brièvement : « [d]ans la ruée pour l’accentuation de la critique, les partisans de l’interdisciplinarité critique sont souvent prompts à rejeter les autres pratiques. On reproche aux champs naissants de ne pas aller assez vite ou d’être assez radicaux, même si la critique culturelle et les théories anti-essentialistes ne sont pas sans contradictions propres. La question interdisciplinaire, Melville et Readings mettent en garde, peut chercher à prévenir ou à exacerber la crise. Les nouveaux discours synthétiques plaident en faveur d’alternatives, mais ils n’échappent pas aux dangers de se totaliser eux-mêmes » (p. 58).

problème » (p. 58). De plus, ces deux formes peuvent et se sont influencées dans leur développement historique. En effet, « [à] travers le temps, l'interdisciplinarité critique a influencé la façon dont la recherche et l'enseignement sont menés dans les disciplines établies, les champs de recherche interdisciplinaire plus anciens et l'éducation générale » (KLEIN 2005, p. 58). Plus encore, ces deux formes partagent plusieurs points communs, entre autres, « des postulats, théories et leur engagement envers le pluralisme épistémologique » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 10). Sur les postulats, REPKO et SZOSTAK (2016) identifient les quatre suivants : (1) « [l]a complexité du réel hors université rend [l'interdisciplinarité] nécessaire » (p. 10) ; (2) « [l]es disciplines sont la base de l'interdisciplinarité » (p. 11)<sup>40</sup> ; (3) « [l]es disciplines en elles-mêmes sont inadéquates pour faire face à la complexité de façon compréhensive » (p. 11) ; et (4) « [l]'interdisciplinarité est apte à intégrer les apports [insights] des disciplines pertinentes » (p. 12)<sup>41</sup>. Sur les théories, REPKO et SZOSTAK (2016) mentionnent que les approches interdisciplinaires vont s'appuyer sur des théories portant sur : (1) « la complexité » (p. 14)<sup>42</sup> ; (2) « la prise de perspective » (p. 15)<sup>43</sup> ; (3) « l'espace commun [common ground] » (p. 18)<sup>44</sup> ; et (4) « l'intégration » (p. 18)<sup>45 46</sup>. Sur l'engagement envers le pluralisme épistémologique, REPKO et SZOSTAK (2016) souligne que « [l]e pluralisme épistémologique rejette la notion de vérité absolue et accepte l'ambiguïté qui surgissent d'un conflit ou d'une différence » (p. 22)<sup>47</sup>.

---

40. REPKO et SZOSTAK (2016) mentionne que ce postulat « est vigoureusement contesté par certains interdisciplinariens critiques [critical interdisciplinarians] » (p. 11). Voir REPKO et SZOSTAK (2016, Boîte 1.1) pour plus de détails.

41. Pour une question d'espace, ces postulats ne seront pas commentés. Voir REPKO et SZOSTAK (2016, p. 10-12) pour plus de détails.

42. Plus précisément, « [l]a complexité réfère aux parties d'un phénomène ou d'un problème qui *interagit* de façon surprenante/inattendue » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 14).

43. Plus précisément, « la prise de perspective *implique l'analyse du problème du point de vue ou de la perspective de chaque discipline intéressée et l'identification de leurs points communs et de leurs différences* » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 15).

44. Plus précisément, « [l]'espace commun est la base commune qui existe entre des idées ou des théories disciplinaires conflictuelles et qui rend possible l'intégration » (REPKO, 2012 ; p. 56-57 cité par REPKO et SZOSTAK (2016, p. 18)).

45. Voir définition 5

46. Pour une question d'espace, cet ensemble de théorie ne sera pas commenté. Voir REPKO et SZOSTAK (2016, p. 12-21) pour plus de détails.

47. Pour une question d'espace, cette conception du pluralisme épistémologique ne sera pas commentée. Voir REPKO et SZOSTAK (2016, p. 21-22) pour plus de détails.

#### 1.1.4. Résumé

La philosophie des sciences se caractérise comme une activité descriptive et critique d'un objet scientifique (e.g. physique, chimie, biologie). La philosophie de l'interdisciplinarité peut ainsi être conçue comme une forme de philosophie des sciences dont l'objet est l'interdisciplinarité. Plusieurs appels pour le développement de cette branche dans une perspective de philosophie des sciences ont été lancés (e.g. SCHMIDT (2008) et MÄKI (2016)). Son objet se présente sous différentes formes (e.g. interdisciplinarité instrumentale et critique) ayant des objectifs très variés. Celles-ci vont tout de même partager certains éléments, entre autres, des postulats, des théories et leur engagement envers le pluralisme épistémologique.

### 1.2. Interdisciplinarité et intégration

#### 1.2.1. Définitions

Dans une perspective de philosophie des sciences, plusieurs définitions de l'interdisciplinarité peuvent être rapportées.

D'une part, à l'un des extrêmes du spectre définitionnel, certains proposent une définition plurielle (pluraliste) de celle-ci. SCHMIDT (2008) (repris dans SCHMIDT (2011)) mentionne que « [l]' "interdisciplinarité" peut être caractérisée en référence aux [a] objets, [b] théories/savoirs, [c] méthodes et [d] problèmes » (p. 55)<sup>48</sup>, les trois premières s'appliquant particulièrement aux justifications des unificationnistes et la dernière aux justifications des pragmatistes.

Sur (a), SCHMIDT (2008) et SCHMIDT (2011) vont qualifier cette dernière de *dimension ontologique* de l'interdisciplinarité, i.e. référant aux objets ou aux entités. Plus précisément,

« [l]es objets interdisciplinaires sont considérés comme étant situés ou construits dans la structure de la réalité. Ils se situent sur les frontières entre les différents cosmes micro, méso, macro et autres ou à l'intérieur de

---

48. D'autres définitions plurielles ont aussi été proposées. Par exemple, KLEIN (1990) rapporte que « [l'interdisciplinarité] est habituellement définie de l'une des quatre façons suivantes : 1. *par exemple*, pour désigner quelle forme elle prend ; 2. *par motivations*, pour expliquer pourquoi elle prend place ; 3. *par principes d'interaction*, pour illustrer le processus de comment interagissent des disciplines ; et 4. *par hiérarchie terminologique*, pour distinguer les niveaux d'intégrations par l'utilisation des étiquettes spécifiques » (p. 55). La proposition de SCHMIDT (2008) a été préférée puisqu'elle s'ancre dans un cadre plus commun en philosophie, plus particulièrement en philosophie des sciences. De même, sa proposition est philosophiquement plus raffinée, i.e. conceptuellement mieux définie.

zones frontières entre disciplines ; par exemple : les objets cerveau-esprit, les nano-objets, ou le trou dans la couche d'ozone. » (SCHMIDT 2008, p. 59)

En d'autres termes, ce type d'interdisciplinarité réfère à l'étude d'un objet dans le monde ne se situant pas directement dans le domaine d'étude d'une discipline particulière.

Sur (b), SCHMIDT (2008) et SCHMIDT (2011) vont qualifier cette dernière de *dimension épistémologique* de l'interdisciplinarité, i.e. référant aux savoirs, théories et concepts. Plus précisément,

« [n]ous nous demandons ici s'il existe des théories interdisciplinaires et comment elles peuvent être précisées et identifiées. [...] Les candidats possibles pour les théories sont des métathéories qui peuvent être appliquées pour décrire des objets disciplinaires très différents. [...] Une telle théorie ne peut être réduite à une théorie disciplinaire, c'est-à-dire que les théories interdisciplinaires ne s'inscrivent pas dans le cadre disciplinaire. » (SCHMIDT 2008, p. 60)

En d'autres termes, ce type d'interdisciplinarité réfère à l'étude des objets conceptuels de l'interdisciplinarité qui, par définition, sont nécessairement extradisciplinaires.

Sur (c), SCHMIDT (2008) et SCHMIDT (2011) vont qualifier cette dernière de *dimension méthodologique* de l'interdisciplinarité, i.e. référant aux méthodes de production de connaissance, processus de recherche, règles d'actions, et langage. Plus précisément,

« [l]es méthodes interdisciplinaires sont considérées comme irréductibles à une méthode disciplinaire. Les meilleurs candidats pour les méthodologies interdisciplinaires sont ceux qui organisent le transfert entre disciplines ou qui combinent des méthodes de raisonnement descriptives, normatives et abductives. » (SCHMIDT 2008, p. 60)

En d'autres termes, ce type d'interdisciplinarité réfère à l'étude des outils particuliers à l'interdisciplinarité, contrastant celles présentes au sein des disciplines.

Sur (d), SCHMIDT (2008) et SCHMIDT (2011) vont qualifier cette dernière de *dimension orientée problème* de l'interdisciplinarité, i.e. référant aux conditions de départ, buts, motivations et conditions constitutives. Plus précisément,

« [l]a référence aux problèmes semble utile pour délimiter l'interdisciplinarité et la disciplinarité. Les problèmes interdisciplinaires sont en un sens externes aux *disciplines* ou aux *sciences* : Ces problèmes sont avant tout sociétaux qui sont principalement dus *et* définis par la société, les non-initiés, les politiciens et les parties prenantes. » (SCHMIDT 2008, p. 61)

En d'autres termes, ce type d'interdisciplinarité réfère à l'étude des problèmes extérieurs aux disciplines particulières ou même à la science particulière<sup>49</sup>.

D'autre part, à l'autre bout du spectre définitionnel, certains vont opter pour une définition unique (moniste). Par exemple, MÄKI (2016) propose une variante très générale. Il définit l'interdisciplinarité comme « *toute relation pertinente entre deux ou plusieurs disciplines scientifiques ou leurs parties* » (MÄKI 2016, p. 331). Cette acception a pour avantage d'être à la fois « [rester] silencieuse sur les ambitions qui la sous-tendent (par exemple, chercher à résoudre des problèmes complexes) et sur les formes et les moyens adoptés (par exemple, l'intégration de cadres conceptuels) » (MÄKI 2016, p. 331). Il est aisé de voir ici que cette définition permet autant de subsumer les motivations présentées plus haut, i.e. unificationniste et pragmatiste, de même que les quatre dimensions introduites par SCHMIDT (2008) et SCHMIDT (2011), i.e. ontologique, épistémologique, méthodologique et pratique.

Ces deux extrêmes ayant été fixés, il est intéressant de s'attarder aux définitions proposées (et utilisées) par les praticien-ne-s de l'interdisciplinarité. En ce sens, le livre REPKO et SZOSTAK (2016), un manuel d'apprentissage [textbook], sera utilisé comme modèle<sup>50</sup>. La définition proposée est la suivante<sup>51</sup> :

**Définition 1 : Interdisciplinarité =  $D_f$**

« L'interdisciplinarité [interdisciplinary studies] est un processus qui consiste à répondre à une question, à résoudre un problème ou à aborder un sujet trop vaste ou trop complexe pour être traité adéquatement par une seule discipline, et qui s'inspire [draw on] des disciplines dans le but d'intégrer leurs apports

---

49. Pour plus de détail sur ce type particulier d'interdisciplinarité, voir SCHMIDT (2011) où celui-ci est développé plus amplement.

50. L'objectif étant ici étant de simplement exemplifier la caractérisation de l'interdisciplinarité au sein même de la pratique, et non une analyse exhaustive du contenu référentiel du terme, limiter l'analyse à ce document peut être considéré comme non-problématique.

51. Pour les différentes définitions qui seront rapportées au sein de ce mémoire, la terminologie introduite par WHITEHEAD et RUSSELL (1925, p. 11) sera reprise au sens où la relation de définition entre une *definiendum*, i.e. « ce qui est défini » et un *definiens*, i.e. « à ce qu'il est défini comme signifiant », sera représentée par l'utilisation du symbole « = » suivi de «  $D_f$  ». Cette modification à la représentation originale de WHITEHEAD et RUSSELL (1925, p. 11) est reprise de VERNANT (2001).

pour construire une compréhension plus exhaustive [a more comprehensive understanding]. »<sup>52 53</sup> (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 8)

Trois précisions sont offertes à propos de cette définition.

Sur l'aspect *inter*, REPKO et SZOSTAK (2016) précisent que ce préfixe positionne l'interdisciplinarité « entre deux champs d'études » (p. 3), espace étant souvent l'objet d'étude de plusieurs disciplines simultanément. Le point central ici est que « *les disciplines ne sont pas au centre de l'attention de l'interdisciplinarienneté ; l'accent [étant] mis sur le problème ou l'enjeu ou la question intellectuelle que chaque discipline aborde* » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 3).

Sur l'aspect *disciplinaire*, REPKO et SZOSTAK (2016) rapportent la définition suivante des disciplines :

**Définition 2 : Disciplines =<sub>Dr</sub>**

« communautés savantes qui précisent les phénomènes à étudier, font avancer certains concepts centraux et organisent des théories, adoptent certaines méthodes d'enquête, offrent des espaces [forums] pour partager la recherche et les apports et offrent des cheminements de carrière aux chercheurs. »<sup>54 55 56</sup> (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 3-4)

Sur l'aspect *études* [studies], invisible ici dû au choix de la traduction française, REPKO et SZOSTAK (2016) précisent que ces

« programmes reconnaissent que de nombreux problèmes de recherche ne

---

52. Traduction libre de « Interdisciplinarity studies is a process of answering a question, solving a problem, or addressing a topic that is too broad or complex to be dealt with adequately by a single discipline, and draws on the disciplines with the goal of integrating their insights to construct a more comprehensive understanding ».

53. REPKO et SZOSTAK (2016) ajoutent à cette définition, qu'ils qualifient d'intentionnelle, la définition extensionnelle suivante : « L'interdisciplinarité implique un ensemble de pratiques : poser des questions de recherche qui ne limitent pas inutilement les théories, les méthodes ou les phénomènes ; faire appel à diverses théories et méthodes ; établir des liens entre divers phénomènes ; évaluer les idées des chercheurs de différentes disciplines dans le contexte de la perspective disciplinaire ; et intégrer les idées des chercheurs de ces disciplines afin de réaliser une compréhension holistique ». (SZOSTAK, 2015, p. 109 tiré de REPKO et SZOSTAK (2016, p. 9))

54. Pour une clarification du terme *apport*, voir définition 6.

55. Chaque discipline est mentionnée comme ayant « ces propres éléments distinctifs —des phénomènes, des hypothèses, des perspectives philosophiques (i.e. l'épistémologie), des concepts, des théories et des méthodes— qui les distinguent des autres disciplines » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 4). Voir REPKO et SZOSTAK (2016, Chapitre 2) pour plus de détails.

56. L'objectif ici étant simplement de rapporter les concepts élémentaires associés à l'interdisciplinarité tels que définis par les praticien-ne-s de l'interdisciplinarité, cette définition ne nécessite pas d'examen philosophique particulier, malgré ses lacunes apparentes.

peuvent être aisément abordés dans les limites des disciplines individuelles parce qu'ils exigent la participation de nombreux experts, chacun considérant le problème du point de vue de sa propre discipline. » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 7)

En d'autres termes, ceux-ci se distinguent des modes de production de connaissance traditionnelle, i.e. les approches disciplinaires, en puisant largement dans les ressources des différentes disciplines, et ce, indistinctement des barrières de celles-ci<sup>57</sup>.

Quatre concepts clés sont mobilisés dans cette définition, i.e. « processus, disciplines, intégration et une compréhension plus exhaustive » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 9). La définition de *discipline* ayant été précisée (voir définition 2) et celle d'*intégration* étant abordée plus bas (voir définition 5), seuls les deux autres concepts seront développés. Par *processus*, il est entendu :

**Définition 3 : Processus = Df**

« suivre une procédure ou une stratégie. »<sup>58</sup> (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 79)

Cet élément est commun à la recherche disciplinaire et interdisciplinaire, mais ce qui distingue cette dernière est « que l'intégration est au cœur de l'activité interdisciplinaire, alors qu'elle n'est pas au cœur de l'activité disciplinaire » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 80). Par *compréhension plus exhaustive*, il est entendu :

**Définition 4 : compréhension plus exhaustive = Df**

« une compréhension nouvelle et plus complète et peut-être plus nuancée. » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 323)

Ainsi, la compréhension du phénomène à l'étude aurait pu être non accessible préalablement à l'intégration ou cette dernière pourrait être très simplifiée ou idéalisée.

---

57. Cette approche dans la production de connaissance est critiquée pour cette utilisation plus *libérale* des ressources des différentes disciplines. En effet, les disciplines sont vues comme des modes de production des connaissances plus rigoureux et fiable. En effet, « [e]n mettant l'accent sur un ensemble restreint de théories, de méthodes et de phénomènes, les disciplines sont en mesure de contrôler soigneusement si leurs théories et méthodes sont correctement appliquées aux phénomènes appropriés » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 7).

58. Une précision supplémentaire est apportée par REPKO et SZOSTAK (2016) en la distinction entre processus et activité. Ce dernier mentionne que « [p]rocessus véhicule la notion d'effectuer des changements graduels menant à un résultat particulier (mais souvent imprévu), alors qu'*activité* possède le sens plus limité d'une action vigoureuse ou énergique qui n'est pas nécessairement liée à la réalisation d'un but » (p. 220).



L’accent mis sur l’intégration dans les divers concepts liés à l’interdisciplinarité permet d’introduire la particularité de cette approche par rapport aux approches similaires. En effet, de la famille des approches alternatives aux modes de production des connaissances traditionnelles (e.g. la multidisciplinarité et la transdisciplinarité), la *differantia specifica*, suivant la formulation de SCHMIDT (2008, p. 55), pour l’interdisciplinarité semble se situer dans la notion d’intégration (e.g. HOFFMANN et al. (2013), O’ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN (2016), REPKO et SZOSTAK (2016), KLEIN (2017), MÄKI (2016), SCHMIDT (2008) et SCHMIDT (2011))<sup>59</sup>. Avant d’examiner la définition usuelle de ce concept plus en profondeur, il est nécessaire d’explicitier brièvement la distinction entre la multidisciplinarité, l’interdisciplinarité et la transdisciplinarité. La typologie rapportée par Klein (e.g. KLEIN (1990), KLEIN (1996), KLEIN (2005) et KLEIN (2017))<sup>60</sup> fournit, en ce sens, des définitions grossières, mais largement reconnues (reprise, notamment, par O’ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN (2016), MORAN (2010) et HOLBROOK (2013)).

La *multidisciplinarité* est définie, reprenant la formulation initiale de l’OCDE, comme la « [j]uxtaposition de diverses disciplines » APOSTEL (1972, p. 25) cité par KLEIN (2017, p. 23). Plus précisément,

« [l]a juxtaposition favorise l’élargissement de la portée des connaissances, de l’information et des méthodes. Pourtant, les disciplines restent séparées, conservent leur identité originale et ne sont pas remises en question. » (KLEIN 2017, p. 24)

L’*interdisciplinarité* est définie, amendant la formulation initiale de l’OCDE, comme

« l’intégration mutuelle et organisatrice de *concepts, méthodologie, procédures, épistémologie, terminologie, data* et l’organisation de la recherche et de l’éducation”. » (APOSTEL (1972, p. 25) cité par KLEIN (2017, p. 24))

---

59. Une voix discordante notoire, du moins en philosophie des sciences, est celle de GRÜNE-YANOFF (2016). Succinctement, ce dernier « soutient au contraire que l’intégration de disciplines, de concepts ou de méthodes n’est pas une condition préalable nécessaire au succès interdisciplinaire » (GRÜNE-YANOFF 2016, p. 344). La qualité de son argument de même que celle des cas d’études qu’il mobilise appelant une réponse d’une même qualité, i.e. détaillée et précise, un contre-argument ne sera pas offert dans le cadre présent mémoire. Or, il est à mentionner que le raisonnement de celui-ci est, dans les faits, erroné, ce dernier ayant fait abstraction de la dimension temporelle de l’interdisciplinarité.

60. Cette distinction diffère des formulations originales développées dans le cadre de la conférence de l’Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) de 1970 rapportée dans APOSTEL (1972).

KLEIN (2017) précise que l'intégration est considérée que le « litmus test » de l'interdisciplinarité, le référent le plus communément utilisé pour caractériser ce type de pratique (p. 23). Diverses variantes de l'interdisciplinarité peuvent être identifiées (e.g. instrumentale et critique), mais l'élément central et commun est l'intégration<sup>61</sup>.

La *transdisciplinarité* est définie, reprenant la formulation initiale de l'OCDE,

« comme un système commun d'axiomes qui transcende la portée des visions du monde disciplinaires par une synthèse globale, comme l'anthropologie conçue comme la science des humains. » (KLEIN 2017, p. 29)

KLEIN (2017) précise que quatre variantes principales se sont développées depuis : (a) « une version contemporaine de la quête épistémologique pour l'intégration systématique de la connaissance » (p. 29)<sup>62</sup>; (b) « une extension de la définition de l'OCDE de paradigme synthétique [...] comme “cadre conceptuel articulé” qui transcende la portée étroite des visions du monde disciplinaires » (p. 29)<sup>63</sup>; (c) une s'apparentant « à l'interdisciplinarité critique [où] la transdisciplinarité n'est pas seulement “transcendante”, mais aussi “transgressive” » (p. 30)<sup>64</sup>; et (d) une priorisant « la résolution de problème [où] la prémisses de base est que les problèmes dans le *Lebenswelt* —le monde de la vie— nécessitent d'encadrer les questions et les pratiques de recherche, et non les disciplines » (p. 30)<sup>65 66 67</sup>.

---

61. L'examen exhaustif des différentes formes d'interdisciplinarité dépassant largement le cadre du présent mémoire, le lecteur intéressé peut se référer à KLEIN (2017, Tableau 3.1 et sections 3.2-3.4).

62. Les exemples suivants sont donnés : « [l]a quête de l'unité s'étend de la philosophie grecque ancienne à la *summa* chrétienne médiévale, en passant par le principe des Lumières de la raison universelle, la philosophie hégélienne, le transcendantalisme, la recherche de théories unificatrices en physique et la théorie de la consilience de E. O. Wilson ». (KLEIN 2017, p. 29)

63. Les exemples suivants sont donnés : « les systèmes généraux, le structuralisme, le poststructuralisme, le marxisme, la phénoménologie, les théories féministes et le développement durable [sustainability] » (KLEIN 2017, p. 29).

64. Les exemples suivants sont donnés : « les études féministes, Autochtones, de communications culturelles, régionales, nordiques, urbaines et environnementales » (KLEIN 2017, p. 30).

65. Les exemples suivants sont donnés : le « Global TraPs (Global Transdisciplinary Processes on Sustainable Phosphorus Management) » et le « td-net (Network for Transdisciplinary Research) » (KLEIN 2017, p. 30).

66. KLEIN (2017) ajoute que la « coproduction du savoir avec les acteurs de la société est une pierre angulaire de cette tendance, réalisée par l'apprentissage mutuel et une approche récursive de l'intégration » (p. 30).

67. Des distinctions similaires, mais plus grossières, sont rapportées dans d'autres travaux et il est d'intérêt d'en rapporter quelques-unes en bloc pour fin d'illustration. Par exemple, HOLBROOK (2013) (repris dans la collection *Philosophy of and as interdisciplinarity* de la revue *Synthese* introduite par HOFFMANN et al. (2013)) rapporte la distinction suivante : [la multidisciplinarité] fait référence à la (simple) *juxtaposition* de deux ou plusieurs disciplines académiques focalisées sur un seul problème [; l'interdisciplinarité] fait référence à l'*intégration* de deux ou plusieurs disciplines focalisées sur un problème commun (et, parfois souligné, *complexe*) [; la transdisciplinarité] fait référence à l'intégration d'une ou de plusieurs disciplines académiques avec une *perspective extra-académique* sur un problème commun (et généralement du *monde réel*,

Cette distinction entre les multi-inter-trans disciplinarités étant faite, il est maintenant possible d’explorer plus amplement la particularité de l’interdisciplinarité (et par extension de la transdisciplinarité). Comme mentionner plus haut, la notion d’intégration est fondamentale dans la caractérisation de l’interdisciplinarité puisque plusieurs concepts auxiliaires en dépendent indirectement (e.g. les notions de processus et de compréhension plus exhaustive introduite plus haut). Il est d’intérêt ici de rapporter celle utilisée par les praticien-ne-s de l’interdisciplinarité et de s’y restreindre. En ce sens, la définition suivante est offerte :

**Définition 5 : Intégration =<sub>DF</sub>**

« L’intégration est [(1)] le processus cognitif [(2)] d’évaluation critique des apports disciplinaires et de [(3)] création d’un terrain d’entente [common ground] entre elles pour [(4)] construire une compréhension plus exhaustive. La nouvelle compréhension est le produit ou le résultat du processus intégrateur. »<sup>68</sup>. (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 21)

Divers *traits* sont sous-jacents aux termes associés à l’intégration et nécessitent d’être rapportés en bloc pour compléter l’exposition du concept. Ainsi,

- [Ces termes] impliquent que la motivation par objectif [goal-driven] consiste en la résolution d’un problème, la réponse à une question ou la résolution d’un enjeu.
- L’évaluation critique est un élément central des activités intégratives.
- Ce qui est évalué de façon critique est l’apport disciplinaire.
- La nature du processus intégrateur est la combinaison ou l’unification créative.
- Ce qui est combiné, unifié ou recomposé est les concepts disciplinaires, les postulats, ou les théories utilisées pour produire ces apports.
- La résultante de l’intégration est valide seulement pour un problème et un contexte particulier.
- L’objet de ce processus est la formation créative de quelque chose de nouveau, de plus grand que, et de différent de la somme des parties — une compréhension plus exhaustive. (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 221)

---

par opposition à seulement académique) (p. 1866-1867). Aussi, dans REPKO et SZOSTAK (2016), un manuel d’apprentissage [textbook], la distinction suivante est rapportée : « [l]a multidisciplinarité étudie un sujet du point de vue de plusieurs disciplines à la fois, mais n’essaie pas d’intégrer leurs apports [; l]’interdisciplinarité étudie un problème complexe (y compris les mégas problèmes) en s’appuyant sur les apports disciplinaires (et parfois le point de vue des parties prenantes) et en les intégrant [; et l]a transdisciplinarité est mieux comprise comme un type d’interdisciplinarité qui met l’accent sur la recherche en équipe, une approche par étude de cas, et surtout l’intégration non seulement entre les disciplines, mais aussi au-delà du milieu universitaire » (p. 27).

68. Traduction libre de « Integration is the cognitive process of critically evaluating disciplinary insights and creating common ground among them to construct a more comprehensive understanding. The new understanding is the product or result of the integrative process ».

Pour préciser plus encore le sens de la définition 5, il est possible de disséquer celle-ci en quatre sections selon les chiffres inclus à travers celle-ci. De façon concomitante, la séquence du processus d'intégration pourra être exposée. Les sections (1) et (4) ayant été définies plus haut (voir définitions 3 et 4), seules les deux autres seront développées.

Sur (2), REPKO et SZOSTAK (2016) précisent que par cela, ils entendent « l'identification des conflits entre les apports disciplinaires et leurs sources » (p. 245). De même, REPKO et SZOSTAK (2016) ajoutent que ces conflits peuvent se situer au sein même des disciplines (p. 245-246) ou entre les disciplines (p. 246-247) et que leurs sources peuvent se situer autant dans les concepts (p. 248), les postulats (p. 249-250) ou les théories (p. 250-251). De plus, ils ajoutent que l'étape (2) « est préparatoire à [(3)] et [(4)] » REPKO et SZOSTAK (2016, p. 245).

Sur (3), REPKO et SZOSTAK (2016) précisent qu'« [u]n terrain d'entente interdisciplinaire consiste à modifier un ou plusieurs concepts ou théories et leurs postulats sous-jacents » (p. 269). Différentes méthodes sont proposées pour ce faire (pour la modification de concepts et de postulats, voir REPKO et SZOSTAK (2016, p. 278-288) ; pour la modification de théories, voir REPKO et SZOSTAK (2016, p. 302-318)). Ces derniers mentionnent que « [(3)] est sans aucun doute la tâche la plus difficile pouvant être rencontrée dans le processus de recherche interdisciplinaire » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 269). De plus, faisant appel à la métaphore du pont pour représenter (3) où d'un côté serait situé (2) et de l'autre (4), ces derniers mentionnent que « [à] moins que l'interdisciplinarien-ne construise premièrement le pont de [(3)] pour connecter les deux côtés, l'entreprise intégrative ne peut réussir » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 269-270).

À la lumière de ces précisions, l'intégration peut être reformulée grossièrement comme le fait de suivre une procédure ou stratégie selon la séquence d'étape suivante : l'identification des conflits entre les apports disciplinaires et leurs sources ; la modification d'un ou plusieurs concepts ou théories conflictuels et de leurs postulats sous-jacents ; et la production d'une compréhension nouvelle et plus complète et peut-être plus nuancée.

### 1.2.2. Problématiques des modalités de l'intégration (*quoi ? et comment ?*)

Des termes introduits plus haut liés au lexicon propre à l'interdisciplinarité, plusieurs sont considérés comme conceptuellement problématiques ou nécessitant des précisions conceptuelles. Il s'agit, d'ailleurs, d'un apport que l'analyse philosophique de l'interdisciplinarité est (ou devrait être) à même de produire. Résumé succinctement,

« [l]e langage habituellement utilisé pour parler des disciplines et de leurs relations doit être clarifié, et c'est là que la philosophie excelle. Ce langage est souvent très métaphorique ou ambigu. Cette problématique commence par le terme "discipline" lui-même, accentuée par les analogies proposées avec des choses telles que les États nations et les guildes. L'interdisciplinarité est souvent caractérisée en termes de métaphores géographiques, telles que les "frontières" entre les "zones" et les "champs" qui sont "traversés" et "pontés" [bridged], etc. L'"intégration" est un autre terme populaire qui a désespérément besoin d'être analysé. »<sup>69 70</sup> (MÄKI 2016, p. 337-338)

Considérant l'importance de l'intégration dans la caractérisation de l'interdisciplinarité, celle-ci, comme mentionné plus haut, pouvant être considérée comme la condition nécessaire et suffisante de ce mode de production de connaissance, il est d'intérêt de s'attarder particulière à ce terme. Une problématique majeure rencontrée par cette notion se révèle quant aux modalités de l'intégration, notamment sur ce qui est intégré (*quoi ?*) et par quel processus (*comment ?*). REPKO (2007) décrit même ce problème par la formule suivante : « le talon d'Achille de l'interdisciplinarité [est] le manque de clarté sur précisément *quoi* intégrer et *comment* l'intégrer » (p. 7). La proposition de REPKO et SZOSTAK (2016), rapportée plus haut, offre explicitement un traitement de l'interdisciplinarité accommodant cette problématique et structure même leur livre en conséquence. En effet, ces derniers mentionnent que leur définition « a à la fois une composante *quoi* et *comment* [et que l]es chapitres 1 et 2

---

69. Un exemple patent de l'utilisation d'analogie géographique est fourni par la métaphore de l'archipel de BERGER (1972) reprise notamment par KLEIN (1990) comme nom pour son second chapitre. Sur le problème de l'interdisciplinarité dans l'éducation supérieure, ce dernier mentionne qu'un projet de recherche théorique portant sur un modèle d'université apte à l'accommoder aurait la caractéristique métaphorique suivante : « [i]l vise à explorer un certain nombre d'îles dispersées ou regroupées, aux dimensions et structures diverses, situées dans ce que nous appellerions volontiers l'archipel interdisciplinaire, car nous sommes bien conscients de la disparité de ces expériences, de leur morcellement, de leur rupture plus ou moins grande avec le système qui les entoure, à la fois, les provoquant et les rejetant » (BERGER 1972, p. 23) .

70. Concernant les problématiques conceptuelles, MÄKI (2016) ajoute que « [d]es catégories telles que la multi-, l'inter-, la [cross]-, la pluri-, la trans-, et d'autres types de X-disciplinarité ont reçu de multiples définitions dans la littérature, mais elles manquent souvent de rigueur analytique suffisante. Elles permettent d'autres divisions en sous-catégories, leurs limites restent vagues et les dimensions sous-jacentes n'ont pas été élaborées avec suffisamment de soin » (p. 331). .

de [leur] livre expliquent la partie *quoi* ; les autres chapitres, qui traitent du processus de recherche interdisciplinaire, expliquent la partie *comment* » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 9). L'enchaînement des chapitres de leur ouvrage suit en effet le processus algorithmique de leur modèle intégré du processus de recherche interdisciplinaire (IRP) se déclinant en dix étapes séquentielles (figure 1.2)<sup>71 72</sup> .

<b>AN INTEGRATED APPROACH TO THE INTERDISCIPLINARY RESEARCH PROCESS</b>	
<i>REPKO*</i>	
<b>A. DRAWING ON DISCIPLINARY INSIGHTS</b>	
1.	Define the problem or formulate the focus question
2.	Justify using an interdisciplinary approach
3.	Identify relevant disciplines
4.	Conduct a literature search
5.	Develop adequacy in each relevant discipline
6.	Analyze the problem and evaluate each insight into it
<b>B. INTEGRATING INSIGHTS AND PRODUCING AN INTERDISCIPLINARY UNDERSTANDING</b>	
7.	Identify conflicts between insights and their sources
8.	Create or discover common ground
9.	Integrate insights
10.	Produce an interdisciplinary understanding of the problem and test it

**FIGURE 1.2.** Représentation des dix étapes du modèle intégré du processus de recherche interdisciplinaire (IRP) (figure tirée de REPKO (2006, p. 23) repris dans REPKO et SZOSTAK (2016, p. 78)).

Sur la première question, REPKO et SZOSTAK (2016) précisent que « [l]e modèle [IRP] intègre les *apports* concernant un problème particulier complexe » (p. 231). Ainsi, « [l]es théories et les apports qu’elles produisent de même que leurs concepts et postulats constituent la “matière première” de l’intégration » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 231). Ceux-ci sont « produits par les disciplines, sous-disciplines, interdisciplines, écoles de pensée, domaines professionnels et projets de recherche fondamentale » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 231). De façon précise, la définition suivante est rapportée :

71. Ce modèle introduit rapporté dans REPKO (2006) représente la synthèse de trois modèles de l’intégration proposés par différent-e-s auteur-e-s soit (a) KLEIN (1990, p. 188-189) ; (b) NEWELL (2007, p. 248) ; et (c) SZOSTAK (2002, p. 105-119). Voir REPKO (2006) pour plus de détails.

72. Pour une exposition complète de ce modèle et de ses caractéristiques, voir REPKO et SZOSTAK (2016, chapitre 3).

**Définition 6 : apport disciplinaire [insight] =  $D_f$**

« une contribution scientifique à la clarification de la compréhension d'un problème fondée sur la recherche. »<sup>73 74</sup> (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 4)

Il est possible de reformuler de façon exacte cette réponse à la question *quoi ?* de la façon suivante : considérant une question donnée  $q$ , ce qui est intégré est un apport disciplinaire correspondant à un élément (ou un ensemble d'éléments)  $\phi$  permettant une compréhension claire  $U$  de  $q$ , i.e.  $U(\phi, q)$ .

Sur la deuxième question, REPKO et SZOSTAK (2016) précisent que « [l]e modèle [IRP] utilisent une approche processuelle pour réaliser l'intégration » (p. 232). Celle-ci procède en trois étapes : « (1) l'identification des conflits dans les contributions et la localisation de leurs sources [...], (2) la création d'un terrain d'entente [common ground] entre les concepts, postulats [...] ou théories [...] disciplinaires conflictuels, et (3) la construction d'une compréhension plus exhaustive du problème [...] » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 232)<sup>75 76</sup>. Cette séquence peut d'ailleurs être remarquée en filigrane de la définition de l'intégration introduite plus haut (définition 5). Ainsi, la définition de l'intégration proposée par REPKO et SZOSTAK (2016) contient en elle-même les étapes pour sa propre réalisation. Cela s'explique par le fait que l'intégration est conçue dans celle-ci comme un processus, une série d'étapes reliées entre elle séquentiellement, et non pas un objet, e.g. l'extrait d'un processus. À la lumière de cette précision, il est possible de reformuler de façon exacte cette réponse à la question *comment ?* de la façon suivante. Considérant une question donnée  $q$ , les apports  $\phi_1, \dots, \phi_n$  de différentes disciplines sont intégrés par un processus en trois étapes suivant : (1) la présence

---

73. Traduction libre de « [a] scholarly contribution to the clear understanding of a problem based on research ».

74. Les apports sont distingués des perspectives disciplinaires. En effet, « [l]e processus de recherche interdisciplinaire implique l'intégration de contributions disciplinaires —pas leurs perspectives— concernant un problème particulier » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 231). Cette distinction est illustrée à l'aide de plusieurs exemples. Dans le cas des sciences de la terre, « [q]uand cette perspective est appliquée à un problème particulier, comme l'endiguement d'un système de rivières comme ceux du Columbia, la contribution que les sciences de la terre peut générer (sous la forme de monographie académique, article scientifique ou rapport pour une agence publique) est que la construction de ce système de barrages est réalisable considérant les caractéristiques géologiques du bassin Columbia » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 231-232). Pour d'autres exemples, voir REPKO et SZOSTAK (2016, p. 232).

75. Successivement, les étapes 7, 8 et 9 du modèle IRP représenté dans la figure 1.2.

76. Les avantages de ce processus pour réaliser l'intégration, inscrit dans le modèle IRP, sont comparés à d'autres approches d'intégration promue par certains secteurs du monde académique, i.e. la contextualisation, la conceptualisation et la résolution de problème. Pour une exposition des avantages et inconvénients de ces différentes approches, voir REPKO et SZOSTAK (2016, p. 232-233) pour approche par contextualisation ; REPKO et SZOSTAK (2016, p. 233-234) pour approche par conceptualisation ; REPKO et SZOSTAK (2016, p. 234-235) pour approche par résolution de problème.

de conflits est évaluée, e.g.  $E(\phi_1, \dots, \phi_n)$ ; (2), s'il y a conflit, e.g.  $E(\phi_1, \dots, \phi_n) \rightarrow \perp$ <sup>77</sup>, des techniques  $T$  sont utilisées, selon le conflit identifié, pour créer un terrain d'entente<sup>78</sup>, e.g.  $T(\{\phi_1, \dots, \phi_n\}, \perp) \rightarrow \{\phi_1, \dots, \phi_n\}'$ ; et (3) ces apports non conflictuels sont mobilisés pour construire une compréhension  $U$  plus exhaustive de  $q$ , e.g.  $U(\{\phi_1, \dots, \phi_n\}', q)$ .

Une analyse philosophique détaillée et exhaustive de cette réponse à la problématique d'imprécision des modalités de l'intégration (les *quoi ?* et *comment ?*) restant une tâche à accomplir, il sera ici nécessaire d'en construire une ébauche, faute de compte rendu adéquat dans la littérature philosophique. Pour ce faire, la définition de REPKO et SZOSTAK (2016) présentée plus haut (voir définition 5) sera décomposée à la lumière des deux questionnements problématiques, i.e. *quoi ?* et *comment ?*, et les éléments de réponse seront évalués dans leur capacité répondre à ce cadre grossier d'analyse.

Sur la première réponse de REPKO et SZOSTAK (2016), la notion de compréhension claire  $U(x, y)$  est à définir. En effet, la nature de cette relation entre les éléments de la discipline  $\phi$  et la question  $q$  est imprécise. Par exemple, sous cette formulation, la relation pourrait autant en être une d'explication entre un *explanans* (ou des *explanantia*) avec un *explanandum* (ou des *explananda*), i.e.  $U(\textit{explanans}, \textit{explanandum})$ , que d'explicitation entre un *explicandum* (ou des *explicanda*) et un *explicatum* (ou des *explicata*), i.e.  $U(\textit{explicandum}, \textit{explicatum})$ <sup>79</sup>. Dans le premier cas, les éléments mobilisés  $\phi_{\textit{explique}}$  expliqueraient la question  $q$ , i.e. fourniraient les prémisses pour déduire celle-ci, alors que dans le second cas, les éléments mobilisés  $\phi_{\textit{explcite}}$  permettraient de modifier  $q$  en une question  $q$  plus exacte. La problématique ici vient du fait que la notion de *compréhension claire* n'est pas définie malgré le fait qu'elle

---

77. Diverses sources de conflits entre apports disciplinaires sont identifiées par REPKO et SZOSTAK (2016). Ceux-ci mentionnent les trois suivants : « leurs concepts fondamentaux, leurs théories et leurs postulats sous-jacents » (p. 266). Il est à noter que ces conflits peuvent être au sein des disciplines ou entre celles-ci. Voir REPKO et SZOSTAK (2016, chapitre 9) pour plus de détails.

78. Par exemple, sur les conflits entre concepts et postulats REPKO et SZOSTAK (2016) mentionnent que « [c]ette décision devrait être fondée sur la nature et la portée du conflit » (p. 278). En ce sens, trois situations de conflits peuvent être distinguées : « [(a)] les concepts et les hypothèses ne sont pas du tout contradictoires, bien que la terminologie ou le contexte propre à la discipline ne permettent pas de dégager les points communs[; (b)] les concepts et les hypothèses de deux disciplines sont différentes, mais ne s'opposent pas; ils ne représentent que des alternatives[; et (c)] les concepts et les hypothèses sont diamétralement opposés » (NEWELL (2007, p. 258) repris par REPKO et SZOSTAK (2016, p. 278)). Voir REPKO et SZOSTAK (2016, chapitre 10 et 11) pour une exposition complète incluant les trois types de conflits, i.e. concepts, postulats et théories.

79. Ici, explicitation est utilisé au sens utilisé par CARNAP (1950) où « [l]a tâche de l'explication consiste à transformer un concept donné plus ou moins inexact en un concept exact [...]. Nous appelons le concept donné (ou le terme utilisé pour lui) l'explicandum, et le concept exact proposé pour remplacer le premier (ou le terme proposé pour lui) l'explicatum » (CARNAP (1950, p. 3) cité par CORDES et SIEGWART (2019)).



joue le rôle de fonction propositionnelle à deux variables dans la définition d’apport disciplinaire (définition 6)<sup>80</sup>. Or, un corollaire de cela est que la détermination de ce à quoi réfère une contribution scientifique, i.e.  $\phi$ , peut difficilement être spécifié. En effet, en reprenant les deux exemples introduits plus haut, si la relation *explique*, l’ensemble des éléments disciplinaires  $\phi$  sera nécessairement différent de si la relation *explícite*, i.e.  $\{\phi_{explique}\} \neq \{\phi_{explícite}\}$ . Ainsi, répondre à la question ce qui est intégré, le *quoi*, nécessite de préciser ce à quoi réfère un apport disciplinaire parce que l’extension  $\phi$  de la relation de compréhension claire  $U(x, y)$  n’est pas définie.

Sur la deuxième réponse de REPKO et SZOSTAK (2016), l’étape de création d’un terrain d’entente  $T(\{x, y\}, z) \rightarrow \{x, y\}'$  est problématique. En effet, au moins une des techniques proposées pour modifier l’ensemble d’apports disciplinaires  $\{x, y\}$  en cas de conflit  $z$ , i.e. la *technique de l’extension*, tombe sous le joug de critiques passées, formulées en philosophie de la biologie, contre des méthodes d’intégration très similaires. En effet, il est soutenu que l’intégration par la généralisation des concepts conduit, après analyse, à une *pseudo-intégration*. Pour bien comprendre cette problématique, en premier lieu, la technique de l’extension proposée par REPKO et SZOSTAK (2016) sera brièvement décrite pour ensuite exposer les critiques formulées par VAN DER STEEN (1990) et VAN DER STEEN (1993).

La *technique de l’extension* est proposée comme l’une des solutions en cas de conflits entre concepts ou postulats des disciplines incluses dans le processus de recherche interdisciplinaire. Grossièrement, cette dernière « réfère à l’augmentation de la portée du “quelque chose” dont nous parlons » (REPKO et SZOSTAK 2016, p. 282). Ainsi, pour un ou des concepts ou un postulat conflictuel, la résolution est effectuée « en étendant leur signification au-delà du domaine de la discipline qui les a créés dans le(s) domaine(s) de la ou des autres disciplines pertinentes » (NEWELL (2007) cité par REPKO et SZOSTAK (2016, p. 282)).<sup>81</sup>. La critique formulée dans VAN DER STEEN (1990) et reprise dans VAN DER STEEN (1993) est dirigée plus largement sur les analyses de l’interdisciplinarité en philosophie de la biologie. Celles-ci sont considérées comme trop peu critiques. En effet, il est souligner que l’approche

---

80. Le problème ici n’en est pas un d’incompatibilité logique, les deux interprétations ci-dessus étant compatibles, mais plutôt de clarté conceptuelle. Le fait qu’il ait été nécessaire de formuler ces deux interprétations de manière externe aux travaux de REPKO et SZOSTAK (2016), l’une ou l’autre pouvant ou non correspondre à ce qui est entendu par compréhension claire, montre bien qu’un flou existe. Or, comme, cette confusion affecte un concept élémentaire du lexicon de l’interdisciplinarité, celle-ci est problématique.

81. Pour des exemples concrets de l’utilisation de cette technique dans la création d’un terrain d’entente, voir REPKO et SZOSTAK (2016, p. 282-283).

de l'intégration dans cette branche est très descriptive où « [l]es résultats présentés par les scientifiques sont souvent tenus pour acquis sans une évaluation critique des théories supposées intégratives » (VAN DER STEEN 1993, p. 263). Ce faisant, plusieurs cas d'intégration peuvent être révélés, post-analyse, comme des cas de pseudo-intégration. Succinctement,

« [d]es concepts tels que stress, taxie, kinésie, valeur adaptative et sélection jouent un rôle crucial dans les théories qui ont été présentées comme de grandes intégrations. Ma thèse est que dans chacun de ces cas, il s'agit de pseudo-intégrations dans lesquelles les concepts impliqués jouent le rôle de pseudo-intégrateur. » (VAN DER STEEN 1993, p. 271-272)

Pour illustrer plus clairement la critique, le cas du concept de stress sera rapporté, cette critique s'appliquant, *mutatis mutandis*, aux autres cas<sup>82</sup>. VAN DER STEEN (1993) mentionne qu'au cours des années 1970-1980, « de nombreux chercheur-e-s ont soutenu que pour vraiment comprendre le stress, nous devons intégrer les théories élaborées par les biologistes et les psychologues » (p. 264). En effet, le concept voyait son référent varier en fonction du champ de recherche concerné. Plus précisément, « les psychologues ont utilisé le terme "stress" pour désigner les stimuli et les états internes, alors qu'il était utilisé en physiologie pour désigner les réponses » (VAN DER STEEN 1993, p. 264). Ainsi, il a été proposé de généraliser le concept afin qu'il réfère à la conjonction de ces référents. Ce faisant, « "[s]tress" a été défini comme une relation particulière entre les stimuli, les états internes et les réactions des organismes » (VAN DER STEEN 1993, p. 264). Or, référant à ces travaux antérieurs, viz. VAN DER STEEN et THUNG (1988), ce dernier souligne que « ce qui passe ici pour des théories intégratives est problématique puisque des concepts trop généraux sont le lieu de l'intégration » (VAN DER STEEN 1990, p. 32). La problématique est la suivante. En conjoignant, entre autres, stimuli et réponse, une relation logique est établie entre les deux. Or, mentionne VAN DER STEEN (1993), « les stimuli de stress sont une catégorie hétérogène » (p. 264) et il apparaît « que la meilleure façon de les définir soit en termes de réponses » (p. 264). Ainsi, « vous ne pouvez pas faire cela et en même temps prétendre que vous avez découvert une belle loi empirique générale qui dit que les stimuli de stress produisent toujours une réponse au stress » (VAN DER STEEN 1993, p. 264). En effet, il découlerait qu'« il serait

---

82. Pour l'analyse complète de ces différents concepts, voir les sections suivantes : stress (VAN DER STEEN 1993, section 3) ; taxie et kinésie (VAN DER STEEN 1993, section 4) ; valeur adaptative et sélection (VAN DER STEEN 1993, section 5).

*logiquement* impossible qu'un stimulus de stress *ne* produise pas une réaction de stress » (VAN DER STEEN 1993, p. 264). En d'autres termes,

« il est maintenant difficile de démêler les liens définitionnels et les liens factuels dans la recherche sur le stress. Si certaines relations entre les stimuli et les réponses sont *définies* comme du stress, on ne peut pas en même temps vérifier si elles représentent ou non du stress sur la base de la recherche empirique. Pourtant, la littérature montre que les chercheurs essaient souvent de faire les deux choses en même temps. » (VAN DER STEEN 1990, p. 33)

Ainsi, « [l']analyse philosophique montre que les théories interdisciplinaires du stress représentent une sorte de pseudo-intégration, sous la forme d'une unité terminologique plutôt que substantive » (VAN DER STEEN 1993, p. 265) »<sup>83</sup>. La conséquence principale est que l'évaluation de cette méthode d'intégration par les outils de la philosophie produit la recommandation suivante : « n'essayez pas de réaliser l'intégration interdisciplinaire simplement en augmentant la généralité des concepts » (VAN DER STEEN 1990, p. 34)<sup>84</sup>. Pour reprendre le cas de la technique de l'extension mentionnée plus haut, ces conclusions excluent ce type de technique comme approche viable pour réalisation l'intégration. Plus précisément, une des techniques  $t$ , i.e. la technique de l'extension, dans l'ensemble des techniques  $T$  utilisées pour créer un terrain d'entente produit des pseudo-intégrations. En ce sens, cette technique ne peut assurer la construction d'une compréhension  $U$  plus exhaustive  $q$ . Ce faisant, la réponse de REPKO et SZOSTAK (2016) sur la modalité *comment ?* de l'intégration ne couvre que l'aspect descriptif de la question en laissant de côté l'aspect normatif. En effet, la question *comment ?* peut être décomposé en les deux sous-questions suivantes : (1) *comment les cas présumés d'intégration ont été réalisés ?* et (2) *comment l'intégration devrait être réalisée ?*. Or, la technique de l'extension n'est valable que pour répondre à la partie (1) de la question.

---

83. Pour un second cas problématique où le concept de stress joue le rôle de pseudo-intégrateur, mais à l'interne de la biologie, voir (VAN DER STEEN 1993, p. 265-266).

84. Plus largement, VAN DER STEEN (1990) identifie un rôle primordial à la philosophie dans l'analyse critique de l'intégration interdisciplinaire. En effet, il mentionne qu'elle peut offrir une ligne directrice « en premier lieu en formulant des contraintes pour le travail interdisciplinaire » (p. 34). VAN DER STEEN (1993) développe cette conclusion en mentionnant que « [l']une des tâches des philosophes en ce qui concerne la cohérence théorique et l'intégration interdisciplinaire en science consiste à préciser les conditions qui favorisent l'intégration et à formuler des critères pour évaluer les intégrations [où l']évaluation est une entreprise normative » (p. 272).

De façon générale, il apparaît donc que les réponses fournies par REPKO et SZOSTAK (2016) pour répondre à la problématique d'imprécision des modalités de l'intégration (les *quoi ?* et *comment ?*) sont insuffisantes. La raison est grossièrement que, d'une part, l'extension de ce qui est intégré n'est pas définie et, d'autre part, que seul l'aspect descriptif de la façon de réaliser l'intégration est couvert.

### 1.2.3. Résumé

Plusieurs définitions de l'interdisciplinarité sont présentes dans la littérature. Aux extrêmes du spectre définitionnel se trouvent les définitions pluralistes précises (e.g. SCHMIDT (2008) et SCHMIDT (2011)) et les définitions monistes très générales et abstraites (e.g. MÄKI (2016)). Une définition type est proposée dans REPKO et SZOSTAK (2016) et se décline ainsi : « [l']intégration est le processus cognitif d'évaluation critique des apports disciplinaires et de création d'un terrain d'entente entre elles pour construire une compréhension plus exhaustive » (p. 21). La problématique principale associée avec la définition de l'interdisciplinarité concerne ce qui est considéré comme sa condition nécessaire et suffisante : l'intégration. En effet, les modalités de cette dernière sont imprécises, i.e. les *quoi ?* et *comment ?* de l'intégration sont floues. Cette problématique est même qualifiée de « talon d'Achille de l'interdisciplinarité » (REPKO 2007, p. 7). Même la définition de REPKO et SZOSTAK (2016) ne permet pas entièrement de répondre à ces problématiques, malgré le fait qu'elles soient directement abordées par ceux-ci. En effet, sur la précision de ce qui est intégré, le problème est que l'extension n'est pas définie. Sur la précision du fonctionnement de l'intégration, le problème est que seulement l'aspect descriptif de la question est couvert. Ainsi, la problématique de l'imprécision des modalités de l'intégration est toujours présente.

## 1.3. Intégration et philosophie de la biologie

### 1.3.1. Les trois justifications

Les problématiques types liées aux tentatives de conceptualisation de l'interdisciplinarité ayant été spécifiées, il reste à préciser les justifications poussant à explorer les modèles développés en philosophie de la biologie dans la recherche d'intrants pour y répondre. Bien que ces rapprochements entre philosophie de la biologie et philosophie de l'interdisciplinarité aient déjà été faits par d'autres philosophes, e.g. O'ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN

(2016)<sup>85</sup>, les motivations restent minces et peu argumentées. Ainsi, un objectif collatéral ici est d’offrir une telle justification.

Grossièrement, trois raisons peuvent être mobilisées pour justifier la mobilisation des ressources conceptuelles de la philosophie de la biologie en philosophie de l’interdisciplinarité, i.e. l’utilisation de la première comme *source* d’outils conceptuels pour la seconde, :

- (1) les objets d’études de ces deux branches ayant un important recoupement entre leurs caractéristiques, les outils conceptuels développés dans ces branches ont, *a priori*, des capacités analytiques similaires ;
- (2) le nombre et la distribution temporelle des propositions de modèles d’intégration développées en philosophie de la biologie laissent croire à un bassin de modèles diversifiés et sophistiqués ;
- (3) et la présence de nombreux cas d’études différant fortement, notamment sur les objets d’études, la portée et la temporalité de ceux-ci et les champs de recherche impliqués.

Chacune de ces justifications peut être développée ainsi.

Sur la première justification, (1), la similitude entre les caractéristiques des objets d’études de la philosophie de la biologie et de l’interdisciplinarité, i.e. la biologie et les cas d’interdisciplinarité, laisse croire que les outils conceptuels développés dans ces branches et visant à les analyser ont des capacités analytiques similaires. En effet, il est attendu d’un outil conceptuel, e.g. un modèle, mobilisé pour permettre l’étude d’un objet donnée, qu’il soit apte à accommoder les idiosyncrasies de cet objet. Cette aptitude peut évidemment varier en fonction du niveau de sophistication de l’outil, mais il est raisonnable de croire qu’un outil ne pouvant rendre compte minimalement des particularités d’un objet ne serait simplement pas choisi pour analyser ce dernier (sauf dans le cas où aucun autre outil ne serait disponible). De façon schématique, un outil conceptuel  $q$  possède certaines capacités analytiques  $r$ . Un objet d’études  $s$  possède un ensemble de caractéristiques  $t$ . L’aptitude  $Apt(x,y)$  d’un outil  $q$  dans l’analyse d’un objet  $s$ , i.e.  $Apt(q, s)$ , est fonction de la taille de l’ensemble  $M$  produit par la

---

85. Celui-ci, entre autres, mentionne dans la justification de la philosophie de la biologie comme source pour le développement d’un modèle visant à rendre compte de l’intégration que « [l]a philosophie de la biologie se distingue comme une littérature dans laquelle l’intégration a reçu un traitement sophistiqué » (O’ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN 2016, p. 63).

mise en relation entre les capacités  $r$  de  $q$  et les caractéristiques  $t$  de  $s$  où, dans cet ensemble, ne sont conservé que les occurrences positives, i.e. l'outil a la capacité d'analyser la caractéristique. Par exemple, un outil  $q_1$  pourrait posséder un ensemble de capacités analytiques  $r_1$  très grand, mais tout de même posséder une faible aptitude à analyser l'objet  $s_1$  dû a une inadéquation entre  $r_1$  et les caractéristiques  $t_1$  de  $s_1$ , i.e.  $M$  est très petit. Ainsi, dans le cas où deux objets,  $s_1$  et  $s_2$ , possèdent du recoupement entre leurs caractéristiques,  $t_1 \cap t_2 \neq \emptyset$ , la probabilité qu'un outil  $q_1$ , très apte à rendre compte de  $s_1$ , i.e. dont l'ensemble  $M$  est grand, soit apte à rendre compte de  $s_2$  varie selon la taille de l'intersection entre les caractéristiques de  $s_1$  et  $s_2$ . Autrement dit, la relation entre  $Apt(q_1, s_1)$  et  $Apt(q_1, s_2)$  est fonction de  $t_1 \cap t_2$ . Ce faisant, considérant deux objets d'études  $s_1$  et  $s_2$ , si  $t_1 \approx t_2$ , alors  $Apt(q, s_1) \approx Apt(q, s_2)$ . En d'autres termes, deux disciplines ou champs de recherche pour lesquels il existe des similitudes entre leurs objets de recherche (partageant donc plusieurs caractéristiques) vont avoir un potentiel plus élevé de transferts latéraux d'outils conceptuels puisque la probabilité de retrouver des outils adéquats, pour l'une ou pour l'autre, est plus élevée<sup>86 87</sup>. Si cette prémisse est vraie, il suffit d'identifier des similitudes entre les caractéristiques des objets d'études de la philosophie de la biologie et de l'interdisciplinarité pour justifier la recherche *a priori* de modèles à importer/exporter entre ces deux branches. Deux éléments peuvent être rapportés pour soutenir ces prémisses. D'une part, un pluralisme épistémologique est mentionné comme étant inhérent aux deux objets. En effet, dans le cas de la philosophie de la biologie, la citation suivante peut être mobilisée pour soutenir cette affirmation. BRIGANDT (2010) rapporte que, suite aux différents échecs des approches réductionnistes en biologie,

---

86. Sur ce point, il pourrait être contre-argumenté que ce n'est pas la taille de  $t_1 \cap t_2$  qui importe pour évaluer *a priori* la probabilité  $Apt(q, s_1) \approx Apt(q, s_2)$ , mais plutôt la pertinence des caractéristiques partagées. En effet, il est possible d'imaginer un cas où  $t_1 \cap t_2$  est très grand, mais où seules des caractéristiques très distales aux questions centrales de la discipline ou du champ de recherche sont partagées. Ainsi, même si  $Apt(q_1, s_1)$  est très grand, cela ne serait pas garant que  $Apt(q_1, s_2)$  le soit aussi. En d'autres termes, pour certains cas, une relation d'indépendance existerait entre  $M_{Apt(q_1, s_1)}$  et  $M_{Apt(q_1, s_2)}$  ou de covariance positive très faible. L'efficacité de ce contre-exemple s'appuie sur la possibilité de hiérarchiser les différentes caractéristiques (e.g. signifiante/insignifiante, pertinente/impertinente). Or, ici, l'ensemble  $t$  pour un objet  $s$  est une représentation abstraite plane au sens où sont la hiérarchisation entre les caractéristiques est aplanie par une fonction de proportionnalité dans l'espace de  $t$ . Plus explicitement, une caractéristique signifiante ici se voit attribuer un espace équivalent plus grand dans l'ensemble  $t$ . À l'inverse, une caractéristique insignifiante se voit attribuer un espace moindre. Se faisant, la proportion d'espace occuper dans  $t$  est une fonction de la pertinence d'une caractéristique. Formuler ainsi, dans le cas où  $t_1 \cap t_2$  est très grand,  $M_{Apt(q_1, s_1)}$  et  $M_{Apt(q_1, s_2)}$  vont nécessairement covarier positivement. Merci à Molly Kao (Université de Montréal) d'avoir souligné ce contre-exemple potentiel dans son commentaire du présent mémoire.

87. Ici, la notion de potentiel est importante puisqu'une multitude d'autres critères peuvent limiter le transfert latéral d'outils conceptuels. Pour une exposition des contraintes historiques ayant limité le transfert d'outils de la biologie vers la sociologie malgré un potentiel élevé, voir BLUTE (2010).

« un large consensus anti-réductionniste s’est formé, parfois formulé en termes de désunité de la biologie (DUPRÉ (1993) ; ROSENBERG (1994)). Plus communément, les philosophes de la biologie en sont venus à adopter l’étiquette de ‘pluralisme’ (MITCHELL 2003), soutenant que la biologie est et devrait être caractérisée par une pluralité de méthodes, d’approches théoriques et de modes d’explication. [...] Le pluralisme a été défendu non seulement sur la base de scientifiques ayant des intérêts et des méthodes de recherche légitimes différents, mais aussi en référence à la complexité des phénomènes biologiques, enracinant le pluralisme épistémologique dans les caractéristiques objectives de la nature. » (BRIGANDT 2010, p. 296)

En philosophie de l’interdisciplinarité, tel que rapporté plus haut, les diverses formes d’interdisciplinarité sont mentionnées comme partageant un engagement envers le pluralisme épistémologique (voir page 25). Ainsi, les outils conceptuels visant à rendre compte de la biologie et de la recherche interdisciplinaire doivent accommoder la cohabitation entre divers postulats, concepts et théories adoptés localement et parfois incompatibles. D’autre part, et cela est explicite dans la citation introduite plus haut pour la philosophie de la biologie, la complexité du monde est un postulat commun aux deux objets et est intrinsèque à leur cadre théorique. Cela a d’ailleurs aussi été rapporté plus lors de la caractérisation de l’interdisciplinarité (voir page 25) au sens où la complexité du monde est aussi posée et motive l’interdisciplinarité elle-même. Ainsi, les outils conceptuels visant à rendre compte de la biologie et de la recherche interdisciplinaire doivent accommoder le postulat que le monde, intrinsèquement, pose des limites épistémologiques importantes, ce dernier ne pouvant être subsumé à un ensemble réduit de principes posés (ou interprétables) par une seule discipline ou un seul champ de recherche.

Ces deux postulats conditionnant fortement comment une discipline les possédant est caractérisée<sup>88</sup>, et conséquemment l’appareillage conceptuel développé pour en rendre compte, il apparaît raisonnable de croire que les capacités analytiques des outils conceptuels entre deux disciplines les possédant seront similaires. Ainsi, la recherche de modèles conceptuelle en philosophie de la biologie pour exporter en philosophie de l’interdisciplinarité est justifiée

---

88. Sur ce point, une exposition détaillée de l’influence qu’ont les postulats de pluralisme épistémologique et de complexité du monde sur la conceptualisation d’un objet de recherche dépasse largement le cadre de ce mémoire. Par contre, à titre d’exemple grossier, les changements conceptuels profonds ayant affecté la philosophie des sciences au cours de la deuxième moitié du 20e siècle sont patents en ce sens, e.g. les débats sur la (dés)unité des sciences face au problème posé par les sciences spéciales. Pour plus d’information sur cette question, voir l’entrée du *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* de CAT (2017).

par des capacités analytiques *a priori* similaires entre les outils conceptuels des ces deux champs de recherche, par la similarité entre leurs objets de recherche.

Sur la deuxième justification, (2), le nombre et la distribution temporelle des modèles d'intégration dans l'histoire de la philosophie de la biologie laisse croire en une forte diversité de modèles de même que la présence de modèles sophistiqués<sup>89</sup>. En effet, il est possible de fixer la première proposition d'importance en la proposition de théorie interchamps de DARDEN et MAULL (1977) et la dernière d'importance en la proposition de pertinence explicative de NATHAN (2015). Sur cette période s'étalant sur une quarantaine d'années, de nouvelles propositions visant répondre aux problèmes rencontrés par les anciennes sont identifiables et se répartissent assez uniformément entre ces deux propositions. À titre indicatif, la liste suivante peut être rapportée :

- les théories interchamps (DARDEN et MAULL 1977) ;
- le raffinement conceptuel et l'extension explicative (KITCHER 1984) ;
- les théories intégrées interniveaux (KINCAID 1990 ; KINCAID 1997) ;
- le pluralisme intégrateur (MITCHELL 2002 ; MITCHELL 2003 ; MITCHELL 2004 ; MITCHELL et DIETRICH 2006) ;
- l'interconnexion théorique et pratique (GRANTHAM 2004) ;
- l'intégration méthodologique, des *data* et explicative (O'MALLEY et SOYER 2012) ;
- l'intégration des *data* (LEONELLI 2013 ; LEONELLI 2016) ;

---

89. Sur ce point, l'équivalence du concept d'*intégration* en philosophie de l'interdisciplinarité et de la biologie pourrait être questionné. En effet, l'utilisation du terme dans des contextes similaires ne permet d'éliminer le risque d'équivocité entre des concepts, ultimement, différents. Bien que l'analyse des différences entre les diverses formulations de l'intégration dans ces deux branches soit présente dans O'ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN (2016), ces deux concepts sont souvent simplement posés comme étant univoque, c'est-à-dire comme désignant le même phénomène ou des phénomènes très similaires, e.g. LOVE et LUGAR (2013) et NATHAN (2015). Ainsi, faute d'analyse plus poussée, le raisonnement suivant peut être offert afin de mettre en doute la pertinence de ce questionnement. Soit le concept d'intégration tel que retrouvé en philosophie de l'interdisciplinarité (ou théorie de l'interdisciplinarité) est adéquat, soit il ne l'est pas. Suivant les problématiques rapportées plus haut concernant le modèle IRP (voir section 1.2.2), il apparaît que la seconde proposition du dilemme est instanciée. Si cela est le cas, alors soit les modèles actuels en philosophie de l'interdisciplinarité doivent être amendés ou des modèles alternatifs doivent être proposés. Or, dans les deux cas, les modèles d'intégration en philosophie de la biologie sont d'une utilité certaine. D'une part, ceux-ci peuvent, dans une démarche heuristique, donc indépendamment de l'équivalence entre les notions d'intégration, fournir des intrants pour amender les modèles actuels défaillants. D'autre part, sous condition de répondre aux *desiderata* d'une conception générale de l'intégration en philosophie de l'interdisciplinarité, donc indépendamment de l'équivalence entre les notions d'intégration, les modèles en philosophie de la biologie peuvent être mobilisés à titre de proposition alternative. Ainsi, dans les deux cas, il n'est pas nécessaire que les deux concepts d'intégration soient équivalents pour justifier l'examen des modèles d'intégration en philosophie de la biologie. Merci à Molly Kao (Université de Montréal) d'avoir souligné ce questionnement dans son commentaire du présent mémoire.



- l’intégration mécanistique (BECHTEL 1986 ; BECHTEL 1993 ; CRAVER et DARDEN 2013) ;
- la pertinence explicative (NATHAN 2015) ;
- et, visant les sciences en général, mais fortement inspirée de cas des sciences biologiques, l’unité coordonnée (POTOCHNIK 2011 ; POTOCHNIK 2017).

Considérant cette liste, il apparaît raisonnable d’affirmer que ce bassin de propositions tirées de la philosophie de la biologie est diversifié au sens où au moins un sous-ensemble des propositions incluses dans cet ensemble va voir ses éléments différer significativement. Deux raisons peuvent être mobilisées pour justifier cette affirmation. D’une part, la distribution temporelle des propositions est assez uniforme. Ainsi, bien qu’il puisse y avoir du recoupement pour certaines propositions, leur contexte de développement, i.e. le contexte scientifique et philosophique dans lequel elles ont été élaborées, diffère forcément de même que leurs capacités analytiques particulières, et ce, de façon plus notable entre les plus anciennes propositions et les plus récentes. D’autre part, la diversité d’auteur-e-s et de nomination des propositions, étant elle-même assez élevée, laisse croire en une certaine variabilité. Une exploration plus fine de cette liste rend aussi raisonnable la croyance qu’au moins certaines de ces propositions possèdent un niveau de sophistication assez élevé. La raison soutenant cette affirmation est la récurrence de certains noms d’auteur-e-s, e.g. Lindley Darden dans DARDEN et MAULL (1977) et CRAVER et DARDEN (2013), ou de propositions, e.g. l’intégration des *data* dans les propositions de O’MALLEY et SOYER (2012) et LEONELLI (2013) et LEONELLI (2016). Ainsi, bien que la poursuite de travaux entamés sur le même sujet ou la reprise de propositions développées par d’autres auteur-e-s ne puissent garantir de façon nécessaire le caractère sophistiqué d’une proposition, ils en sont des indicateurs.

À la lumière de ces précisions, il apparaît raisonnable de croire que, considérant la diversité et la sophistication apparentes des modèles d’intégration développés en philosophie de la biologie, l’utilisation de la philosophie de la biologie comme source d’outils conceptuels pour la philosophie de l’interdisciplinarité est justifiable<sup>90</sup>.

---

90. Le lecteur sceptique qui considérerait que cette analyse sommaire est insuffisante pour soutenir les diverses affirmations ici (i.e. la présence de modèles diversités et sophistiqués dans le bassin de propositions tirées de la philosophie de la biologie) peut se référer au chapitre 2 pour une exposition détaillée de différents modèles (mécanistique, unité coordonnée et interchamp) et qui ne laisse aucun doute sur la valeur des conclusions ici tirées.

Sur la troisième justification, (3), l'analyse des cas d'intégration en philosophie de la biologie révèle une forte diversité, notamment sur leurs objets d'étude, leur portée et temporalité de même que les champs de recherche impliqués. En reprenant la liste des propositions rapportées plus haut pour en extraire les cas d'études, la liste suivante peut être produite :

- la biologie moléculaire (KINCAID 1990 ; KINCAID 1997) de même que ces sous-branches telles que la génétique (KITCHER 1984 ; DARDEN 2005 ; CRAVER et DARDEN 2013 ; POTOCHNIK 2011 ; POTOCHNIK 2017) et la biologie cellulaire (DARDEN et MAULL 1977 ; BECHTEL 1993 ; BECHTEL 2006) ;
- la neurobiologie (CRAVER et DARDEN 2001 ; CRAVER et DARDEN 2013) ;
- la synthèse moderne de l'évolution (DARDEN 1986 ; CRAVER et DARDEN 2013) et ces différentes phases (voir CALLEBAUT (2010) pour une exposition détaillée) ;
- la paléontologie (GRANTHAM 2004) ;
- la phytologie (LEONELLI 2013 ; LEONELLI 2016) ;
- la biologie des systèmes (KROHS et CALLEBAUT 2007) et sa variante évolutionnaire (SOYER 2012 ; O'MALLEY et SOYER 2012 ; SOYER et O'MALLEY 2013 ; O'MALLEY, SOYER et SIEGAL 2015) ;
- la biologie évolutionnaire du développement (aussi appelée Évo-Dévo) (BRIGANDT 2010 ; LOVE et LUGAR 2013 ; NATHAN 2015) ;
- la phylogénie (O'MALLEY 2013) ;
- la biologie du bruit (O'MALLEY et SOYER 2012) ;
- l'éthologie des insectes sociaux (MITCHELL 2002 ; MITCHELL 2003 ; MITCHELL 2004), mais aussi générale (POTOCHNIK 2011 ; POTOCHNIK 2017).

Considérant cette liste, il apparaît raisonnable d'affirmer que ce bassin d'études de cas tirés de la philosophie de la biologie est diversifié au sens où au moins un sous-ensemble de cas d'études inclus dans cet ensemble va voir ses éléments différer significativement. Trois raisons peuvent être mobilisées pour justifier cette affirmation. Premièrement, les domaines d'application des différents cas d'intégration présents dans la liste diffèrent grandement. À titre d'exemple, les cas d'intégration en paléontologie (GRANTHAM 2004), en neurobiologie (CRAVER et DARDEN 2001 ; CRAVER et DARDEN 2013) et en éthologie des insectes sociaux (MITCHELL 2002 ; MITCHELL 2003 ; MITCHELL 2004), vont considérer des ensembles d'objets ayant peu de recoupement entre eux. Ensuite, la portée et la temporalité des cas d'intégration mentionnés dans la liste diffèrent aussi grandement. À titre d'exemple, la comparaison entre l'intégration en biologie moléculaire (KINCAID 1990 ; KINCAID 1997) et l'intégration dans le cas la synthèse moderne de l'évolution (DARDEN 1986 ; CRAVER et DARDEN 2013 ; CALLEBAUT 2010) est éclairante. Le premier concerne principalement deux niveaux d'organisations

particuliers, le second est multiniveau et multitemporel. De même, le premier cas s'étend sur une échelle temporelle plus courte, ayant connu ces principaux développements à partir de la moitié du 20e siècle, alors que le second couvre presque l'ensemble du 20e siècle. Enfin, les champs de recherche impliqués dans les cas rapportés sont très variés. À titre d'exemple, le cas de la biologie du bruit (O'MALLEY et SOYER 2012) ne comprend que les outils de la biologie cellulaire, alors que le cas de la biologie évolutionnaire des systèmes (SOYER 2012 ; O'MALLEY et SOYER 2012 ; SOYER et O'MALLEY 2013 ; O'MALLEY, SOYER et SIEGAL 2015) inclut des apports de la biologie évolutionnaire, de l'informatique, de l'ingénierie, de la génétique des populations, de la biologie du développement, de la biologie moléculaire, etc.

À la lumière de ces précisions, il apparaît raisonnable de croire que, considérant la diversité des études de cas d'intégration en philosophie de la biologie, variant sur leurs objets d'étude, portée et temporalité et champs de recherche impliqués, l'utilisation de la philosophie de la biologie comme source d'outils conceptuels pour la philosophie de l'interdisciplinarité est justifiable<sup>91</sup>.

Les trois raisons rapportées plus haut permettent de justifier l'exploration des ressources conceptuelles concernant l'intégration en philosophie de la biologie. Plus précisément, à la lumière de (1), (2) et (3), il apparaît que l'utilisation de la philosophie de la biologie comme source d'outils conceptuels pour la philosophie de l'interdisciplinarité est justifiée.

### 1.3.2. Résumé

Trois raisons peuvent être identifiées pour motiver l'utilisation de la philosophie de la biologie comme source d'outils conceptuels pour la philosophie de l'interdisciplinarité. Premièrement, il apparaît raisonnable de croire que, considérant la similitude entre les objets d'études de la philosophie de la biologie et de l'interdisciplinarité, l'import/export de modèles entre ces deux branches est justifiable et donc l'utilisation de la philosophie de la biologie comme source d'outils conceptuels pour la philosophie de l'interdisciplinarité. Deuxièmement, il apparaît

---

91. Le lecteur sceptique qui considérerait que cette analyse sommaire est insuffisante pour soutenir les diverses affirmations ici (i.e. la diversité des études de cas tirés de la philosophie de la biologie), peut se référer au chapitre 2 pour une exposition détaillée de différentes études de cas (mécanisme de synthèse des protéines (page 68), le mécanisme d'apprentissage LTP (page 69), la synthèse moderne de l'évolution (page 73), la queue du paon (page 87), le gène en génétique mendélienne et moléculaire (page 89), le modèle intégré de ROUGHGARDEN (2009) (page 94), la biologie du bruit (page 111), le projet TAIR (page 114), l'Évo-Dévo (page 117)) et qui ne laisse aucun doute sur la valeur des conclusions ici tirées.

raisonnable de croire que, considérant la diversité et la sophistication apparentes des modèles d'intégration développés en philosophie de la biologie, l'utilisation de la philosophie de la biologie comme source d'outils conceptuels pour la philosophie de l'interdisciplinarité est justifiable. Troisièmement, il apparaît raisonnable de croire que, considérant la diversité des études de cas d'intégration en philosophie de la biologie, variant sur leurs objets d'étude, portée et temporalité et champs de recherche impliqués, l'utilisation de la philosophie de la biologie comme source d'outils conceptuels pour la philosophie de l'interdisciplinarité est justifiable. De façon générale, ainsi, la recherche de modèle d'intégration dans cette branche peut être considérée comme justifiée.

## Chapitre 2

---

### Familles de Modèles d'intégration en philosophie de la biologie

PHILOSOPHY OF. It is the privilege of philosophers to philosophize about, or draw philosophical morals from, nearly everything. Hence the many *philosophies of X*, where X can be filled by art, law, politics, religion, science, technology, or what have you. Ideally, every philosophy of X should only be cultivated by persons with some competence in both philosophy and X. Regrettably, it is common for any philosophy of X to be cultivated by people ignorant of both philosophy and X. Most philosophers tolerate, and some prefer, fellow philosophers who write about X without knowing any X : they are less demanding. For instance, a firsthand knowledge of science is a serious handicap to any philosopher of science who wants to be published. On the other hand specialists in X do not tolerate people ignorant of X, but are indifferent to philosophers acquainted with X, because they regard philosophy as irrelevant and inferior to X.

---

Mario Bunge, *Dictionary of philosophy* (1999, p. 210-211)

Dans ce chapitre seront présentées les différentes familles de modèles d'intégration ayant été développées en philosophie de la biologie. La présentation de ces propositions sera faite de façon à rendre explicite le traitement des modalités de l'intégration (*quoi ?* et *comment ?*) et du cadre sous-jacent. Par ailleurs, il est pertinent de mentionner que ce type de présentation permettra de respecter collatéralement la recommandation suivante de GRANTHAM (2004) à propos des modèles d'intégration (unification) en philosophie de la biologie :

« les philosophes qui étudient le processus d'unification scientifique doivent être clairs sur (1) les entités qui entrent dans le processus d'unification, et (2) la ou les relations précises qui constituent leur "unification". » (GRANTHAM 2004, p. 134)

Les trois familles de modèles suivantes seront présentées : (1) les modèles d'intégration néomécaniste (2) les modèles d'intégration par unité coordonnée, et (3) les modèles d'intégration interchamps.

Les modèles de la première famille s'inscrivent dans une conception du monde compris à travers le langage des mécanismes. L'intégration concerne les explications mécanistiques fournies par différents champs de recherche (*quoi ?*) et se fait par construction de représentations des mécanismes, i.e. des schèmes ou esquisses mécanistiques. Plus précisément, les types de relations d'intégration mécanistique sont les suivants : (a) l'intégration mécanistique intraniveaux ; (b) l'intégration mécanistique interniveaux ; (c) l'intégration mécanistique intertemporelle (séquentielle ou continue) (*comment ?*).

Les modèles de la seconde famille s'inscrivent dans une conception du monde comme intrinsèquement complexe et difficilement accessible par nos ressources cognitives. L'intégration concerne les explications *causales*, suivant l'approche manipulationniste de la causalité développée par WOODWARD (2003), fournies par différents champs de recherche (*quoi ?*) et se fait au niveau des représentations idéalisées des patrons causaux. Plus précisément, les types de relations d'intégration par unité coordonnée sont les suivants : (a) l'intégration par collaboration dans le tri des interactions causales ; (b) l'intégration par collaboration dans le dépassement des différences entre les champs de recherche ; et (c) l'intégration par collaboration dans le développement de représentations intégrées (*comment ?*).

Les modèles de la troisième famille s'inscrivent dans une conception des sciences axées sur les champs de recherche et leurs relations. L'intégration concerne des éléments conceptuels, e.g. *methodi, data, explanans*, fournie par différents champs de recherche (*quoi ?*) et se fait par la combinaison de ceux-ci dans l'exploration d'une question de recherche. Plus précisément, les types de relations d'intégration interchamps sont les suivants : (a) l'intégration méthodologique ; (b) l'intégration des *data* ; et (c) l'intégration explicative (*comment ?*).

Une synthèse des propositions rapportées dans le chapitre est compilée dans le tableau 2.1.

**Tableau 2.1.** Trois principales familles de modèles d'intégration en philosophie de la biologie déclinées en fonction des modalités de l'intégration (*quoi ?* et *comment ?*).

Modalités d'intégration	Familles de modèles		
	Néomécanistes	Unité coordonnée	Interchamps
<i>Quoi ?</i>	Explications mécanistiques	Explications <i>causales</i>	Éléments d'un champ de recherche
<i>Comment ?</i>	Construction d'un schème (ou une esquisse) mécanistique	Collaboration dans la recherche de patrons causaux	Combinaison d'éléments de champs dans l'exploration d'une question
Auteur-e-s clés	BECHTEL (1986) DARDEN (2006) CRAVER et DARDEN (2013)	MITCHELL (2002) POTOCHNIK (2011) POTOCHNIK (2017)	DARDEN et MAULL (1977) KINCAID (1990) GRANTHAM (2004) O'MALLEY et SOYER (2012)

## 2.1. Modèles d'intégration néomécanistes

### 2.1.1. Modèles d'intégration néomécanistes : cadre

Le cadre néomécaniste<sup>1</sup> se veut, plus largement, une alternative aux modèles réductionnistes de représentation des sciences (e.g. NAGEL (1961); OPPENHEIM et PUTNAM (1958)). En effet, pour les promoteurs de celui-ci,

« les modèles de réduction [...] ont été vus comme la façon adéquate de caractériser le changement scientifique et l'explication scientifique. Or, ces modèles ne peuvent rendre compte des neurosciences et de la biologie moléculaire. En remplacement, nous suggérons le langage des mécanismes. » (MACHAMER et al. 2000, p. 23)

1. Cette école philosophique, aussi référée sous les dénominations de la *nouvelle philosophie mécanistique* et d'*École de Chicago*, regroupe au certain nombre d'auteur-e-s dont l'exposition dépasserait le cadre du présent mémoire (voir CRAVER et DARDEN (2013, p. 26-29) pour une exposition synthétique). Il suffit de mentionner ici que l'article de Machamer, Darden et Craver « Thinking about Mechanisms » publié en 2000 sera pris comme pierre angulaire de ce courant dans le cadre de la présente étude de même que ses ramifications.

Cette précision permet d'exposer la portée de ce cadre où, à la fois, les changements en sciences, l'explication scientifique et l'ontologie sont révisés à la lumière du *langage des mécanismes*<sup>2</sup>. Au sein de ce cadre, tout changement (ou phénomène) est associé à un mécanisme pouvant être théoriquement identifié.

Un mécanisme est composé d'entités et d'activités et c'est « [l]'organisation de ces entités et activités [qui] détermine la manière dont elles produisent le phénomène » (MACHAMER et al. 2000, p. 3). En d'autres termes, « [l]es mécanismes sont des collections d'entités et d'activités organisées en séries, en jointures ou en cycles de telle sorte qu'ils réalisent quelque chose que les composantes seules ne peuvent faire » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 16). Un corollaire de cette thèse est que « [d]onner une description d'un mécanisme pour un phénomène est équivalent à expliquer ce phénomène, c'est-à-dire expliquer comment il a été produit » (MACHAMER et al. 2000, p. 3). Ainsi, « un mécanisme est recherché afin d'expliquer comment un *phénomène* est produit » (DARDEN 2006, p. 273). Cette caractéristique fait que, dans ce cadre, les mécanismes sont l'objet de recherche principal des chercheur-e-s, du moins en sciences biologiques<sup>3</sup>. Leurs activités de recherche se concentreraient donc majoritairement, sans s'y réduire, à découvrir et identifier « [d]es mécanismes qui produisent, sous-tendent ou maintiennent un phénomène » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 15). Sur cette notion de mécanisme, la définition suivante est rapportée :

**Définition 7 : Mécanisme [mechanism] =  $\text{Df}$**

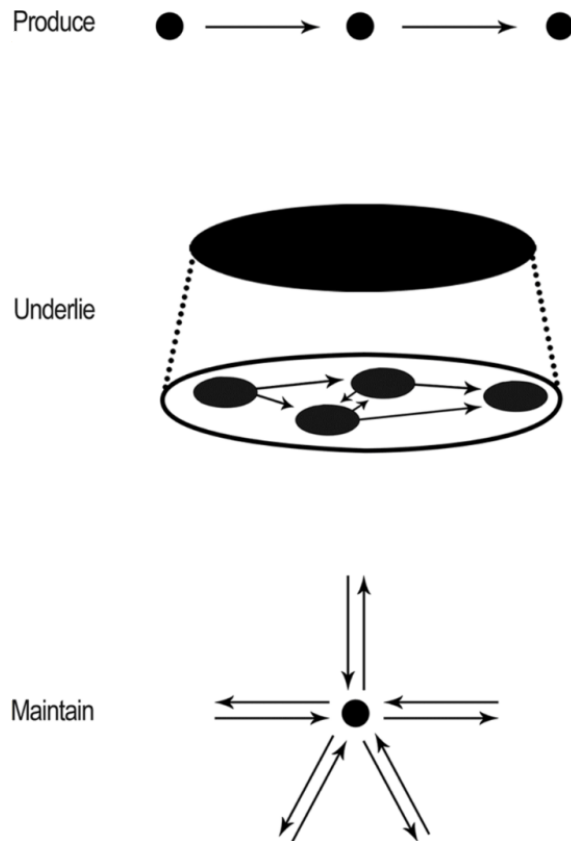
« une collection d'entités et d'activités organisées de telle sorte qu'elles produisent des changements réguliers, du début ou des conditions initiales à la fin ou aux conditions terminales. » (MACHAMER et al. 2000, p. 3 ; DARDEN 2006, p. 14 ; CRAVER et DARDEN 2013, p. 15)

---

2. Sur la question de l'ontologie *ultime*, i.e. le niveau de réalité fondamentale du monde, MACHAMER et al. (2000) introduisent la notion d'*ascendance relative [relative bottoming-up]*. Pour ces derniers, chaque champ de recherche possède son propre niveau de réalité fondamentale, ce dernier variant, entre autres, selon les besoins dudit champ de recherche. Plus précisément, « [d]ifférents types d'entités et d'activités sont là où un champ donné s'arrête lors de la construction des mécanismes » (p. 13). À ce niveau de réalité [l]'explication prend fin, et la description des mécanismes de niveau inférieur ne serait pas pertinente » (p. 13). Ainsi, le niveau fondamental de réalité est fonction du champ de recherche dans le cadre néomécaniste *contra* les modèles réductionnistes où un niveau basal ultime est identifié, niveau indépendant du champ de recherche considéré, e.g. la physique.

3. Pour CRAVER et DARDEN (2013), la recherche de mécanismes par les biologistes n'est pas triviale puisque ces derniers « servent les trois objectifs centraux à la science : la prédiction, l'explication et le contrôle » (p. 6). Ce serait, pour eux, la raison pour laquelle la recherche de mécanisme est si ubiquiste en biologie.





**FIGURE 2.1.** Trois types de relation (le produit, le sous-tend ou le maintient) que peut entretenir un mécanisme avec un phénomène (figure tirée de CRAVER et DARDEN (2013, p. 66)).

Trois types de relations entre mécanisme et phénomène peuvent être identifiées (figure 2.1).

Un mécanisme *produit* un phénomène lorsque, dans une séquence linéaire ou cyclique d'événements, chacune des étapes est préalable à la suivante ou quand « une séquence causale se [termine] en un produit final » (CRAVER et TABERY 2017). CRAVER et DARDEN (2013) rapportent les exemples de l'expression d'une protéine (mécanisme linéaire) et du cycle de Krebs (mécanisme cyclique). Dans le premier cas, « [n]ous expliquons comment une protéine est produite [...] en commençant par l'ADN et en terminant par les liaisons peptidiques entre les acides aminés ordonnés » (p. 18). Dans le second cas, « [l]e cycle de Krebs [...] est typiquement dessiné sous la forme d'un cercle avec ses différents produits existant à des moments clés et avec ses résidus disponibles pour être réutilisés à l'étape suivante du cycle » (p. 18-19). Dans ces deux cas, le lien de dépendance est fort entre les étapes du mécanisme où la subséquente est causalement liée à l'antécédente.

Un mécanisme *sous-tend* un phénomène lorsque ce dernier est dépendant de celui-ci sans en être directement le produit ou est « compris [...] comme une capacité ou un comportement du mécanisme dans son ensemble » (CRAVER et TABERY 2017). CRAVER et DARDEN (2013) rapportent pour exemple le potentiel d'action dans les neurones, « mécanisme [qui] implique l'ouverture et la fermeture coordonnée des canaux à sodium et potassium de même que la diffusion d'ions à travers la membrane de la cellule nerveuse » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 19) pour permettre la transmission de l'influx nerveux. Ainsi, le mécanisme est généré par l'action de ces divers canaux sans en être le produit direct étant plutôt une sorte d'épiphénomène.

Un mécanisme *maintient* un phénomène lorsque ce dernier est un attracteur vers lequel tendent plusieurs états ou que « le phénomène est un état de fait, ou peut-être une série d'états de fait, qui est maintenu en place par le mécanisme » (CRAVER et TABERY 2017). Il est aussi possible de décrire ces cas comme « partant d'un certain nombre de points de déséquilibre possible et ne terminant qu'à un ou quelques états de terminaison » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 19). CRAVER et TABERY (2017) rapportent l'exemple de la température corporelle chez les animaux homéothermes (dont la température reste stable) et endothermes (produisant leur propre chaleur) où « [d]es mécanismes homéostatiques maintiennent la température corporelle à l'intérieur de limites étroitement circonscrites ». Ainsi, ces mécanismes vont maintenir la température corporelle chez ces organismes autour d'une certaine valeur en modifiant leurs actions selon les perturbations rencontrées.

Ce faisant, pour comprendre un phénomène, il est nécessaire d'en étudier les mécanismes associés. MACHAMER et al. (2000) soulignent que ceux-ci sont « identifiés et individués par les activités et les entités qui les constituent, par leurs conditions de départ et de fin, de même que par leur rôle fonctionnel » (p. 6). Ces trois caractéristiques peuvent être explicitées brièvement de la façon suivante.

Les *entités* et les *activités* sont les composantes des mécanismes. MACHAMER et al. (2000) souligne que les « [e]ntités doivent souvent être localisées, structurées et orientées de façon appropriée et les activités dans lesquelles elles prennent part doivent avoir un certain ordre temporel, un taux et une durée » (p. 3). Ainsi, c'est leur articulation qui permet de générer les phénomènes.

Les *conditions initiales et terminales* d'un mécanisme désignent une description idéalisée d'une séquence d'événement comme ayant un début et une fin. Bien que les conditions initiales « peuvent être le résultat de processus antérieurs, [...] les scientifiques vont typiquement les idéaliser comme des tranches temporelles statiques comprises comme le début d'un mécanisme » (MACHAMER et al. 2000, p. 11). Par exemple, MACHAMER et al. (2000) mentionnent certaines propriétés d'entités, e.g. propriétés structurelles, relations spatiales, orientations ou conditions préalables [enabling conditions], ces dernières étant cruciales dans la production des premières étapes du mécanisme. Les conditions terminales vont, quant à elles, « être des états ou paramètres idéalisés décrivant un point d'arrivée (endpoint) » (MACHAMER et al. 2000, p. 11). Il est entendu par cela, par exemple, « un point d'arrivée privilégié, comme un état de repos, d'équilibre, la neutralisation d'une charge, l'inhibition ou l'activation d'un état, l'élimination de quelque chose ou la production d'un produit » (MACHAMER et al. 2000, p. 11-12). Plus largement, « le produit final ou l'état final d'un mécanisme peut servir de point de départ ou créer les conditions initiales pour un mécanisme subséquent » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 25). Ce faisant, il est important de souligner que « les mécanismes particuliers sont situés dans des contextes biologiques hiérarchiques et temporels plus larges » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 25).

Le *rôle fonctionnel* désigne une propriété relationnelle attribuée à un groupe d'entités et d'activités au sein d'un mécanisme ou, en d'autres termes, « les activités en vertu desquelles les entités contribuent au fonctionnement d'un mécanisme » (MACHAMER et al. 2000, p. 6). Par exemple, le rôle du cœur, une entité, est de pomper le sang, une activité, « et de livrer ainsi (à l'aide du reste du système circulatoire) de l'oxygène et des nutriments au reste de l'organisme » (MACHAMER et al. 2000, p. 6). Il est à comprendre ici qu'un rôle, e.g. pomper le sang, se détermine toujours en relation avec un mécanisme de niveau supérieur<sup>4</sup>, e.g. la distribution des nutriments dans le corps<sup>5</sup>. En d'autres termes, « [d]écrire un élément

---

4. Chez CRAVER et DARDEN (2013), les *niveaux de mécanisme* sont compris « en termes de relation entre le fonctionnement d'un mécanisme dans son ensemble et le fonctionnement d'une composante dans ce mécanisme » (p. 21). Ceux-ci s'inscrivent dans une hiérarchie de mécanisme où les différents niveaux  $n$  d'entités et d'activités « sont décomposables en entités et activités de niveau inférieur [n-1], qui sont elles-mêmes décomposables en entités et activités de niveau inférieur [n-2], et ainsi de suite dans la hiérarchie » (p. 21). Cette conception est à distinguer d'une hiérarchie du réel structurée par la taille des entités, par *niveau de taille*, qui serait une conception, à la fois, erroné et problématique. Le lecteur intéressé peut se référer aux pages 21-22 de CRAVER et DARDEN (2013) pour plus de détails.

5. Plus largement, CRAVER et DARDEN (2013) rapportent que « [d]écrire le rôle fonctionnel d'un objet est une question de perspective[, c'est-à-dire] que cela dépend de la perspective de niveau supérieur à partir de laquelle on considère le rôle fonctionnel de l'élément (p. 24).

fonctionnellement, c'est le décrire contextuellement en termes de la contribution qu'il apporte à un mécanisme de niveau supérieur » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 23).

CRAVER et DARDEN (2013) différencient grossièrement les *entités* et les *activités* de la façon suivante :

« [d]ans les descriptions de mécanismes, les noms (canaux, terminal, enzyme) réfèrent habituellement aux entités. Les verbes actifs (lier, rejeter, phosphoryler) font généralement référence à des activités. » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 17)

Sur la notion d'*entité*, il est malheureusement difficile de cibler une définition unique et concise. Deux ébauches définitionnelles peuvent par contre être mentionnées. D'une part, CRAVER et DARDEN (2013) rapportent que « [l]es entités sont des parties d'un mécanisme ayant des propriétés variées » (p. 16). D'autre part, MACHAMER et al. (2000) rapportent que « [l]es entités sont des choses s'engageant dans des activités » (p. 3). La synthèse de ces deux ébauches permet de produire la définition suivante :

**Définition 8 : Entité [entity] =<sub>DF</sub>**  
une chose possédant des propriétés et qui, au sein d'un mécanisme, s'engage dans des activités.

Sur cette définition, deux précisions peuvent être apportées.

Premièrement, les entités sont des choses identifiées ou identifiables à l'aide de leurs diverses caractéristiques ou propriétés. À titre d'exemple, Darden (2006) fournit la liste suivante : une localisation spatio-temporelle ; une délimitation claire (e.g. une membrane lipidique) ; une composition particulière, e.g. « composée de sous-parties chimiquement liées qui ne sont pas liées de la même manière aux parties d'autres entités » (p. 110) ou « une composition chimique spécifique qui diffère des produits chimiques environnants » (p. 110) ; être « détectable de manière robuste, c'est-à-dire identifié à l'aide d'une multitude de techniques différentes (Wimsatt 1981) » (p. 110) ; une durée, e.g. « être stable dans sur une certaine période de temps [...] ou rapidement synthétisée et dégradée » (p. 110) ; une histoire développementale, i.e. « formée durant le développement embryologique » ; ou « une histoire évolutive [i.e.] être descendante d'une lignée » (p. 110). Certaines entités vont être dites *motrices* ou *moteurs* dans les mécanismes c'est-à-dire qu'elles vont *agir* dans le mécanisme.

Darden (2006) précise qu'il est entendu par cela qu'une entité de ce type « peut se déplacer d'un endroit à un autre[, qu']elle a des propriétés favorisant l'activité[, ou qu'] elle peut avoir un ou plusieurs sites actifs *localisés* (p. 110). L'exemple fourni est celui du mécanisme d'appariement et de séparation des chromosomes. Dans celui-ci, l'ensemble des chromosomes sont les entités motrices et leurs centromères sont les sites actifs. En contrepartie, les gènes sont analogues à « des passagers dans un train » (p. 110), i.e. ce sont des entités n'ayant pas de rôle dans le mécanisme à l'étude.

Deuxièmement, les entités possèdent certaines *propriétés*, e.g. leur structure et leur orientation, qui « leur permettent de s'engager dans des activités spécifiques » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 16). En effet, ces propriétés sont associées à certaines *capacités* ou *dispositions à agir*<sup>6</sup>, i.e. à certaines activités. Par cela, il est entendu que les entités possèdent un sous-ensemble de propriétés habilitantes [activity-enabling properties] dont la présence rend possible l'existence de certaines activités au sein d'un mécanisme<sup>7</sup>. En d'autres termes, les « [e]ntités ont certains types de propriétés habilitantes [activity-enabling properties] leur permettant d'agir de certaines façons et certaines activités sont seulement possibles quand des entités possèdent ce type de propriétés » (Darden, 2006 ; p. 109-110).

Sur la notion d'*activité*, « appelée parfois 'processus', 'fonctions', ou 'interaction' » (Darden, 2006 ; p.41), il est plus aisé de trouver une définition précise :

**Définition 9 : Activité [activity] =  $\mathbf{Df}$**   
 « les choses que font les entités ; elles sont les productrices du changement. »  
 (CRAVER et DARDEN 2013, p. 16)

Sur cette définition, trois précisions peuvent être apportées.

Pour commencer, de façon comparable aux entités, différentes caractéristiques permettent d'identifier les activités. CRAVER et DARDEN (2013) mentionnent, entre autres, qu'elles peuvent être « identifiées par leur localisation spatio-temporelle, leur rythme et leur durée, par les types d'entités pouvant s'y engager, par les types de propriétés qui les rendent possibles et par les conditions initiales qui les permettent » (p. 17). Plus précisément,

6. Au sens utilisé par Cartwright (1989) (MACHAMER et al. 2000, p. 4).

7. Le cadre néomécanisme peut être décrit comme ontiquement duale au sens où il y est reconnu l'existence à la fois des entités et des activités au sein des mécanismes. En effet, MACHAMER et al. (2000) mentionne que ce faisant : « [n]ous tentons de saisir les intuitions philosophiques saines qui sont sous-jacentes à la fois aux ontologies substantivistes et processualistes (p. 4).

« les activités se distinguent les unes des autres par leur mode de fonctionnement (e.g. action par contact par opposition à attraction à distance), leur polarité (e.g. attraction, répulsion ou à la fois attraction et répulsion), leurs besoins énergétiques (e.g. la quantité d'énergie nécessaire pour former ou rompre une liaison chimique) et leur portée (e.g. les forces électromagnétiques exercent une influence plus grande que les forces dans le noyau des atomes). » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 17).

Ensuite, le lien entre activités et entités nécessite d'être explicité. En effet, puisque les activités sont ce que font les entités, « [ces dernières] exigent habituellement que les entités possèdent des types de propriétés spécifiques » (MACHAMER et al. 2000, p. 3). Formuler autrement, « [l]es activités [...] nécessite l'existence de certaines entités possédant certaines propriétés » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 16). Bien que cela puisse paraître contre-intuitif, cette relation n'en est pas une de dépendance unidirectionnelle, où les activités seraient dépendantes des entités (et de leurs propriétés), mais bien bidirectionnelle. MACHAMER et al. (2000) soulignent en effet que « les entités et les activités sont corrélatives[<sup>e</sup>], e]lles sont interdépendantes » (p. 6). La raison derrière cette affirmation est que leur conception ontique des mécanismes « n'exige pas que chaque activité soit associée à une entité unique en tant que propriété habilitante unique (ou capacité) » (p. 276). En d'autres termes, diverses entités peuvent posséder le sous-ensemble de propriétés permettant l'existence d'une même activité. Ce faisant, la relation de dépendance est réciproque au sens où « les activités déterminent les types d'entités (et les propriétés de ces entités) susceptibles de s'engager dans de tels actes » (MACHAMER et al. 2000, p. 6). Ainsi, la relation entité-activité n'est pas biunivoque [one-to-one], mais plutôt plurivoque [many-to-many]. Cette relation en est donc une de mutuelle détermination, i.e. bidirectionnelle.

Enfin, les activités sont ce qui permet la *continuité productive* des mécanismes<sup>8</sup>. En effet, la régularité observée dans les mécanismes, i.e. le fait qu'« ils fonctionnent toujours ou pour la majeure partie du temps de la même façon lorsque sujets aux mêmes conditions » (MACHAMER et al. 2000, p. 15), dépend des activités liant les différentes étapes de la séquence d'événement. Ce sont celles-ci qui vont permettre la transition d'un état à un autre où « chaque étape d'un mécanisme fait une différence sur ce qui arrivera à une ou plus des

---

8. Darden (2006) précise cette notion en mentionnant que « les entités et les activités sont organisées en continuité productive du début à la fin ; c'est-à-dire que chaque étape donne naissance à la suivante » (p. 109).

étapes subséquentes » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 19). De façon précise, la relation entre deux étapes, la production de la suivante par la précédente, est comprise comme « chaque étape entraîne, fabrique, autorise, inhibe ou empêche celle qui succède » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 19). MACHAMER et al. (2000) offrent une schématisation simplifiée de relation entre continuité productive et activités en la formulation suivante :

« [s]i un mécanisme est représenté schématiquement par  $A \rightarrow B \rightarrow C$ , alors la continuité réside dans les flèches et leur explication est en termes des activités que les flèches représentent. » (MACHAMER et al. 2000, p. 15)<sup>9</sup>.

Les mécanismes peuvent être représentés de plusieurs façons<sup>10</sup>. Dans le cadre néomécaniste ces diverses représentations sont comprises sous le concept de *schéma mécanistique*<sup>11</sup>. Celui-ci est défini grossièrement comme une « description abstraite tronquée d'un mécanisme pouvant être complété [filled] par les descriptions de composantes et d'activités connues » (MACHAMER et al. 2000, p. 15). En ce sens, ces représentations sont des modèles spécifiant l'articulation de différentes entités et activités, modèles dont le contenu peut varier, mais pas la forme. Ceux-ci permettent, pour des phénomènes similaires, d'obtenir une description précise du fonctionnement de l'objet à l'étude en modifiant simplement les éléments présents dans le schème mécanistique<sup>12</sup>. De même, MACHAMER et al. (2000) précisent que « [l]orsqu'ils sont instanciés, les schèmes mécanistiques fournissent des explications mécanistes du phénomène que le mécanisme produit » (p. 17). De façon précise, ces représentations sont définies ainsi :

**Définition 10 : Schème mécanistique [mechanism schema]** = **DF**  
 « une description abstraite tronquée d'un mécanisme pouvant être instanciée

---

9. Ces derniers poursuivent : « [u]ne flèche manquante, nommément, l'incapacité à spécifier une activité, laisse un vide explicatif dans la continuité productive du mécanisme (MACHAMER et al. 2000, p. 15).

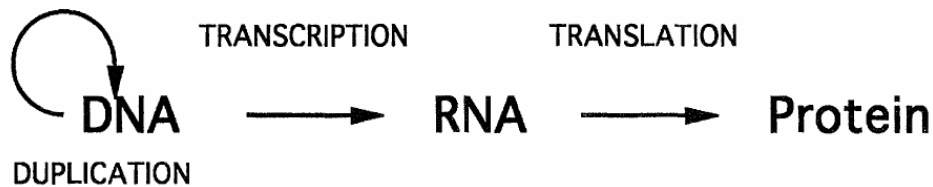
10. CRAVER et DARDEN (2013) mentionne comme exemple les représentations visuelles ou mathématiques d'un mécanisme. Pour les avantages et contraintes de ces diverses formes, voir p. 38-50.

11. Aussi appelés modèles mécanistiques (CRAVER et DARDEN 2013, p. 30).

12. Ces représentations ont une utilité très large pour les biologistes, leur servant à la fois à « décrire, expliquer, explorer, organiser, prédire et contrôler les phénomènes » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 30). Sur l'utilité des schèmes mécanistiques, il dépasserait le cadre du présent mémoire de développer plus amplement. Le lecteur intéressé peut consulter les chapitres 5 et 6 de CRAVER et DARDEN (2013)

en la complétant à l'aide de descriptions plus spécifiques des entités et des activités qui la composent. »<sup>13 14</sup> (DARDEN 2006, p. 111-112)

L'exemple type est donné par le dogme central de la biologie moléculaire (figure 2.2). Celui-ci représente une simplification du mécanisme d'expression génique, et ce, de façon suffisamment générale pour que ces différentes variables (DNA, RNA, Protein) puissent être remplacées par les éléments d'un cas particulier, e.g. l'expression de l'enzyme de restriction EcoR1 à partir d'une séquence de nucléotides<sup>15</sup>. Cet exemple est d'intérêt puisqu'il permet d'introduire les quatre dimensions sur lesquelles les schèmes mécanistiques vont varier : la complétude, le détail, le soutien et la portée<sup>16</sup>.



**FIGURE 2.2.** Diagramme représentant le dogme central de la biologie moléculaire tel que rapporté par Watson (tiré de MACHAMER et al. (2000, p. 16)).

Sur la *complétude* des schèmes mécanistiques, ces derniers vont « varier l'un par rapport à l'autre sur un continuum entre une *esquisse mécanistique* et un schème *suffisamment complet* pour l'usage auquel il est destiné » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 31). Ainsi, le gradient de complétude d'un schème mécanistique est toujours fonction d'une finalité pratique et il s'agit de la capacité du schème à répondre à celle-ci qui détermine son degré de complétude. À la limite supérieure du gradient de complétude, pour un objectif donné,

13. Une variante de cette définition est offerte par CRAVER et DARDEN (2013) où « [u]n schème mécanistique est une description d'un mécanisme dont les entités, les activités et les caractéristiques organisationnelles sont connues avec suffisamment de détails pour que les caractères génériques du schéma puissent être remplis au besoin (p. 31).

14. Sur la relation entre *schème mécanistique* et *théorie*, MACHAMER et al. (2000) précisent que « [l]es neurobiologistes et les biologistes moléculaires utilisent parfois le terme “théorie” pour désigner des schèmes mécanistiques organisés hiérarchiquement et de portée variable, quoique généralement moins qu'universel. Les schèmes mécanistiques, ainsi que les descriptions de mécanismes particuliers, jouent plusieurs des rôles attribués aux théories. Elles sont construites, évaluées et révisées par cycles au fur et à mesure que la science progresse. Ils sont utilisés pour décrire, prédire et expliquer les phénomènes, pour concevoir des expériences et pour interpréter les résultats expérimentaux » (p. 16-17).

15. Voir GREENE et al. (1981) pour séquence exacte.

16. Traduction libre de *completeness, detail, support* et *scope*.



se trouve « [u]n schéma entièrement articulé se composant de boîtes de verre [glass boxes] » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 31)<sup>17</sup>. Plus précisément, ceux-ci vont « incluent toutes les entités, propriétés, activités et caractéristiques organisationnelles qui sont pertinentes aux fins pragmatiques pour lesquelles la description est utilisée » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 31). À la limite inférieure du gradient de complétude, pour un objectif donné, se trouve l'*esquisse mécanistique*. Celle-ci est définie ainsi :

**Définition 11 : Esquisse mécanistique [mechanims sketch] = Df**  
 « une représentation incomplète d'un mécanisme. Elle caractérise certains éléments, activités et caractéristiques de l'organisation du mécanisme, mais elle comporte des lacunes. » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 13)

Les lacunes possibles sont diverses. DARDEN (2006) mentionne, par exemple, que les composantes du mécanisme peuvent être « (jusqu'à maintenant) inconnues » ; l'esquisse peut comprendre des « boîtes noires à la place de composantes pour lesquels les fonctions ne sont pas encore connues » ; une boîte peut identifier un rôle fonctionnel conjecturé, mais que le détail des « entités et activités spécifiques [qui] remplissent cette fonction dans le mécanisme sont (encore) inconnues » (p. 112)<sup>18</sup>. En d'autres termes,

« [u]ne esquisse est une abstraction pour laquelle les entités et activités constitutives ne peuvent pas (encore) être fournies ou qui contient des lacunes dans ses étapes. La continuité productive d'une étape à l'autre comprend des pièces

---

17. Trois types de *boîtes* vont être distingués dans le cadre néomécaniste. Les *boîtes de verre* désignent une section d'une représentation donnée pour laquelle *toutes* les composantes et *toutes* les fonctions sont connues. Les *boîtes grises* désignent une section d'une représentation donnée pour laquelle seules les fonctions sont connues. Les *boîtes noires* désignent une section d'une représentation donnée pour laquelle les composantes et les fonctions sont inconnues. CRAVER et DARDEN (2013) souligne que « [l]ne des tâches cruciales dans le processus de découverte est de transformer les boîtes noires [...] en *boîtes grises* [...] en boîtes de verre (p. 31).

18. CRAVER et DARDEN (2013) mentionnent que « [p]arfois, les lacunes sont marquées dans les diagrammes visuels par des boîtes noires ou des points d'interrogation. D'autres fois, les trous sont masqués par des termes génériques [filler terms] » (p. 31). Par terme générique, il est entendu [d]es termes comme activer, causer, coder, inhiber, produire, traiter et représenter [qui] sont souvent utilisés pour indiquer un type d'activité dans un mécanisme sans fournir aucun détail sur la façon dont cette activité est exécutée (CRAVER et DARDEN 2013, p. 31). L'utilité de ces notations est qu'elles permettent d'orienter la recherche afin de préciser les lacunes préalablement identifiées. En effet, « [l]es boîtes noires, les points d'interrogation et les termes génériques reconnus sont fructueux parce qu'ils servent d'espaces réservés indiquant où les enquêteurs pourraient concentrer leurs efforts de façon plus productive » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 31). Cette orientation de la recherche va avoir deux conséquences possibles sur les esquisses mécanistiques : « [p]arfois, une esquisse doit être abandonnée à la lumière de nouvelles découvertes[; d]ans d'autres cas, elle peut devenir un schéma, servant d'abstraction pouvant être instanciée au besoin [...] e.g explication, prévision et conception expérimentale (MACHAMER et al. 2000, p. 18).

manquantes, des boîtes noires, que l'on ne sait pas encore comment remplir. »  
(MACHAMER et al. 2000, p. 18)

De façon générale, la constante est que « [c]ontrastivement [au schéma du mécanisme], une esquisse mécanistique ne peut pas (encore) être instanciée » (DARDEN 2006, p. 112). Or, comme mentionné plus haut, l'instanciation est ce qui fournit l'explication mécanistique un phénomène.

Sur le *détail* des schèmes mécanistiques, ces derniers vont « exhiber des degrés d'abstraction variés, en fonction de la quantité de détails inclus » (MACHAMER et al. 2000, p. 16). Plus un schème est *abstrait*, plus des détails ont été ignorés dans sa construction. *A contrario*, plus un schème est *spécifique*, plus des détails ont été inclus<sup>19</sup>. En d'autres termes, « l'abstraction est le processus de laissé tomber des détails ; la *spécification* est le processus d'en ajouter » (MACHAMER et al. 2000, p. 16). Ce qui détermine l'application de l'un ou l'autre de ces processus est lié à la finalité dans lequel s'inscrit l'utilisation du schème mécanistique. En effet, « [l]e degré de détail d'une représentation particulière d'un mécanisme varie selon les besoins pratiques » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 33).

Sur le *soutien* des schèmes mécanistiques, ces derniers vont varier « dans leur degré de soutien évidentiel et d'exactitude » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 34). Un schéma est considéré comme bien appuyé lorsque ce dernier « satisfait les contraintes connues sur les composantes, activités de même que leur articulation les unes avec les autres et qu'il est cohérent avec les autres théories non rivales bien appuyées » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 34). Ainsi, le soutien évidentiel que possède un schème mécanistique s'évalue selon deux paramètres : (a) sa cohérence avec les faits le concernant directement, i.e. concernant le phénomène qu'il représente ; (b) sa cohérence avec les autres schèmes mécanistiques<sup>20</sup>. Trois

---

19. CRAVER et DARDEN (2013) mentionne la limite inférieure de la spécification où l'ensemble des détails à propos d'un mécanisme sont inclus est l'instanciation. Par exemple, dans le cas de l'expression d'une protéine  $p$  (suivant la figure 2.2), la représentation la plus spécifique, son instanciation, serait un schème « qui spécifierait la séquence de base de l'ADN, la séquence de bases complémentaire de l'ARN messager, le type d'ARN polymérase utilisé pour produire l'ARNm, et les acides aminés spécifiques dans la chaîne polypeptidique croissante de la protéine »  $p$  (CRAVER et DARDEN 2013, p. 33).

20. Comme mentionner plus haut, les schèmes mécanistiques vont souvent représenter des mécanismes étant eux-mêmes inclus dans des hiérarchies de mécanisme où plusieurs niveaux se superposent. L'inclusion de ce paramètre indique donc seulement qu'un schème mécanistique qui viserait à représenter un mécanisme à un niveau  $n$  et qui serait incohérent avec la représentation de mécanismes de niveau  $n+1$  se verrait considérer comme moins bien soutenu qu'un second qui lui serait cohérent.

types de schèmes vont ainsi être distingués selon leur niveau de soutien évidentiel : les schèmes possibles [how-possibility], plausibles [how-plausible] et actuels [how-actually].

Les *schèmes possibles* sont ceux dont le soutien est le moindre. Par exemple, « il est possible que l'on ne sache pas si les parties conjecturées existent et, si oui, si elles peuvent s'engager dans les activités qui leur sont attribuées » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 34).

*A contrario*, les *schèmes actuels* sont ceux dont le soutien est le plus fort. Par exemple, ceux-ci vont satisfaire « la plupart ou à la totalité des contraintes connues du mécanisme, ou [...] identifie la plupart ou la totalité des caractéristiques du mécanisme qui font une différence suffisamment importante ou probable pour être pertinente au problème à l'étude » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 34-35).

Les *schèmes plausibles* vont se situer à la position médiane quant au niveau de soutien évidentiel étant « plus ou moins consistant avec plus ou moins de contraintes connues sur les composantes du mécanisme » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 35).

Le développement de *schèmes actuels* n'est pas vu au sein de ce cadre comme une finalité en elle-même, mais doit plutôt, ici encore, être rapporté aux besoins du moment. CRAVER et DARDEN (2013) précisent qu'« un schème littéralement faux peut être suffisamment plausible pour un objectif donné même s'il n'est pas, techniquement, un schème actuel » (p. 35). Ainsi, certaines idéalizations, même si fausses et identifiées comme tel, vont pouvoir avoir une importance significative dans le travail des biologistes. La raison est que les scientifiques peuvent simplement « être satisfaits avec l'identification d'un espace des mécanismes possibles dans lequel le mécanisme réel se situe » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 35). Or, les « modèles idéalisés vont souvent aider à identifier la région de l'espace de possibilités [pour un mécanisme], l'espace de possibilités étant suffisant actuel [how-actually-enough] » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 35).

Sur la *portée* des schèmes mécanistiques, ces derniers vont varier selon « la taille du domaine auquel [ils] s'appliquent » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 35). Ainsi, un schème mécanistique pour avoir un domaine d'application ne contenant qu'un objet, e.g. un schème mécanistique représentant une *instanciation*. *A contrario*, un schème mécanistique pourrait avoir un domaine d'application extrêmement large, e.g. mécanisme d'expression des gènes (figure 2.2) s'appliquant autant à presque tous les organismes vivants. CRAVER et DARDEN (2013) vont tout de même préciser que « [l]e plus souvent, les schèmes mécanistiques en

biologie ont un domaine d'application intermédiaire, à savoir qu'ils s'appliquent à un sous-ensemble de cas biologiques » (p. 35). Il est pertinent ici de préciser la relation entre le degré d'abstraction d'un schéma mécanistique et sa généralité. CRAVER et DARDEN (2013) mentionne que :

« [l]a portée et le détail varient souvent l'une par rapport à l'autre. Augmenter le degré d'abstraction d'un schéma actuel produit souvent un schéma avec un degré de généralité plus élevé parce que la suppression de détails permet la représentation de types de cas additionnels par le schéma. Mais le degré d'abstraction et le degré de généralité sont des dimensions indépendantes sur lesquelles le schéma varie. » CRAVER et DARDEN (2013, p. 36)

Cette différence est exemplifiée par CRAVER et DARDEN (2013, p. 36) (aussi dans MACHAMER et al. (2000, p. 16)) en comparant le schéma mécanistique d'expression génique, tel que fourni par le dogme central de la biologie moléculaire (figure 2.2), et celui s'appliquant aux rétrovirus (*Retroviridae*). Pour le premier, l'ADN est transcrit en ARN puis est traduit en une protéine (ADN  $\rightarrow$  ARN  $\rightarrow$  Protéine); pour le second, une étape préalable supplémentaire est nécessaire où l'ARN viral doit être rétrotranscrit en ADN avant d'être transcrit en ARN puis traduit en protéine (ARN  $\rightarrow$  ADN  $\rightarrow$  ARN  $\rightarrow$  Protéine). Ces deux schèmes possèdent le même détail, i.e. ils sont aussi abstraits l'un que l'autre. Or, leur domaine d'application est radicalement différent, le premier s'appliquant à presque l'ensemble des organismes vivants, alors que le second s'applique seulement aux rétrovirus.

### 2.1.2. Modèles d'intégration néomécanistes : types d'intégration

Cette brève exposition des concepts clés du cadre néomécaniste permet maintenant d'aborder précisément comment l'intégration est conçue dans ce cadre. Ce modèle a été développé pour rendre compte d'une pratique en sciences biologiques où « [s]ouvent (...) les biologistes trouvent nécessaire d'intégrer ce qui est connu de la perspective d'un champ de recherche avec ce qui est connu de la perspective d'un autre » p.161). En effet, le travail des différents champs de recherche regroupés sous le terme *sciences biologiques* va différer notamment sur le problème central qu'ils abordent (voir définition 24 pour les différentes composantes pour lesquelles les champs de recherche diffèrent).

Ainsi, « [différents] phénomènes appellent pour différentes explications mécanistiques, et ce faisant les différents champs de recherche sont souvent engagés dans différents projets

explicatifs » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 161). Or, la compréhension d'un phénomène par l'identification du mécanisme qui le génère nécessite parfois d'intégrer les explications de plusieurs champs de recherches. Plus précisément,

« [p]our comprendre un mécanisme, il faut généralement savoir beaucoup de choses différentes sur différents types de composants. Il faut connaître les entités impliquées, leurs différentes propriétés, les activités qu'elles mènent et leur organisation spatiale et temporelle. Souvent, différentes techniques et pratiques expérimentales sont nécessaires pour recueillir ces contraintes. » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 161)

Pour ce faire, CRAVER et DARDEN (2013) précisent que « [l]a recherche de mécanismes biologiques fournit un cadre, un échafaudage, sur lequel et autour duquel les contributions de divers domaines peuvent converger, apportant avec elles de nouvelles contraintes et perspectives sur l'espace des mécanismes possibles » (p. 183). En d'autres termes, le langage des mécanismes offre un socle commun permettant la collaboration entre divers champs de recherche. Ce type de collaboration peut être qualifié d'*intégration mécanistique*<sup>21</sup> et se définit grossièrement ainsi :

**Définition 12 : Intégration mécanistique = Df**

« la construction de schémas de mécanismes qui couvrent de nombreux niveaux différents, qui font le pont entre de nombreuses échelles de temps différentes et qui répondent aux contraintes évidentielles de nombreux domaines de la biologie (de la chimie et de la physique également). » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 162-163)

CRAVER et DARDEN (2013) spécifient les motivations derrière l'intégration mécanistique en biologie de la façon suivante :

« [l]a science de la biologie doit être intégrée parce qu'elle traite d'un domaine de phénomènes hétérogènes, parce que les mécanismes s'étendent sur plusieurs niveaux et parce que les mécanismes fonctionnent souvent à des échelles de temps différentes. » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 182)

---

21. Ce type de relation est identifiée dans CRAVER et DARDEN (2013, p. 161) comme de l'*intégration interchamps*. Or, pour distinguer ce type de collaboration d'avec sa formulation initiale introduite dans DARDEN et MAULL (1977) (voir section 2.3), le terme *intégration mécanistique* a été préféré. Cette dernière est une variante du modèle initiale où Darden, suivant son constat que « nous avons négligé l'importance des mécanismes dans notre analyse » (DARDEN 2005, p. 356), « a reformulé son propre concept de théorie interchamps dans un cadre mécanistique » (NATHAN 2015, p. 168).

À la lumière de cette définition et de cette citation, trois motivations justifiant ce type de collaboration peuvent être identifiées. Premièrement, l'intégration peut être motivée « à cause de la diversité des contraintes à toute description acceptable d'un mécanisme et également due au fait que les chercheurs dans différents domaines étudient souvent différents types de contraintes » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 162). Deuxièmement, l'intégration peut être motivée parce que « [l]'explication en biologie couvre généralement plusieurs niveaux mécanistiques, reliant [par exemple] les faits sur les populations aux faits sur les organismes abominables, aux faits sur les cellules et les molécules qu'ils contiennent » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 162). Troisièmement, l'intégration peut être motivée parce que « [la biologie] traite fréquemment de multiples échelles temporelles entrelacées en même temps » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 162).

Ces motivations sont retrouvées dans les trois variantes d'intégration mécanistique qu'identifient CRAVER et DARDEN (2013).

La première est identifiée comme de l'*intégration mécanistique intraniveaux* ou *intégration mécanistique simple*. CRAVER et DARDEN (2013) précisent que cette variante se produit lorsque « différents champs de recherche [intègrent] leurs conclusions sur différents aspects d'un mécanisme, compris à un niveau particulier » (p. 163). Ce type d'intégration est défini ainsi :

**Définition 13 : Intégration mécanistique intraniveaux =  $D_f$**

« deux ou plusieurs champs de recherche étudient différentes étapes d'un mécanisme, ou différentes entités d'un mécanisme, ou différents aspects de l'organisation du mécanisme. » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 162-163)

Ce type d'intégration est exemplifiée par CRAVER et DARDEN (2013) à l'aide du cas de la découverte en biologie du mécanisme de synthèse des protéines (tel qu'illustré dans la figure 2.2). En effet, dans les années 1950-1960, les biologistes moléculaires et les biochimistes travaillaient sur cette question, mais en ayant des questionnements fondamentaux différents. Les premiers, « s'intéressaient au mécanisme qui ferait écho ou préserverait l'ordre linéaire des bases dans l'ADN dans l'ordre des acides aminés dans les protéines correspondantes » (p. 166). Les seconds « s'intéressaient au mécanisme d'incorporation ; ils voulaient savoir comment les acides aminés individuels se lient dans les chaînes polypeptidiques » (p. 166-167).

Or, « [c]e sont deux questions que n'importe qu'elle schème représentant le mécanisme de synthèse protéique doit pouvoir répondre » (p. 167). C'est seulement par l'intégration mécanistique (intraniveaux) de ces deux champs de recherche que ce schème a pu être construit<sup>22</sup>. En effet, « [a]ucun des deux champs de recherche, pris isolément, ne pouvait raconter l'histoire complète de la synthèse des protéines ; les histoires devaient être intégrées » (p. 167)<sup>23</sup>.

La seconde est identifiée comme de l'*intégration mécanistique interniveaux*. CRAVER et DARDEN (2013) précisent que cette variante se produit lorsque « différents champs de recherche [intègrent] leurs conclusions à différents niveaux, soit en regardant vers le haut pour voir comment un phénomène est intégré dans les mécanismes de niveau supérieur, soit en regardant vers le bas pour voir comment un phénomène est intégré dans les mécanismes de niveau inférieur » (p. 163). Ce type d'intégration est défini ainsi :

**Définition 14 : Intégration mécanistique interniveaux =  $D_f$**

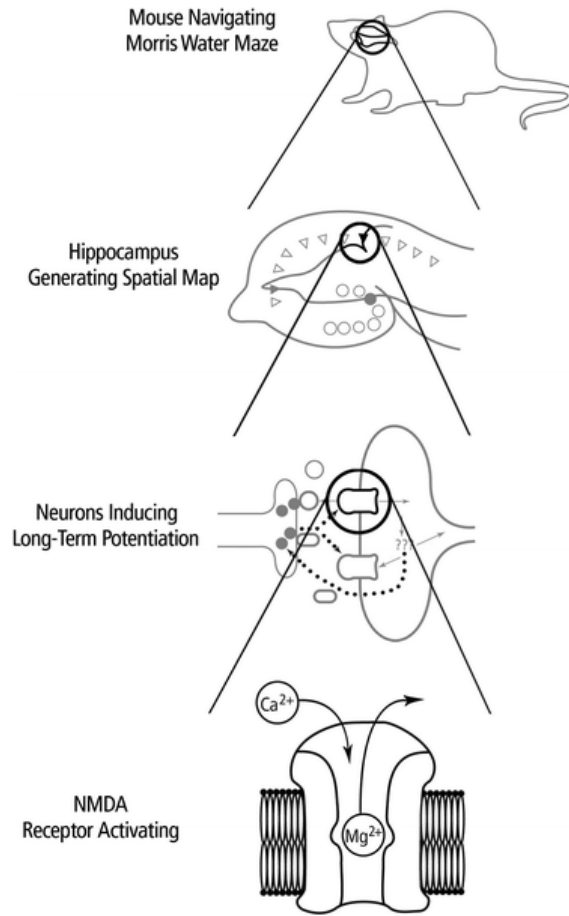
« différents champs de recherche étudient des phénomènes dont la relation est celle d'une partie à un tout [dans une hiérarchie imbriquée de mécanismes à l'intérieur de mécanismes]. » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 163)

Ce type d'intégration est exemplifiée par CRAVER et DARDEN (2013) à l'aide du cas de la découverte en neurosciences du mécanisme de potentialisation à long terme [Long-Term Potentiation] (LTP), mécanisme neural impliqué dans l'apprentissage et la mémoire. Ce mécanisme est un type de plasticité synaptique, c'est-à-dire « un renforcement durable et dépendant de l'utilisation de la synapse » (p. 168). Ce cas particulier est un exemple où « à la fois les formes ascendantes et descendantes de l'intégration interniveaux ont contribué à la recherche [...] sur les mécanismes neuronaux de l'apprentissage et de la mémoire » (p. 168) et a été mis en lumière, de façon simultanée, par les travaux de T.V.P. Bliss, Terje Lømo, et A.R. Gardener-Medwin présentés dans trois articles en 1973. Ceux-ci vont y conceptualiser la « LTP comme faisant partie d'un mécanisme multiniveau, qui s'étend vers le haut au phénomène d'apprentissage et vers le bas aux mécanismes moléculaires des activités électrophysiologiques et chimiques des cellules » (p. 169) (voir figure 2.3). Ce faisant, ils ont permis d'instituer le cas de la LTP comme un sujet d'étude en soi où, à la fois,

---

22. Voir CRAVER et DARDEN (2013, p. 164-167) pour une exposition détaillée.

23. Voir DARDEN et CRAVER (2002) repris dans DARDEN (2006, chap. 3) pour plus de détails sur ce cas.



**FIGURE 2.3.** Différents niveaux du mécanisme d'apprentissage et de mémoire (tiré de CRAVER et DARDEN (2013, p. 171)).

les résultats des travaux des psychologues expérimentales et de biologistes moléculaires pouvaient être intégrés dans l'explication d'un même phénomène, i.e. dans la construction du schème mécanistique. Pour résumé, « ce projet intégrateur a permis d'esquisser un cadre autour duquel la LTP pouvait accommoder la contribution de divers chercheurs » (p. 172). Dans ce cas aussi, « [l]'intégration multiniveau est nécessaire si l'on veut saisir la richesse et la complexité d'un monde de créatures évoluées et en évolution » (p. 172)<sup>24</sup>.

La troisième est identifiée comme de l'*intégration mécanistique intertemporelle*. CRAVER et DARDEN (2013) précisent que celle-ci se produit quand « l'échafaudage mécanistique de l'intégration des champs de recherches est organisé en fonction de la relation entre les processus ou les étapes temporelles » (p. 164). Celle-ci est divisée en deux sous-variantes soit

<sup>24</sup>. Voir CRAVER et DARDEN (2013, p. 167-172) et CRAVER et DARDEN (2001) repris dans DARDEN (2006, chap. 2) pour plus de détails sur ce cas.



*l'intégration intertemporelle séquentielle et l'intégration intertemporelle interniveaux continue.*

L'*intégration intertemporelle séquentielle* consiste en le fait que « [d]ifférents champs de recherches peuvent travailler sur différentes étapes d'un mécanisme fonctionnant de façon séquentielle dans le processus générateur » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 172). Ce type d'intégration est défini ainsi :

**Définition 15 : Intégration mécanistique intertemporelle séquentielle**

= Df

« deux ou plusieurs domaines sont intégrés par le fait qu'ils travaillent sur des sous-mécanismes qui occupent différentes étapes dans un mécanisme plus inclusif. »<sup>25</sup> (CRAVER et DARDEN 2013, p. 172)

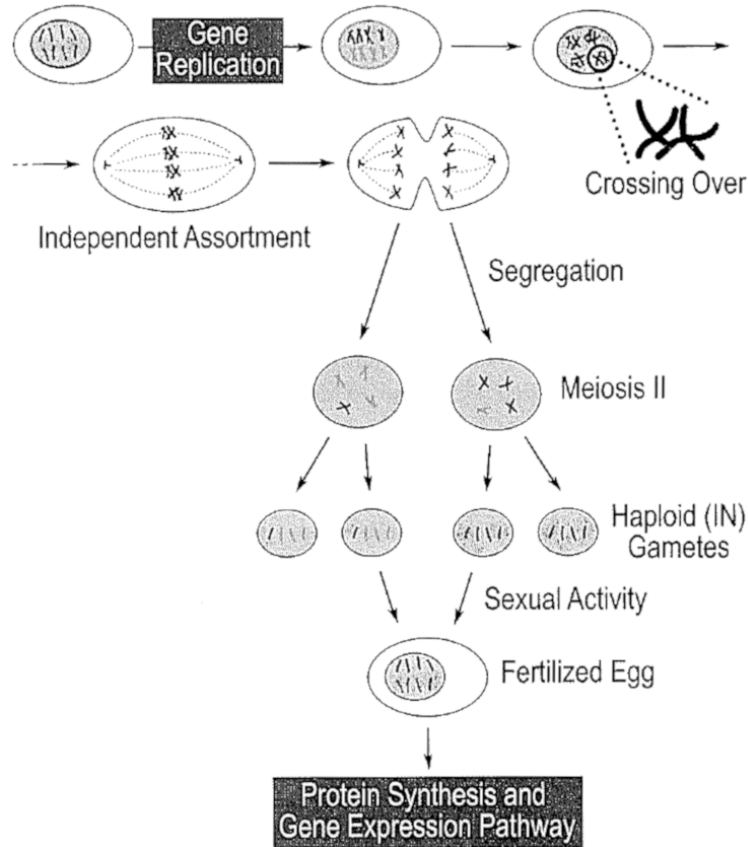
Ce type d'intégration est exemplifiée par CRAVER et DARDEN (2013) à l'aide du cas de la découverte du mécanisme de l'hérédité. Dans ce cas précis, les chercheur-e-s de « [d]eux sous-champs de recherches différents de la génétique ont abordé différents aspects de ce problème et, en fin de compte, ont produit un schéma intégré des mécanismes de l'hérédité » (p. 172). D'une part, les généticiens mendéliens « ont cherché à expliquer les régularités approximativement capturées par les lois de Mendel sur la ségrégation et l'assortiment indépendant » (p. 173)<sup>26</sup>. D'autre part, les biologistes moléculaires « ont cherché à expliquer en détail comment les gènes sont copiés, comment les mutations surviennent et comment les gènes produisent des caractères héréditaires » (p. 173). La participation de chacun de ces champs de recherche a permis de compléter la construction d'un schème mécanistique représentant le mécanisme de l'hérédité, schème pour lequel les généticiens mendéliens des années 30 n'avaient pu que fournir une esquisse (voir figure 2.4).

En effet, celui-ci a la particularité de se décliner en plusieurs sous-mécanismes connectés sériellement. Le travail des biologistes moléculaires des années 1950-1970 a été de « remplir les boîtes noires à différentes étapes du mécanisme héréditaire identifiées par les généticiens mendéliens » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 175), c'est-à-dire qu'ils ont mis en lumière « des mécanismes au niveau moléculaire opérant avant et après ceux mendéliens/cytologiques pour l'assortiment et la ségrégation » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 176). Leur travail a permis

---

25. CRAVER et DARDEN (2013) précisent que, par exemple, « [d]ans les mécanismes en série, un champ de recherche peut travailler sur un mécanisme sur un stade antérieur, tandis qu'un autre champ de recherche concentre ses énergies sur le sous-mécanisme à un stade ultérieur » (p. 172).

26. Voir DARDEN (2005, section 5) pour une exposition de ces deux *lois* et de leur développement historique.



**FIGURE 2.4.** Différents sous-mécanismes connectés de façon sérielle du mécanisme de l'hérédité (tiré de CRAVER et DARDEN (2013, p. 174).

de fournir des représentations pour les « mécanismes de réplication des gènes, de mutation, et certains mécanismes de l'expression génique » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 176) qui ont par la suite pu être intégrés au mécanisme plus large de l'hérédité. Ce faisant, « [l]a génétique mendélienne et la biologie moléculaire ont été intégrées à travers l'élaboration de ce mécanisme multiétapes, les différentes étapes sérielles et temporelles étaient étudiées par différents champs de recherche » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 177). Ici encore, « [c]et épisode a nécessité l'intégration de deux champs de recherches différents car ni l'un ni l'autre ne disposait des outils nécessaires pour résoudre les problèmes traités dans le champ voisin » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 176-177)<sup>27</sup>.

L'*intégration intertemporelle interniveaux continue* consiste en le fait que « [d]ifférents champs de recherche peuvent travailler sur différents processus qui contribuent simultanément à la production d'un effet donné tout en fonctionnant encore et encore sur une échelle

27. Voir CRAVER et DARDEN (2013, p. 172-177) et DARDEN (2005) repris dans DARDEN (2006, chap. 4) pour plus de détails sur ce cas.

de temps plus longue » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 172). Ce type d'intégration peut être défini ainsi :

**Définition 16 : Intégration mécanistique intertemporelle interniveaux continue =  $D_f$**

« différents champs de recherche contribuent à la compréhension de différents mécanismes qui agissent à plusieurs niveaux simultanément et sur différentes échelles de temps pour contribuer de façon continue au phénomène. » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 164)

Ce type d'intégration est exemplifiée par CRAVER et DARDEN (2013) à l'aide du cas de l'explication du mécanisme de l'évolution par la *synthèse moderne de l'évolution* développée à partir des années 1920-1930. Dans ce cas complexe particulier, Dobzhansky avait « plaidé en faveur d'une perspective à trois niveaux sur les mécanismes de production de la diversité de la vie sur terre » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 178). Cette perspective est résumée ainsi :

« [l]e premier niveau inclut les changements génétiques et chromosomiques qui produisent des variations ; le deuxième niveau inclut les mécanismes qui façonnent les structures de populations, y compris la sélection naturelle ; et enfin le troisième niveau concerne la fixation de la diversité par des mécanismes isolants pour produire de nouvelles espèces reproductrices isolées. » (Dobzhansky, 1937, p. 12-13, tiré de CRAVER et DARDEN (2013, p. 178)).

Ce qui rend ce cas particulièrement complexe est que « [p]lusieurs champs de recherche étudient les mécanismes de production des variations, le mode de fonctionnement de la sélection naturelle et les mécanismes d'isolement à l'origine de nouvelles espèces » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 182). Ainsi, une intégration interniveaux est minimalement nécessaire pour expliquer ce phénomène. Or, cela ne fournirait qu'une image fixe de l'intrication entre ces trois niveaux de mécanismes puisque ces derniers ont une temporalité qui leur est propre. Par temporalité propre, il est entendu que les phénomènes à ces niveaux se déroulent à des vitesses différentes, « des événements moléculaires durant quelques secondes, aux événements qui surviennent au cours de la vie des organismes particuliers, aux effets sur les populations durant de nombreuses années, à la formation de ramification d'espèces se formant au fil des âges » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 172). Ce faisant les connaissances mobilisées doivent s'inclure dans une certaine temporalité. Mais, contrairement au cas du mécanisme de l'hérédité, les étapes de ce mécanisme ne sont pas séquentielles, mais « opèrent de façon

continue, sur de longues périodes d'évolution » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 182). Ainsi, l'intégration ne peut se résumer à la transformation d'une esquisse mécanistique développée par un champ de recherche en un schéma mécanistique par la participation d'un second champ de recherche. Ce cas demande plutôt une intégration permettant d'accommoder le fait que le mécanisme de l'évolution est « un mécanisme multiniveau, temporellement étendu avec de nombreuses opérations simultanées produites par ces sous-mécanismes » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 178)<sup>28</sup>. Ces éléments font que la production d'une explication de ce phénomène a nécessité et nécessite toujours actuellement l'intégration de plusieurs champs de recherche<sup>29</sup>.

### 2.1.3. Résumé

Le cadre néomécaniste offre une conception sophistiquée de l'intégration en sciences. Cette dernière s'inscrit dans un projet plus large de conceptualisation des sciences à travers le langage des mécanismes. La recherche scientifique y est vue comme s'intéressant particulièrement à la construction de schèmes mécanistiques permettant d'expliquer les phénomènes en représentant les mécanismes qui les génèrent. Pour ce faire, les chercheurs vont identifier, à divers degrés de précision, les entités et activités qui, selon leur articulation, vont permettre de produire, sous-tendre ou de maintenir un phénomène. Au sein de ce cadre, les cas d'intégration surviennent lorsque la représentation d'un phénomène, la construction d'un schème mécanistique, nécessite la participation d'au moins deux champs de recherche. Diverses variantes vont être identifiées selon les caractéristiques du mécanisme à l'étude. Il y a *intégration intraniveaux* lorsque les champs de recherche vont permettre d'identifier les composantes d'un même mécanisme se situant à un niveau donné. Par exemple, l'identification du mécanisme de synthèse des protéines dans les années 1950-1960 a nécessité à la contribution des biologistes moléculaires et des biochimistes. Il y a *intégration interniveaux* lorsque les champs de recherche vont permettre d'identifier les composantes d'un mécanisme s'étendant sur plusieurs niveaux. Par exemple, l'identification du mécanisme de LTP dans les années 1970 a nécessité à la contribution des psychologues expérimentaux et des biologistes moléculaires. Il y a *intégration mécanistique intertemporelle* lorsque les champs de

---

28. Traduction libre de « multilevel, temporally extended mechanism with many simultaneous instances of operations (runs) of its submechanisms » (CRAVER et DARDEN 2013, p. 178)

29. Voir CRAVER et DARDEN (2013, p. 177-182) et DARDEN (1986) repris dans DARDEN (2006, chap. 7) pour plus de détails sur ce cas.

recherche vont permettre d'identifier les différentes étapes ou temporalités d'un mécanisme. La première sous-variante, i.e. l'*intégration intertemporelle séquentielle*, est exemplifiée par l'identification du mécanisme de l'hérédité dans les années 1950-1970. Celui-ci a nécessité la contribution des généticiens mendéliens et des biologistes moléculaires. La deuxième sous-variante, i.e. l'*intégration intertemporelle interniveaux continue*, est exemplifiée par l'identification du mécanisme de l'évolution à partir des années 1920-1930. Celui-ci a nécessité la contribution de plusieurs champs de recherche étudiant des niveaux différents et ayant des temporalités différentes. Cette brève exposition de ce modèle d'intégration tiré de la philosophie de la biologie permet de préciser, à la fois, les unités et relations mobilisées dans le cas des intégrations mécanistiques.

## 2.2. Modèles d'intégration par unité coordonnée

### 2.2.1. Modèles d'intégration par unité coordonnée : cadre

Le modèle d'intégration par unité coordonnée s'appuie sur une représentation de la science s'opposant aussi à celle offerte par les modèles réductionnistes (e.g. OPPENHEIM et PUTNAM (1958)). Au sein de ce dernier, la science n'est plus vue comme une entreprise ayant pour objectif épistémique la recherche de vérité, mais plutôt la compréhension humaine du monde qui les entoure. En ce sens, POTOCHNIK (2017) mentionne que « [d]ans le cadre que je développe, la science ne poursuit pas directement la vérité, mais vise plutôt à soutenir les fins cognitives et pratiques de l'être humain » (p. ix). De ce changement de perspective, plusieurs conséquences philosophiques peuvent être rapportées. Notamment, les produits de la science sont vus comme des fictions<sup>30</sup> ; les explications scientifiques sont modelées par leurs visées communicatives et l'audience visée<sup>31</sup> ; la vision métaphysique d'un monde structuré hiérarchiquement est abandonnée et l'interaction entre les champs de recherche est révisée en conséquence<sup>32</sup> ; enfin, l'influence des valeurs sociales sur la pratique scientifique est étendue<sup>33</sup>.

Cette conception découle, grossièrement, d'un double constat. D'une part, « la science est pratiquée par des agents humains limités cognitivement » (POTOCHNIK 2017, p. 18). D'autre part, « nous habitons un monde excessivement complexe » (POTOCHNIK 2017, p. 18). Sur le

---

30. Voir POTOCHNIK (2017, chapitre 4)

31. Voir POTOCHNIK (2017, chapitre 5)

32. Voir POTOCHNIK (2017, chapitre 6)

33. Voir POTOCHNIK (2017, chapitre 7)

premier aspect, POTOCHNIK (2017) s'inscrit dans la mouvance dominante en philosophie des sciences à savoir qu'« [e]n philosophie, il y a reconnaissance croissante de la myriade de façons dont les attentes, les préoccupations et les limites humaines influencent la pratique scientifique » (p. 6). Cette dernière fournit quelques exemples tirés des sciences pour soutenir sa position<sup>34</sup>. Sur le second aspect, POTOCHNIK (2017) reprend à son compte les approches moins répandues, en sciences et en philosophie des sciences, axées sur la complexité. Elle précise quatre aspects du monde rendant ce dernier complexe. En bloc, (a) « il y a une grande variété de phénomènes différents » (p. 14), (b) « il existe un large éventail d'influences sur tout phénomène » (p. 14), (c) « les influences sur des phénomènes similaires varient et se combinent également de différentes manières » (p. 14), et (d) « il y a même une complexité dans la façon dont les influences individuelles affectent un phénomène » (p. 14) (POTOCHNIK 2017)<sup>35</sup>.

Le corollaire suivant découle de ce double constat :

« la conséquence la plus fondamentale de la science pratiquée par les humains dans un monde complexe est l'utilisation généralisée d'idéalisations, ou d'hypothèses faites sans égard à savoir si elles sont vraies et souvent en sachant pertinemment qu'elles sont fausses. » (POTOCHNIK 2017, p. 18)

En effet, les *idéalisations* permettent d'accommoder la *complexité causale* du monde en offrant des « représentations qui éliminent [idealize away] une grande partie de la complexité » (POTOCHNIK 2017, p. 41). Ce faisant, les régularités sous-jacentes aux phénomènes peuvent être exposées et étudiées. Puisque l'« [u]n des objectifs centraux de la science est de découvrir des *patrons causaux* » (POTOCHNIK 2017, p. 25), l'utilisation d'idéalisations devient nécessaire pour la poursuite de l'entreprise scientifique. En effet, ces dernières permettent de représenter les phénomènes « de manière à refléter les patrons causaux et à maximiser leur saillance pour les chercheurs humains » (POTOCHNIK 2017, p. 60). En d'autres termes, « [e]xposer les patrons causaux est difficile face à la complexité causale, et une méthode ubiquiste pour surmonter ces difficultés est l'utilisation d'idéalisations » (POTOCHNIK 2017, p. 19). Ces trois notions (i.e. idéalisation, complexité causale et patron causal) étant d'une importance notable sur comment l'intégration entre divers champs de recherche est conçue

---

34. Pour plus de détails concernant cette affirmation, voir POTOCHNIK (2017, p. 2-11)

35. Pour plus de détails concernant cette affirmation, voir POTOCHNIK (2017, p. 11-18)

dans ce cadre, notamment dans l'explicitation des motivations et modalités des divers types d'intégrations, ceux-ci seront ici brièvement explicités.

Sur le concept de *patrons causaux*, POTOCHNIK (2017) souligne que ceux-ci jouent un rôle important dans les divers *produits*<sup>36</sup> de la science. En effet, « tous capitalisent de manière significative sur les patrons causaux » (POTOCHNIK 2017, p. 33).

Par *patron*, cette dernière précise qu'elle « entend les patrons causaux comme étant des régularités dans les phénomènes eux-mêmes » (POTOCHNIK 2017, p. 25). En effet, ceux-ci sont *réels* au sens où ils sont présents dans le monde indépendamment des humains. En d'autres termes, « [d]e ce point de vue, les patrons ne sont pas eux-mêmes des représentations humaines, mais sont dépeints par nos représentations » (POTOCHNIK 2017, p. 25). Deux limitations sont rattachées à ceux-ci : « [a] ils ne sont valables que dans des circonstances limitées, et [b] la plupart comportent aussi des déviations et des exceptions, même dans ces circonstances données » (POTOCHNIK 2017, p. 26). La limitation sur la portée des patrons découle des capacités cognitives restreintes des humains. Ce faisant, « [l]a simplicité et la directivité [straightfowardness] d'un patron augmentent à la fois son utilité pour les humains limités et diminuent son universalité dans un monde qui n'est ni simple ni direct » (POTOCHNIK 2017, p. 26). La permissivité sur les déviations et exceptions concerne des objets qui théoriquement pourraient être inclus dans le domaine d'application d'un patron donné, mais qui ne le sont pas dans les faits. De façon précise, « [l]orsque les déviations à un patron sont suffisamment grandes, il en résulte des exceptions au patron, en d'autres termes, des systèmes dont on pourrait s'attendre à ce qu'ils incarnent un patron échouent à le faire. » (POTOCHNIK 2017, p. 26)<sup>37</sup>.

Par *causal*, POTOCHNIK (2017) entend qu'il existe un lien de dépendance entre des choses dans le monde. Plus précisément, cette dernière reprend l'approche manipulationniste de la causalité développée par WOODWARD (2003)<sup>38</sup>. Deux concepts clés permettent

---

36. POTOCHNIK (2017) mentionne par exemple les lois, « les modèles, les analyses causales et les esquisses mécanistiques » (p. 25).

37. POTOCHNIK (2017) mentionne que son interprétation de *patron* est une variante de celle développée par DENNETT (1991) nommée *patron réel*. La différence se trouve en ce que les régularités sont *incarnées* dans les phénomènes. Pour reprendre ces termes, « [u]n changement que j'apporterai est, où Dennett considère les patrons comme étant dans les *data*, je vais plutôt considérer les cas où un patron est exhibé par les phénomènes » (POTOCHNIK 2017, p. 26-27). Voir p 26-28 de POTOCHNIK (2017) pour plus de détails.

38. Deux raisons sont rapportées par POTOCHNIK (2017) pour justifier la reprise de cette conception de la causalité. D'une part, « [l]'utilité pratique des connaissances causales dans la manipulation et le contrôle est l'une des principales motivations de l'interprétation de Woodward (POTOCHNIK 2017, p. 29). Cette

d'examiner le caractère causal du lien de dépendance entre deux variables, par exemple l'influence d'une variable  $X$  sur une variable  $Y$ , : (a) l'intervention et (b) l'invariance. En effet, « [l]es relations causales exigent toutes un certain degré d'*invariance*, car la façon dont les changements à  $X$  affectent  $Y$  doit au moins être stable sous certaines *interventions* dans certaines circonstances » (POTOCHNIK 2017, 29 ; italiques ajoutés). Sur (a), «  $X$  est une cause de  $Y$  seulement dans le cas où certaines interventions sur  $X$  changeraient la valeur de  $Y$  dans certaines circonstances contextuelles » (POTOCHNIK 2017, p. 30). Ainsi, « [l]es interventions, ou relations de manipulabilité, sont [...] le guide ultime des relations causales » (POTOCHNIK 2017, p. 30)<sup>39</sup>. Sur (b), « [u]ne relation causale peut être stable sur des plages plus ou moins étendues d'interventions et de circonstances contextuelles » (POTOCHNIK 2017, p. 30). Ainsi, « [l]'invariance est la clé pour formuler des généralisations sur les relations causales » (POTOCHNIK 2017, p. 30). Ces précisions permettent de produire la définition suivante :

**Définition 17 : Patron causal =  $D_f$**

une régularité observable dans un groupe de phénomènes dont le lien de dépendance est causal, i.e. vérifiable par intervention et possédant un certain degré d'invariance selon des circonstances contextuelles données, et permettant déviations et exceptions.<sup>40</sup>

---

proposition est donc en accord avec la thèse épistémologique de Potochnik fondée sur les besoins pratiques humains. D'autre part, l'interprétation de la causalité de Woodward situe celle-ci à un niveau de généralité similaire à la proposition de Potochnik concernant les patrons. En ce sens, « [l]a relation causale entre les types est fondamentale et constitue la base des attributions causales pour les cas particuliers » (POTOCHNIK 2017, p. 29). En effet, cette dernière rapporte que, chez Woodward, « [l]a causalité est considérée comme une relation entre des variables, où les variables sont des "propriétés ou une magnitude ... capables de prendre plus d'une valeur" (Woodward 2003, 39) » (POTOCHNIK 2017, p. 29).

39. POTOCHNIK (2017) précise que la proposition de WOODWARD (2003) ne nécessite pas que des interventions soit opérées dans les faits pour vérifier le lien causal entre deux variables. En effet, « [l]a connexion entre intervention et causalité est plutôt conceptuelle » (POTOCHNIK 2017, p. 30). L'ensemble des relations causales identifiées en science dépassent donc l'ensemble des relations causales directement manipulable. Voir POTOCHNIK (2017, p. 30) pour plus de détails.

40. La notion de causalité ici utilisée est mentionnée comme plus *libérale* que d'autres interprétations où l'attribution causale se restreint aux processus et interactions causaux (e.g. SALMON (1984) et DOWE (2000)) puisqu'elle n'inclut pas seulement ce qui a trait à l'histoire causale actuelle. En effet, POTOCHNIK (2017) mentionne que sa conception comprend, par exemple, les modèles de théories des jeux en biologie évolutionnaire comme étant causaux (voir exemple ci-dessous du modèle de ROUGHGARDEN (2009) pour le type de collaboration dans la construction de représentation intégrée). Pour ce faire, cette dernière introduit la notion de *cause structurelle* entendue comme « une variable dont dépend contrefactuellement un phénomène de la manière requise par la conception de la manipulabilité de Woodward, mais qui n'a pas changé pour provoquer l'occurrence du phénomène » (POTOCHNIK 2017, p. 32). Pour plus de détails sur cette différence dans l'attribution causale, voir (POTOCHNIK 2017, p. 30-33).



Sur le concept de *complexité causale*, POTOCHNIK (2017) soutient que « [l]es phénomènes qui font l'objet de recherches scientifiques sont presque toujours le résultat d'un large éventail d'influences causales diverses qui interagissent de manière compliquée » (p. 35). En ce sens, l'ensemble des influences causales générant un phénomène donné peuvent difficilement être toutes identifiées. Cela peut être explicité à l'aide du cas fictif d'une étude menée en laboratoire où une grande partie des variables sont contrôlées. POTOCHNIK (2017) mentionne que « [m]ême les phénomènes menés en laboratoire ne sont pas seulement influencés causalement par les variables visées par la recherche, mais aussi par les éléments mis en place pour exposer les variables visées, ainsi que par plusieurs autres influences survenues plus tôt dans le temps » (p. 35)<sup>41</sup>. Il s'agit de cet enchevêtrement d'influences causales dans la production des phénomènes que POTOCHNIK (2017) nomme *complexité causale*. À la lumière de ces précisions, la définition suivante de ce concept peut être offerte :

**Définition 18 : Complexité causale =  $D_f$**

une caractéristique attribuable au monde où chaque phénomène est le produit d'un enchevêtrement de multiples influences causales (distales et proximales) s'influçant mutuellement.

Deux justifications sont offertes pour appuyer l'affirmation que la complexité causale est une caractéristique du monde. D'une part, POTOCHNIK (2017) rapporte que « ce que nous connaissons et apprenons progressivement à propos du monde corrobore cette vision » (p. 40). Cette affirmation s'appuie sur la popularité grandissante des approches *par systèmes complexes*<sup>42</sup>. D'autre part, POTOCHNIK (2017) rapporte que « la combinaison du caractère non universel [lawlessness] et, pourtant, largement répandu du succès dans la découverte de patrons causaux suggère à mon esprit un monde empreint de relation causale variable et complexe » (p. 41). Cette justification s'appuie sur deux éléments. Premièrement, le manque de succès dans l'identification de lois par les sciences. En effet, « [l]e caractère non universel

---

41. Cette séquence permettant d'illustrer les nombreuses influences causales pour un phénomène donné est reprise plus loin de façon plus générale de la façon suivante par POTOCHNIK (2017) : « [l]'exercice suivant permet de générer un nombre illimité d'autres exemples de complexité causale : choisir n'importe quel phénomène étudié en science, puis considérer les types d'influences causales sur ce phénomène. N'oubliez pas d'inclure les conditions d'arrière-plan [background condition], les causes à des périodes antérieures et postérieures et les influences causales sur les causes que vous avez déjà identifiées. Lorsque votre liste s'allonge, commencez à considérer comment ces influences se chevauchent et s'influencent mutuellement. C'est cela la complexité causale » (p. 40-41).

42. Les exemples fournis par POTOCHNIK (2017) sont « la biologie du développement, les neurosciences, la dynamique des fluides et la météorologie » (p. 40)

[lawlessness] de la science, c'est-à-dire, l'échec continu de la science à identifier des relations de dépendance universelle, est en soi une corroboration de la complexité causale » (POTOCHNIK 2017, p. 41). Deuxièmement, le succès des sciences dans l'identification de patrons causaux (voir Définition 17) au sens où « des patrons causaux ont été découverts pour une large gamme de phénomènes d'intérêt pour nous humains » (p. 41). En d'autres termes, la croyance que le monde est causalement complexe s'appuie sur les pratiques actuelles en science <sup>43</sup>

Quelques implications de la complexité causale du monde méritent d'être soulignées, ces dernières permettant notamment de clarifier la notion. Premièrement, pour POTOCHNIK (2017), « la complexité causale dépasse largement [nos] ressources représentationnelles, même pour les représentations visant expressément la capture de la complexité » (p. 39) <sup>44</sup>. Ce faisant, « toute représentation peut seulement saisir un sous-ensemble des influences causales affectant un phénomène » (POTOCHNIK 2017, p. 36) <sup>45</sup>. Plus encore, « [p]lus il y a d'influences causales, plus il y a de variables qui produisent des effets suivant un patron [patterned effects] – soit séparément, soit en combinaison, soit les deux » (POTOCHNIK 2017, p. 42). Un même phénomène peut donc incarner une infinité de patrons différents, tous pouvant être l'objet focal de la recherche scientifique. Ainsi, il est impossible pour une représentation de contenir l'ensemble des influences causales pour un phénomène donné dû à la complexité causale. Ensuite, cette dernière mentionne que « les types d'influences causales affectant un phénomène tendent à ne pas tomber clairement dans l'aire d'intérêt d'un ou quelques-uns des champs de recherche scientifique » (POTOCHNIK 2017, p. 39). Cette conséquence est particulièrement problématique. En effet, « ces connexions causales qui transcendent les délimitations des champs de recherche peuvent poser des difficultés particulières [special] puisque les champs de recherche scientifique tendent à différer dans leur méthodologie, c'est-à-dire dans leurs outils d'investigation et de représentation » (POTOCHNIK 2017, p. 39) <sup>46</sup>. Ainsi, la complexité causale limite la capacité pour un champ de recherche donnée d'identifier l'ensemble des

---

43. Cette justification ne sera pas ici discutée puisque l'objectif simplement est de rapporter les éléments essentiels pour comprendre ce cadre et non de les évaluer.

44. POTOCHNIK (2017) utilise l'exemple de la représentation des causes de l'obésité tel qu'illustré dans l'*atlas du système de l'obésité* présenté dans VANDENBROECK et al. (2007) pour montrer son point. Voir POTOCHNIK (2017, p. 37-40) pour plus de détails.

45. POTOCHNIK (2017) ajoute un niveau de complexité supplémentaire en ajoutant qu'un « ensemble délimité d'influences causales peut être représenté d'une multitude de façons incompatible » (p. 36).

46. Il s'agit d'une des raisons pourquoi la collaboration entre champs de recherche dans le développement de représentations intégrées est moins fréquente. Pour plus de détails, voir section suivante.

influences causales associées à ses objets d'étude. Pour terminer, POTOCHNIK (2017) mentionne qu'il existe « plusieurs complications sur comment les causes exercent leur effet » (p. 40). Cette dernière mentionne, comme exemples, « les interdépendances causales [...], les influences causales sur certains effets qui s'influencent également les uns les autres, et les causes qui nécessitent la présence d'autres facteurs pour exercer leur influence » (POTOCHNIK 2017, p. 40). Ces interinfluences seraient particulièrement limitantes pour l'application d'interventions dans l'étude d'un lien de dépendance causale puisque, explique POTOCHNIK (2017), « [u]ne intervention exige que les valeurs de toutes les variables qui ne se trouvent pas sur le chemin causal à l'étude soient maintenues fixes » (p. 40). Or, pour les exemples plus hauts, une intervention sur une variable ferait aussi varier les autres variables devant rester fixes. Ainsi, « la complexité causale rend l'analyse causale difficile et parfois même, dans certains cas, impossible » (POTOCHNIK 2017, p. 40).

Sur les *idéalisations*, POTOCHNIK (2017) soutient que celles-ci sont centrales à la science étant à la fois *rampantes* et *incontrôlées*. Plus précisément, cette dernière mentionne que

« [p]ar *rampantes*, j'entends que les idéalizations sont trouvées dans l'ensemble de nos meilleurs produits scientifiques, et qu'elles représentent même des influences causales cruciales[; p]ar *incontrôlées*, je veux dire que peu d'efforts sont déployés pour éliminer ou même contrôler ces idéalizations. » (POTOCHNIK 2017, p. 41-42)

Diverses raisons vont motiver l'utilisation d'idéalizations. Celles-ci, souvent interreliées, vont servir « une variété d'objectifs, généralement liés à la représentation ou à la capitalisation d'un modèle causal d'intérêt » (POTOCHNIK 2017, p. 47). La figure 2.5 permet d'illustrer divers exemples de raisons catégorisées selon le statut temporel de l'idéalisation (temporaire, permanente) et la motivation principale (accommoder la complexité du monde, accommoder les intérêts des scientifiques). L'ensemble de ces raisons vont ultimement être subsumables sous l'objectif des sciences et aux contraintes précédemment mentionnées, à savoir la représentation de patrons causaux malgré les limites cognitives humaines et la complexité causale du monde. La particularité ici est que les intérêts de recherche des chercheur-e-s étudiant un phénomène donné vont influencer sur le patron causal focal (un groupe de phénomène pouvant incarner une multitude de patrons). En effet,

« [l]es patrons causaux d'intérêt pour les scientifiques tendent à être assez

	<i>Due primarily to the world</i>	<i>Due primarily to scientists' features</i>
<b>Temporary</b>	Exceedingly complex causal structure Technique happens to get traction “Handshake” between models	Limits of computational power Familiar technique Preparatory for different approach
<b>Permanent</b>	Computational limits Captures core causal influences Enables general application	Cognitive limits Limited research focus Pedagogical value

**FIGURE 2.5.** Exemples de raisons motivant l’utilisation des idéalizations catégorisées en fonction du statut temporel (temporaire, permanente) et de la motivation principale (accommoder la complexité du monde, accommoder les intérêts des scientifiques) (tiré de POTOCHNIK (2017, p. 48)).

simples et assez généraux, ils tendent à concerner des causes intrinsèquement d’intérêt ou d’intérêt en raison de leur potentiel d’intervention, et ils tendent à être des patrons ayant un degré de spécificité adéquat pour fournir les bases pour l’intervention. » (POTOCHNIK 2017, p. 42)

Ce faisant le rôle des idéalizations dans les représentations et modèles est d’augmenter la saillance du patron causal d’intérêt. Plus précisément, « une idéalisation représente une caractéristique d’un phénomène *comme si [as-if]* elle était autre qu’elle ne l’est, dans le but de saisir la pertinence précise de cette caractéristique par rapport au patron causal focal (mais, surtout, pas par rapport au phénomène lui-même) » (POTOCHNIK 2017, 57 ; italiques ajoutés). Ce faisant, les idéalizations sont utiles à la fois pour faciliter la représentation d’un phénomène, mais aussi exacerbation de caractéristiques d’intérêt. En d’autres termes, « les idéalizations assistent dans la représentation non seulement par ce qu’ils éliminent, comme le bruit ou les influences non centrales, mais en vertu de ce qu’elles ajoutent, c’est-à-dire leur contenu représentationnel positif » (POTOCHNIK 2017, p. 50). Ce rôle positif est lié à la clause *comme si [as if]* (ou *représentation comme si [as-if]*) mise de l’avant plus haut. En effet, « [l]’idée générale [derrière cette clause] est qu’une idéalisation représente un système comme si [as if] il possède une ou plusieurs caractéristiques qu’il ne possède pas » (POTOCHNIK 2017, p. 52). Cet ajout permet d’augmenter la saillance d’un patron causal focal en fixant une variable, minimisant ainsi l’influence des facteurs qui en dépendent sur le patron causal d’intérêt. En d’autres termes, « le rôle représentationnel positif des idéalizations

est d'indiquer [indicate] la nature de la pertinence d'un facteur par rapport au patron causal focal » (POTOCHNIK 2017, p. 54)<sup>47 48 49</sup>.

### 2.2.2. Modèles d'intégration par unité coordonnée : types d'intégration

Cette brève exposition des concepts clés du cadre sur lequel s'appuie le modèle d'intégration par unité coordonnée permet maintenant d'aborder précisément comment l'intégration est conçue dans ce cadre. Ce modèle, inspiré des travaux de Neurath et de sa conception de l'unité des sciences [*Einheitswissenschaft*], vise à rendre compte de la nécessité de collaboration entre les différents champs de recherche à la lumière de la complexité causale du monde. En effet,

« [l]e monde est un endroit compliqué, avec des flèches causales pointant dans tous les sens. C'est pourquoi les interrelations évidentielles transcendent les frontières des champs de recherche et, par conséquent, pourquoi différents domaines de la science tirent profit de la collaboration. C'est la base d'un fort sens coordonné de l'unité de la science. Parce que nous vivons dans un monde complexe, avec des relations causales qui ne respectent pas les limites des champs de recherche, la coordination de divers champs de recherche, sous-champs et programmes de recherche facilite le succès de la science. » (POTOCHNIK 2011, p. 308-309)

En d'autres termes, c'est parce que le monde ne peut être découpé suivant les domaines d'intérêt des divers champs de recherche que la collaboration devient nécessaire ou puisque, « [e]n termes simples, les relations évidentielles ne respectent pas les limites des champs de recherche » (POTOCHNIK 2011, p. 307). En effet, il existe un décalage entre la classification des objets dans le monde comme des domaines distincts, étudiés par des champs de recherche distincts, et les relations évidentielles permettant l'étude de ces objets. Ce faisant, suivant Neurath, diverses relations<sup>50</sup> doivent être établies entre les champs de recherche, « la nécessité

---

47. POTOCHNIK (2017) fournit, entre autres, l'exemple du postulat d'une population de taille infinie dans le cas de l'étude de l'effet de la dérive génétique.

48. Pour une discussion sur la conception philosophique de la représentation pouvant fonder la relation entre représentation-représenté pour les représentations *comme si [as-if]*, voir POTOCHNIK (2017, p. 53-54)

49. Pour une distinction des idéalizations, telles qu'introduites ici, et les concepts d'abstraction et de fictions, voir POTOCHNIK (2017, p. 55-57)

50. POTOCHNIK (2011) souligne trois types de collaborations identifiées par Neurath : (a) l'unification de langage scientifique, (b) l'unification des procédures auxiliaires, et (c) les interconnexions [cross-connections] entre les champs de recherche. Par (a), il est entendu que « la terminologie et le symbolisme sont utilisés de la manière la plus cohérente possible entre toutes les disciplines » (p. 307). (b) fait référence au partage d'outils « , par exemple, la théorie des probabilités, qui peut être utilisée de façon répétée dans différents contextes et pour différents problèmes » (p. 307). Sur (c), POTOCHNIK (2011) rapporte les propos de Neurath : « de la plus grande importance est aussi la liaison des disciplines entre elles par l'établissement d' "interconnexions" » (1936a, p. 155) » (p. 307).

de ces formes de collaboration [survenant] dans le processus d’application de la science à des problèmes particuliers » (POTOCHNIK 2011, p. 307 ; POTOCHNIK 2017, p. 189)<sup>51</sup>. Il s’agit donc d’un impératif pratique qui, face à la complexité causale du monde, motive la collaboration entre les divers champs de recherche de la science. En d’autres termes, « [l]e traitement précis des phénomènes d’intérêt exige régulièrement la collaboration entre les différents champs de recherche, malgré les divergences de terminologie, de méthodologie et de domaines d’investigation » (POTOCHNIK 2017, p. 307).

Ce modèle, en s’inscrivant dans la lignée des travaux de Neurath, va être soutenu par une conception de l’unité des sciences discordante d’avec les conceptions plus traditionnelles d’*unité réductive*<sup>52</sup>. Potochnik résume cette position ainsi :

« [s]elon cette tradition alternative, l’unité de la science est réalisée par la coordination de divers champs de recherche, dont aucun n’est considéré comme ayant un statut épistémique privilégié. [...] J’ai nommé cette famille de modèles “unité coordonnée”, par opposition à ce que l’on pourrait appeler l’unité réductrice. » (POTOCHNIK 2017, p. 188)

Sur cette conception de l’unité des sciences comme *unité coordonnée*<sup>53</sup>, deux précisions peuvent être rapportées.

Premièrement, l’*unité coordonnée* a pour conséquence de renverser l’approche dans le développement d’une science unifiée. En effet, « [a]u lieu de viser une synthèse des différentes sciences sur la base d’une philosophie préalable et indépendante, les sciences spéciales fourniront elles-mêmes leur propre colle de synthèse (Neurath 1937, p. 172) (POTOCHNIK

---

51. Potochnik appuie cette affirmation en rapportant la citation de Neurath suivante : « [n]ous évitons les pseudo-problèmes de toutes sortes si, dans l’analyse des sciences, nous partons des prédictions, de leur formulation et de leur contrôle. Mais c’est précisément ce point de départ qui est peu adapté à la délimitation de disciplines particulières. On n’arrive pas à des disciplines individuelles d’étoiles, de pierres, de plantes, d’animaux lors de la déduction de certaines prédictions, parce que la conjonction d’énoncés d’origines différentes devient toujours nécessaire (1936b, p. 132) » (POTOCHNIK 2011, p. 307 ; POTOCHNIK 2017, p. 189).

52. Par *unité réductive*, POTOCHNIK (2011) réfère largement aux projets donnant une place prépondérante à la réduction explicative. Les projets subsumés sous cette appellation sont ceux de OPPENHEIM et PUTNAM (1958), NAGEL (1961) et HEMPEL (1966). Pour une exposition détaillée des différences entre ces deux conceptions de l’unité, voir section 3 de POTOCHNIK (2011).

53. POTOCHNIK (2011) précise que « [d]es modèles que je considère comme des versions de l’unité de coordonnées ont été développés par DARDEN et MAULL (1977), BECHTEL (1984), MITCHELL (2003), GRANTHAM (2004) ; et plus particulièrement pour les neurosciences, Craver (2005) » (p. 306, note 2). Ainsi, sa proposition partage une certaine proximité conceptuelle avec ces propositions. Pour plus de détails sur comment son modèle se distingue de ceux-ci, voir section 2 de POTOCHNIK (2011) et POTOCHNIK (2017, p. 194-195).

2011, p. 307) »<sup>54</sup>. Ainsi, la nécessité de collaborer dans l'étude de certaines questions et sa mise en application est ce qui assure l'unification des sciences. Ce faisant, « la science unifiée est un processus continu de systématisation sans résultat précis en tête » (POTOCHNIK 2011, p. 307). Cette unification s'effectue donc de façon autonome, i.e. sans une planification préalable de l'articulation des différents champs de recherche, pour des raisons pratiques.

Deuxièmement, celle-ci a pour particularité de comprendre la science comme plurielle, mais unifiée à la fois. D'une part, la complexité causale « motive une diversité de buts et méthodes scientifiques, ainsi que les représentations idéalisées propres à leur finalité » (POTOCHNIK 2017, p. 190). C'est en ce sens que les champs de recherche ont tous un statut épistémique similaire. D'autre part, « faire face à la complexité causale nécessite aussi régulièrement des formes de collaboration entre ces divers projets, y compris entre les différents champs de recherche » (POTOCHNIK 2017, p. 190). Ces collaborations vont être constitutives de ce portrait unifié de la science. En effet, POTOCHNIK (2017) rapporte que :

« l'unité de la science émerge des interconnexions [cross-connections] qui s'établissent —et continuent de s'établir— entre les recherches connexes, de façon fragmentaire, malgré les différences de terminologie, de concepts, de représentations idéalisées, de méthodes et d'objectifs. » (POTOCHNIK 2017, p. 197)

Ces interconnexions vont être motivées par la nécessité pour les champs de recherche de collaborer afin de réaliser leurs objectifs particuliers. Cette nécessité, comprise sous le terme d'*interdépendance épistémique*, est définie ainsi :

**Définition 19 : Interdépendance épistémique =  $D_f$**

« [l]es ressources de champ et de sous-champ de recherche distincts doivent être mises en commun de façon régulière afin de fournir les données probantes nécessaires à un programme de recherche pour atteindre ses buts particuliers et limités. »<sup>55</sup> (POTOCHNIK 2017, p. 190-191).

Il s'agit de cette relation d'interdépendance épistémique entre les divers champs de recherche qui va permettre l'unité coordonnée des sciences. En effet, « c'est en ce sens que la science est un tout unifié, même si les représentations scientifiques et les objectifs qu'elles servent restent séparés et non intégrés » (POTOCHNIK 2017, p. 191). Cette précision permet

---

54. POTOCHNIK (2011) précise sur ce point que « [p]arce qu'il n'y a pas d'idée préconçue sur la façon dont les différentes parties de la science s'imbriqueront, la science unifiée ne créera pas un système complet et global, tel que devait l'être le projet de *logischet Aufbau* [construire logiquement] de Carnap » (p. 307).

55. Voir POTOCHNIK (2010) pour une exposition détaillée de la notion.

de rapporter la définition suivante de l'unité coordonnée :

**Définition 20 : unité coordonnée = Df**

« [l']interdépendance épistémique entre des programmes de recherche ayant des objectifs et des cibles d'étude différents, quel que soit le champ de recherche qui les héberge. »<sup>56</sup> (POTOCHNIK 2017, p. 196)

À la lumière de ces précisions, il est possible d'introduire « trois formes possibles de collaboration au service de l'interdépendance épistémique » (POTOCHNIK 2017, p. 191) identifiée comme permettant l'unité coordonnée des sciences<sup>57</sup>. Cette dernière ajoute que « [l]es deux premières sont fréquemment employées, tandis que la troisième ne l'est que dans des circonstances limitées » (POTOCHNIK 2017, p. 191).

La première forme de collaboration consiste en le *tri des interactions causales*, en la détermination « du type et l'orientation des interactions causales » (POTOCHNIK 2011, p. 309). POTOCHNIK (2017) précise que « rassembler des preuves provenant de diverses sources implique souvent de trier le type et l'orientation des influences causales, même pour les facteurs causaux qui ne sont pas d'intérêt premier pour la recherche et qui sont, de ce fait, idéalisés » (p. 191). POTOCHNIK (2017) identifie deux types d'objectifs scientifiques pour lequel le tri des interactions causales est particulièrement utile. D'une part, ce type de collaboration est important « dans la mise en lumière des patrons causaux généraux et pour déterminer si et dans quelle mesure des phénomènes particuliers incarnent ces patrons » (p. 191). D'autre part, ce type de collaboration est important pour « déterminer si un modèle prédictif est suffisamment précis » (p. 191). Cette forme d'intégration entre champs de recherche est définie de la façon suivante :

**Définition 21 : Collaboration dans le tri des interactions causales =**

**Df**

---

56. POTOCHNIK (2017) ajoute que « [c]ette unité transcende les différences entre les projets de recherche, les sous-domaines et les domaines [et que, l]es phénomènes causalement complexes étudiés par différentes approches de recherche créent le besoin d'une collaboration » (p. 196).

57. POTOCHNIK (2011) précise que ces trois formes de collaboration n'épuisent pas l'ensemble des possibilités de collaboration. En effet, « [i]l peut très bien y avoir d'autres méthodes qui aident à trier les interrelations évidentes » (p. 311). En ce sens, elle ajoute que « [c]es particularités méthodologiques sont l'emblème de l'unité de la science, mais elles ne la constituent pas » (p. 311).



« trier [sort out] les patrons causaux parmi les phénomènes étudiés par différents champs de recherche. »<sup>58</sup> (POTOCHNIK 2011, p. 311)

Ce type de collaboration est exemplifié dans POTOCHNIK (2011) et POTOCHNIK (2017) à l'aide du cas de l'étude de l'influence de la sélection sexuelle sur l'évolution de la queue colorée des paons mâles par TAKAHASHI et al. (2008). Ce cas d'étude est particulièrement intéressant puisque les chercheur-e-s vont eux-mêmes « définir leur recherche non pas par la méthodologie ou par le champ de recherche, mais par un phénomène particulier d'intérêt et un patron causal focal » (POTOCHNIK 2017, p. 190). L'étude des interactions causales responsable de l'apparition de la queue colorée des paons mâles a nécessité la collaboration de plusieurs champs de recherche, POTOCHNIK (2017) notant, entre autres, « les découvertes des champs de l'écologie, de la phylogénie et de l'endocrinologie » (p. 190). L'apport de ces trois champs de recherches peut être brièvement explicité.

Premièrement, l'analyse du cas à la lumière de l'écologie a montré que « la longueur et la complexité des patrons [elaborateness] de la queue n'affectent pas le succès reproducteur des paons mâle » (POTOCHNIK 2011, p. 308). Cette observation entre en contradiction avec l'hypothèse voulant que les femelles sélectionnent les mâles de façon préférentielle en se basant sur ces critères, i.e. qu'il y ait sélection sexuelle spécifiquement sur ce trait.

Deuxièmement, l'analyse du cas à la lumière de la phylogénie moléculaire a montré que les queues chez les paons mâles ne sont pas devenues plus colorées et imposantes au fil de l'évolution à partir d'un état ancestral donné. Au contraire, il s'agit plutôt de la queue des femelles qui s'est ternie et s'est raccourcie par rapport à ce même état ancestral. En d'autres termes, « plutôt que des paons mâles évoluant une queue plus élaborée, tel que communément

---

58. Deux types de limitations vont être identifiées par POTOCHNIK (2017) concernant ce type de collaboration. D'une part, « l'analyse causale entre les programmes de recherche pour produire des données probantes se produit généralement à la lumière d'objectifs de recherche préexistants » (p. 192). Ainsi, pour cette dernière, ce type de collaboration « ne comprendra que rarement l'élaboration d'objectifs de recherche ou de méthodes ou de représentations intégrées communes » (p. 192). D'autre part, « la mise en commun de preuves concernant l'influence causale n'est utile que dans la mesure où elle aide à déterminer si un postulat [positif] répond au standard d'acceptabilité applicable » (p. 192). En effet, la collaboration entre différents champs de recherche dans le tri des interactions causales se fait en fonction d'un objectif donné et c'est cet objectif qui détermine le standard d'acceptabilité. Par exemple, la compréhension ou l'explication d'un phénomène a pour standard l'acceptabilité épistémique et celle-ci « exige un degré différent d'exactitude des postulats, en fonction de leur rôle dans une représentation et de l'objectif auquel la représentation est destinée » (p. 192). Ce faisant, « [l']analyse causale entre les programmes de recherche doit donc se faire d'une manière qui tienne compte de la question de savoir si la véracité ou l'exactitude à certains égards sont nécessaires pour l'acceptabilité, épistémique ou autre, compte tenu de son objectif spécifique » (p. 192). Pour plus de détail sur l'acceptabilité épistémique (et surtout son rapport à la vérité), voir Potochnik (2017 ; chap 4).

supposé, les paons femelles ont en fait évolué une parure moins ornementale » (POTOCHNIK 2011, p. 308). Ainsi, la phylogénie « fournit des informations sur le passé évolutif, ce qui limite les trajectoires évolutives possibles » (POTOCHNIK 2017, p. 190). En effet, l'hypothèse du développement du trait au cours de l'évolution par sélection sexuelle devient difficilement soutenable.

Troisièmement, l'analyse du cas à la lumière de l'endocrinologie a montré que le développement de la longueur et de la complexité des patrons de la queue chez le paon est contrôlé par les niveaux d'œstrogènes. Or, « le plumage mâle sous contrôle œstrogénique a été montré comme ignoré lors du choix des partenaires par les paons femelles » (POTOCHNIK 2011, p. 308)<sup>59</sup>. Ainsi, l'endocrinologie « donne un aperçu des causes développementales de la queue colorée et celles-ci limitent les cibles possibles pour la sélection » (Potochnik, 2017 ; p.190). En effet, l'explication hormonale derrière la longueur et les patrons de la queue des paons mâle laisse croire que ces traits ne sont pas ciblés par les femelles paons, i.e. ne sont pas sélectionnés de façon préférentielle.

En résumé,

« [l]’établissement de la nature du patron causal entre les traits sous contrôle œstrogéniques et le comportement d'accouplement chez le paon, ainsi que l'évaluation de leur pertinence pour expliquer la queue du paon mâle, implique le tri des relations causales entre les processus développementaux et l'influence de la sélection. Il en est ainsi même si ces processus font souvent l'objet d'enquêtes distinctes. C'est pour cette raison que ces études causales bénéficient souvent d'une collaboration entre différents laboratoires, différents sous-champs et parfois même différents champs de recherche. » (POTOCHNIK 2011, p. 309)

---

59. Cette affirmation de POTOCHNIK (2011) mérite d'être clarifiée à la lumière de l'article de TAKAHASHI et al. (2008). En effet, ces derniers rapportent en introduction qu'« [o]n sait maintenant que l'hypothèse selon laquelle des taux plus élevés d'hormones mâles peuvent contribuer à des queues plus élaborées (Petrie et al. 1996) est endocrinologiquement incorrect (e.g. Owens et Short, 1995) (p. 1210). En d'autres termes, il n'existe pas de lien causal positif entre les niveaux d'hormones sexuelles mâles et la complexité des patrons de la queue des paons mâles. De plus, « l'expression d'ornements dans le plumage mâle qui sont sous le contrôle des œstrogènes, comme la queue du paon, sont typiquement de mauvais indicateurs de l'état phénotypique et génotypique des mâles (e.g. Owens et Short, 1995 ; Ligon *et al.*, 1998 ; Mateos, 1998 ; Kimball et Ligon, 1999). Potentiellement, par conséquent, les galliformes femelles portent généralement attention aux caractères dépendants de la testostérone plutôt qu'aux ornements de plumage des mâles (Brodsky, 1988 ; Moss *et al.*, 1988 ; Beani et Dessi-Fulgheri, 1995 ; Buchholz, 1995 ; Hannon et Eason, 1995 ; Fusani *et al.*, 1997 ; Mateos, 1998 ; Hagelin et Ligon, 2001 ; Parker et Ligon, 2003) » (p. 1215). C'est en ce sens que les traits sous contrôle œstrogénique, e.g. les ornements de la queue des mâles paons, sont considérés comme inintéressants pour les femelles paons puisqu'il s'agit d'un mauvais indicateur de qualité des mâles.

Dans ce cas précis, la collaboration de ces divers champs de recherche a permis de réviser l'hypothèse voulant que la sélection sexuelle soit la cause du développement, au cours de l'évolution, de la queue colorée du paon mâle. En effet, le tri des interactions causales a permis de montrer que ce « patron causal focal[, i.e. la sélection sexuelle,] n'est apparemment pas incarné par ce phénomène » (POTOCHNIK 2017, p. 190).

La seconde forme de collaboration consiste en le *dépassement des différences entre les champs de recherche*, « collaboration visant à surmonter [to navigate] les différences introduites par des objectifs de recherche distincts » (POTOCHNIK 2017, p. 192). POTOCHNIK (2017) précise que « [c]es différences peuvent comprendre des différences de terminologie et de catégorisation, des idéalizations incompatibles et d'autres postulats, ainsi que des formes différentes d'acceptation des postulats applicables, même des postulats apparemment similaires » (p. 192). La motivation derrière cette forme de collaboration se résume simplement : « [i]dentifier adéquatement et surmonter ces différences est nécessaire pour évaluer correctement la façon dont les résultats des différents programmes de recherche peuvent être reliés [relate] » (POTOCHNIK 2017, p. 193). Cette forme d'intégration entre champs de recherche est définie de la façon suivante :

**Définition 22 : Collaboration dans le dépassement des différences entre les champs de recherche =  $D_f$**   
surmonter [puzzling through] les variations entre les champs de recherche.<sup>60 61</sup>

Ce type de collaboration est exemplifié dans POTOCHNIK (2011) et POTOCHNIK (2017) à l'aide du cas de la différence terminologique entre la génétique mendélienne et la biologie moléculaire<sup>62</sup> pour le concept de *gène*. Ce cas d'étude est particulièrement intéressant puisque ces deux champs de recherches offrent « [l]a divergence la plus flagrante dans le concept de

---

60. Modification de la formulation originale « surmonter [puzzling through] les variations terminologiques entre les champs de recherche (POTOCHNIK 2011, p. 311).

61. Ce type de collaboration a été passablement élargie par rapport à l'itération initiale introduite dans POTOCHNIK (2011). En effet, celle-ci se limitait au départ à la clarification terminologique entre des champs de recherches, alors que l'itération plus récente englobe « les différences de terminologie et de catégorisation, les idéalizations incompatibles et autres postulats, et les différentes formes d'acceptation applicables aux postulats, même les postulats apparemment similaires » (POTOCHNIK 2017, p. 192).

62. POTOCHNIK (2011) et POTOCHNIK (2017) utilise le terme « génétique moléculaire » pour désigner ce champ de recherche. Le terme « biologie moléculaire a été préféré pour des raisons de cohérence.

gène » (POTOCHNIK 2011, p. 309 ; POTOCHNIK 2017, p. 192)<sup>63</sup>. En effet, « [l]a terminologie des différents domaines peut diverger, même si leurs investigations sont liées » (POTOCHNIK 2011, p. 309 ; POTOCHNIK 2017, p. 192). Or, « les différences terminologiques peuvent bloquer la voie à un partage efficace des preuves » (POTOCHNIK 2011, p. 309 ; POTOCHNIK 2017, p. 192). Dans le cas du concept de *gène*, « [d]es concepts de gènes différents, servant des objectifs de recherche différents, [ont conduit] à des affirmations causales différentes et apparemment incompatibles » (POTOCHNIK 2017, p. 192), notamment sur l'importance causale de la sélection naturelle et du phénomène de dérive génétique<sup>64</sup>. Sur cette problématique d'équivocité quant au concept de gène, l'analyse de KITCHER (1982) fournit une explicitation précise des différences de référent entre la génétique mendélienne et la biologie moléculaire pour ce terme<sup>65</sup>.

D'une part, au sein de la génétique mendélienne, les gènes seraient principalement caractérisés « par leur rôle dans la production d'effets macroscopiques ou, à tout le moins, d'effets phénotypiques » (KITCHER 1982, p. 348). En effet, trois significations distinctes sont rapportées par ce dernier pour ce concept soit le gène comme « l'unité fonctionnelle [cistron], l'unité de recombinaison [recons] et l'unité de mutation [mutons] » (p. 349). Ces trois formulations ont en commun de désigner un segment de chromosome. Il s'agit seulement de la délimitation qui diffère et cela selon le rôle de ce même segment dans la détermination d'un trait phénotypique. Les cistrons vont référer aux segments chromosomiques identifiables à l'aide d'un test de *cis-trans*<sup>66</sup> (voir figure 2.6) ; les recons vont référer aux segments chromosomiques échangés durant les processus de recombinaison au cours de la méiose ; et les

---

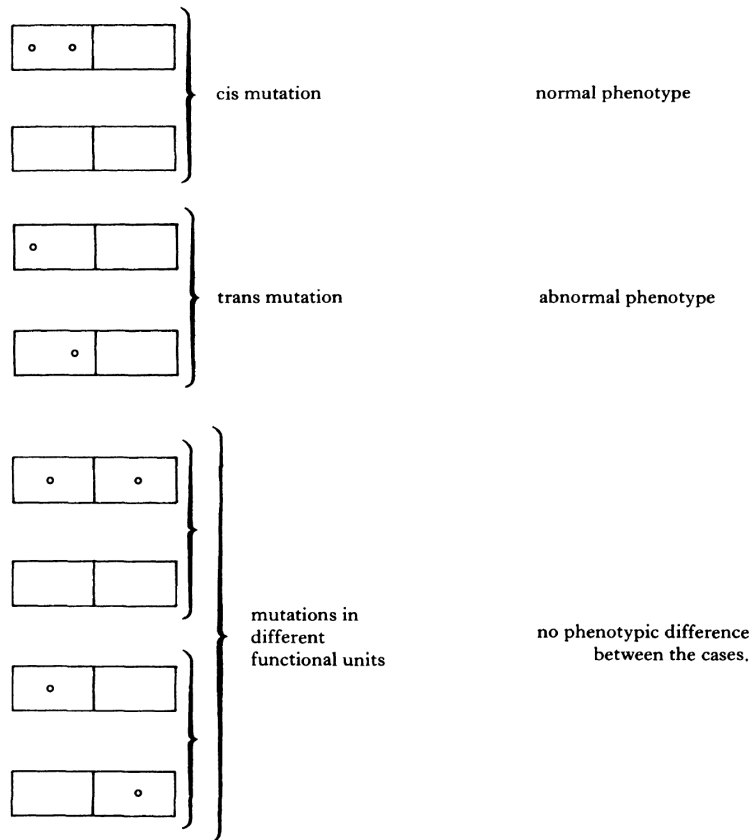
63. Potochnik rapporte que certains auteur-e-s « soutiennent que le concept de gène varie même dans chacun de ces contextes théoriques (Kitcher 1992 ; Dupré 1993 ; Rosenberg 1994) » (p. 309 ; p. 192).

64. POTOCHNIK (2011) mentionne concernant cela qu'« il s'agit d'un des enjeux de la discussion sur la théorie neutraliste de l'évolution moléculaire » (p. 309) de KIMURA (1983).

65. Cette analyse est mobilisée ici puisque POTOCHNIK (2017) et POTOCHNIK (2011) ne fait que mentionner la problématique sans développer plus amplement sur cette dernière. Il s'agit donc d'un ajout visant à faciliter la compréhension de la collaboration dans le dépassement des différences entre les champs de recherche. Plusieurs autres références auraient pu fournir une interprétation de ce cas compatible avec le propos de Potochnik. Ainsi, ce choix tient principalement aux préférences (et connaissances) de l'auteur du présent mémoire.

66. Le test *cis-trans*, rapporte KITCHER (1982), a été développé par BENZER (1957) dans les années 1950s pour identifier les cistrons. Celui-ci est exemplifié par le cas fictif où un organisme diploïde possédant deux mutations sur la même unité fonctionnelle. Celles-ci sont situées sur le même cistron « s'il existe une différence de phénotype entre les organismes dont les mutations se produisent sur le même chromosome (en position *cis*) et les organismes dont les mutations se produisent sur des chromosomes opposés (en position *trans*) » (KITCHER 1982, p. 352)

mutons vont référer aux segments chromosomiques ayant subis des changements structurels indépendamment des interactions avec les autres chromosomes<sup>67</sup>.



**FIGURE 2.6.** Illustration du test *cis-trans* tel que conçu par BENZER (1957) pour identifier les cistrons (tiré de KITCHER (1982, p. 352-353)).

D'autre part, au sein de la biologie moléculaire, les gènes seraient principalement caractérisés « en ce concentrant sur leur action immédiate » (KITCHER 1982, p. 348). En effet, ce dernier rapporte que la signification du concept s'appuie sur l'hypothèse *un gène-un polypeptide*. Plus précisément, KITCHER (1982) mentionne que le référent adopté par les biologistes moléculaires pour le concept de *gène* est « l'idée que les gènes (plus exactement les gènes structuraux) sont des segments chromosomiques qui codent pour certains polypeptides » (p. 356). Ainsi, *a contrario* de la génétique mendélienne, la délimitation des gènes n'est pas fonction d'un effet distal, i.e. s'inscrivant dans séquence causale comprenant beaucoup d'étapes intermédiaires, mais plutôt fonction d'un effet proximale, i.e. s'inscrivant dans séquence causale comprenant peu d'étapes intermédiaires. Autrement dit, la biologie moléculaire identifie

67. Concernant les problématiques de détermination de référent pour le concept de gène tel que conçu sous ces trois acceptions, voir KITCHER (1982, p. 349-351)

« une fonction distincte pour chaque gène individuel en se concentrant sur son action immédiate, en considérant le phénotype comme un produit complexe de ces actions » (KITCHER 1982, p. 354)<sup>68</sup>.

Cette différence de référent, i.e. différence terminologique, entre les champs de la génétique mendélienne et de la biologie moléculaire apparaît, en premier lieu, difficilement conciliable. Or, l'exposition de KITCHER (1982) illustre que cet *a priori* est erroné en rapportant que « [c]es différences découlent de différences quant au niveau auquel l'on veut définir le fonctionnement génétique normal, et les différentes décisions sont utiles à des fins scientifiques différentes » (p. 356). En d'autres termes, les référents pour le concept de *gène* sont amenés à varier en fonction des objectifs poursuivis par un champ de recherche. Dans ce cas précis, « le concept classique du gène présupposait un concept de caractère phénotypique[; c]e que nous apprenons de la biologie moléculaire, c'est la possibilité de nombreux concepts différents du gène, générés par différentes décisions sur le niveau phénotypique (KITCHER 1982, p. 355). Ce faisant les différences terminologiques entre les deux champs disparaissent du moment que des clarifications sont apportées sur ce qui est le référent pour le niveau phénotypique. En effet, l'identification des gènes par la génétique mendélienne en fonction de traits phénotypiques observables au niveau de l'organisme est juste quand les modifications affectant ces premiers ont un effet direct sur ces derniers. De même, lorsque ce n'est pas le cas, l'identification des gènes par la biologie moléculaire en fonction du polypeptide exprimé est aussi juste. KITCHER (1982) résume cela de la façon suivante :

« [e]n exposant la structure et le *modus operandi* du matériel génétique, la biologie moléculaire nous libère de controverses peu éclairantes. Elle sanctionne un potentiel de référence inclusif pour le "gène", contenant des événements par lesquels la référence du "gène" peut être fixée pour répondre aux besoins des différentes spécialités. Tant qu'il est clair que les référents ne doivent pas toujours être les mêmes et qu'aucun n'est privilégié comme unité de fonctionnement, nous pouvons avoir des gènes pour convenir à tous. » (KITCHER 1982, p. 356)

En résumé, la collaboration entre divers champs de recherche pour dépasser leurs différences permet d'éviter diverses erreurs dans la mobilisation de ressources théoriques d'autres

---

68. KITCHER (1982) explique ce changement de référent par certaines problématiques rencontrées par les généticiens mendéliens, notamment le fait qu'« il existe un écart entre l'action immédiate du gène et le phénotype, écart qui permet la possibilité qu'un fonctionnement immédiat anormal d'un gène puisse donner naissance à un phénotype normal » (p. 355). Pour plus de détails sur cette problématique, voir KITCHER (1982, p. 354-356).

champs de recherche. En effet, « [r]éperer les chevauchements et divergences dans la terminologie de différentes investigations peut aider à déterminer la nature des liens causaux d'intérêt couvert par ces investigations et peut aider à prévenir les inférences erronées. (POTOCHNIK 2011, p. 309 ; POTOCHNIK 2017, p. 192).

La troisième forme de collaboration consiste en le *développement de représentations intégrées* des interactions causales, en la construction de « modèles ou autres représentations de l'interaction entre les dynamiques causales qui ont été traitées séparément » (POTOCHNIK 2017, p. 193). Ce type de collaboration, moins fréquente que les deux précédentes, serait employée seulement sous certaines conditions. D'une part, « lorsqu'un phénomène spécifique présente un intérêt particulier pour les scientifiques » (POTOCHNIK 2017, p. 152). D'autre part, « lorsque l'explication intégrée comprend un patron causal qui se répète assez fréquemment pour susciter l'intérêt de certains scientifiques, et ce malgré sa portée réduite » (POTOCHNIK 2017, p. 152-153)<sup>69</sup>. Cette forme d'intégration entre champs de recherche est définie de la façon suivante :

**Définition 23 : Collaboration dans le développement de représentations intégrées =  $D_f$**

élaborer des représentations intégrées pour illustrer simultanément diverses influences causales.<sup>70 71 72</sup>

69. Il est nécessaire de rappeler ici que dans ce cadre, il existe une relation négative entre la quantité d'information causale contenue dans une explication et sa portée. En ce sens, « [u]ne explication par patron causal qui omet des influences causales significatives a [...] une plus grande portée » (POTOCHNIK 2017, p. 144). Ainsi, « l'intégration de deux différentes explications par patron causal d'un phénomène donne lieu à une nouvelle explication qui n'inclue pas les deux patrons initiaux, mais un troisième patron causal distinct dont la portée est conséquemment plus limitée » (POTOCHNIK 2017, p. 151). Cela vient du fait qu'il y a moins de contraintes sur la classe d'objets pouvant instancier ce patron. (Voir discussion sur la portée de patrons causaux plus haut pour plus de détails.)

70. Modification de la formulation originale « élaborer des modèles intégrés pour représenter simultanément diverses influences causales » (POTOCHNIK 2011, p. 311).

71. Ce type de collaboration a été passablement élargie par rapport à l'itération initiale introduite dans POTOCHNIK (2011). En effet, celle-ci se limitait au départ aux modèles, alors que l'itération plus récente englobe tous types de représentations des dynamiques causales.

72. POTOCHNIK (2017) précise que ce type de collaboration peut être assez *coûteux* en termes d'efforts faisant que l'intégration de diverses approches « ne s'avérera souvent pas possible ou n'en vaudra pas l'investissement » (p. 194). En effet, « cette stratégie exige de surmonter une foule de difficultés et inhibe plutôt que contribue à la réussite de nombreux objectifs scientifiques » (p. 193). D'une part, suivant les conclusions de MITCHELL (2003), dans certains cas, les représentations intégrées peuvent avoir une portée très faible limitant leur utilité explicative. En effet, [s]i les causes interagissent de différentes manières dans différents cas spécifiques, ce qui est courant dans notre monde complexe sur le plan des causes, alors les modèles intégrés seront très spécifiques et peu applicables » (POTOCHNIK 2017, p. 193). D'autre part, « les différentes approches tendent à résister à l'intégration en raison d'incompatibilités » (POTOCHNIK 2017, p. 194). Ces

Ce type de collaboration est exemplifié dans POTOCHNIK (2011) et POTOCHNIK (2017) à l'aide de « l'exemple de l'approche intégrée de Roughgarden dans l'étude de la médiation environnementale de l'expression génique et des sources environnementales de sélection dans la production du comportement social des animaux » (POTOCHNIK 2017, p. 193). Ce cas d'étude est particulièrement intéressant puisqu'il permet de montrer comment « [d]e tels modèles intégrés, si développés, peuvent également fournir un cadre pour trier les relations causales et évaluer la pertinence évidentielle [evidential relevance] » (POTOCHNIK 2017, p. 193). Dans le programme de recherche développée par Roughgarden, « de nombreux comportements, tel que l'allocation d'énergie d'un oiseau entre dans la recherche de nourriture et la défense du nid, sont le produit de la sélection sur un ensemble de stratégies conditionnelles » (POTOCHNIK 2017, p. 193). Plus précisément, son approche vise à rendre compte de l'évolution des comportements sociaux en intégrant les informations causales de deux niveaux différents, l'un comportemental, l'autre évolutionnaire. Cet exemple étant relativement complexe, il est nécessaire de s'y attarder brièvement.

Au niveau comportemental, le cadre d'analyse développé par ROUGHGARDEN (2009) conçoit les interactions entre deux (ou plus) organismes comme un jeu coopératif<sup>73</sup>. En s'inspirant des travaux sur la question menée par Nash en théories de jeux<sup>74</sup>, le laboratoire de Roughgarden a développé une interprétation de matrice des gains [payoff matrix]<sup>75</sup> représentant les dynamiques sociales comme visant l'atteinte d'une Solution Nashéenne de Négociation [Nash Bargaining Solution, (NBS)]. Dans cette perspective, les interactions entre

---

incompatibilités, provenant des différences d'objectifs de recherche entre les champs, font que « les idéalizations distinctes, largement répandues, et les autres différences de représentation ne sont pas facilement combinées ou remplacées » (POTOCHNIK 2017, p. 194). De même, l'intégration de celles-ci pourrait avoir pour effet, dans certains cas, de les limiter dans leurs « objectifs représentationnels » (voir exemple entre les modèles génétiques de l'évolution et ceux tirés de la théorie des jeux (e.g. modèles d'optimalité phénotypique) (POTOCHNIK 2017, p. 194)).

73. Ce cadre s'inscrit, selon ROUGHGARDEN (2009), a contre-courant des interprétations traditionnelles en biologie où les jeux sont conçus presque exclusivement comme compétitifs. Cette proposition fait partie d'un programme plus large visant à mettre à mal une vision de la nature mettant l'accent sur la compétition, i.e. programme inspirée du « gène égoïste » de DAWKINS (1976) qui serait particulièrement prégnant en biologie. Cet aspect de la proposition de ROUGHGARDEN (2009) ne pouvant être développé pour des raisons d'espace, le lecteur intéressé est invité à consulter ROUGHGARDEN (2009, Introduction et Conclusion).

74. ROUGHGARDEN (2009) reprend la partie des travaux de Nash portant sur les jeux coopératif. ROUGHGARDEN (2009) soutient que cette partie des théories des jeux a, jusqu'à maintenant, été obnubilée en biologie dû l'accent mis sur la compétition. Ainsi, l'introduction des théories de Nash dans SMITH (1982) aurait été partielle et partiale. En effet, « il apparaît maintenant que Maynard Smith n'a introduit que la moitié des théories des jeux, la moitié ayant trait à la compétition » (ROUGHGARDEN 2009, p. 143).

75. ROUGHGARDEN (2009) ces matrices comme une « table représentant ce que chaque participant d'un jeu gagne dépendamment de son action et considérant l'action des autres » (p. 144).



deux participants au sein d'un jeu vont typiquement tendre vers un compromis optimal, compromis « trouvé en maximisant le *produit* des gains nets individuels relativement à leur point de menace [threat point] » (ROUGHGARDEN 2009, p. 149). Le *point de menace* représente les gains d'un jeu fictif où l'un des joueurs, e.g. A, tenterait activement de minimiser les gains d'un autre joueur, e.g. B, et ce, sans considération pour ses propres gains. En d'autres termes, « il s'agit du mieux que [A] puisse faire alors que [B] joue pour lui faire le plus mal » (ROUGHGARDEN 2009, p. 148)<sup>76</sup>. Pour illustrer cela, ROUGHGARDEN (2009, chap. 7) utilise l'exemple (mentionné plus haut) de l'allocation d'énergie entre deux oiseaux dans la recherche de nourriture et la défense du nid. Ce cas est décliné ainsi : un mâle et une femelle sont dans un nid et ont pour possibilité le choix de « [(a)]protéger les jeunes contre les prédateurs et [(b)] récolter des vers pour nourrir les oisillons » (ROUGHGARDEN 2009, p. 144). Pour chacun de ces choix sont attribués des gains, gains étant exprimés en « unités de nombre de jeunes prêts quitter le nid [successfully fledged] multipliés par la probabilité de survivre à la saison » (ROUGHGARDEN 2009, p. 144). Ainsi, « [s]i quatre oisillons sont portés à maturité et que les deux parents sont vivant à la fin de la saison de reproduction, les gains pour chaque parent seront de 4 ». En contrepartie, si un parent meurt durant la saison, ce dernier se voit attribuer des gains de 2<sup>77</sup>. Diverses idéalizations sont à ajouter ici et peuvent être rapportées en bloc. Dans cet exemple, si un individu choisit (b), alors il se voit attribué des gains de 2 puisqu'il s'expose à un plus grand risque de mortalité (e.g. dû à la prédation) ; si les deux individus choisissent (b), alors ces derniers se voient tous deux attribuer 0 dû à la prédation du nid, ce dernier ayant été laissé sans surveillance ; et si les deux individus choisissent (a), alors ces derniers se voient tous deux attribuer 1 dû à la mortalité par famine des oisillons, aucune nourriture n'ayant été récoltée. La matrice des gains de ce jeu est présentée dans la figure 2.7. Lorsqu'un choix est fait par un individu dans ce cas particulier,

---

76. ROUGHGARDEN (2009) caractérise brièvement cette procédure d'arbitrage. Quatre critères sont identifiés pour l'atteinte de la NBS. (1) l'ensemble de solutions possibles, l'ensemble de négociation [negociation set], ne contient que des solutions dont les gains dépassent le point de menace et aucune solution *gagnant-gagnant*. (2) le compromis optimal doit être indépendant des unités, i.e. le compromis optimal reste le même même si des opérations sont effectuées sur les unités. (3) si le problème est symétrique, alors le compromis optimal est 50/50. Sinon, si le problème est asymétrique, alors les unités peuvent être changées afin de rendre le problème symétrique (voir ROUGHGARDEN (2009, p. 150-151) pour une illustration). (4) de l'information nouvelle ne doit pas affecter la solution. Pour plus de détail, voir ROUGHGARDEN (2009, p. 149).

77. Ce raisonnement peut paraître abscons au premier abord, mais il est nécessaire de comprendre que dans cet exemple les gains sont rapportés à la valeur adaptative de l'individu, i.e. à son potentiel de contribution dans la production des générations subséquentes. Ainsi, si un individu meurt tout en laissant une descendance, il récolte tout de même certains gains.

		<i>Female</i>	
		GUARD NEST	CATCH WORMS
<i>Male</i>	GUARD NEST	(1, 1)	(4, 2)
	CATCH WORMS	(2, 4)	(0, 0)

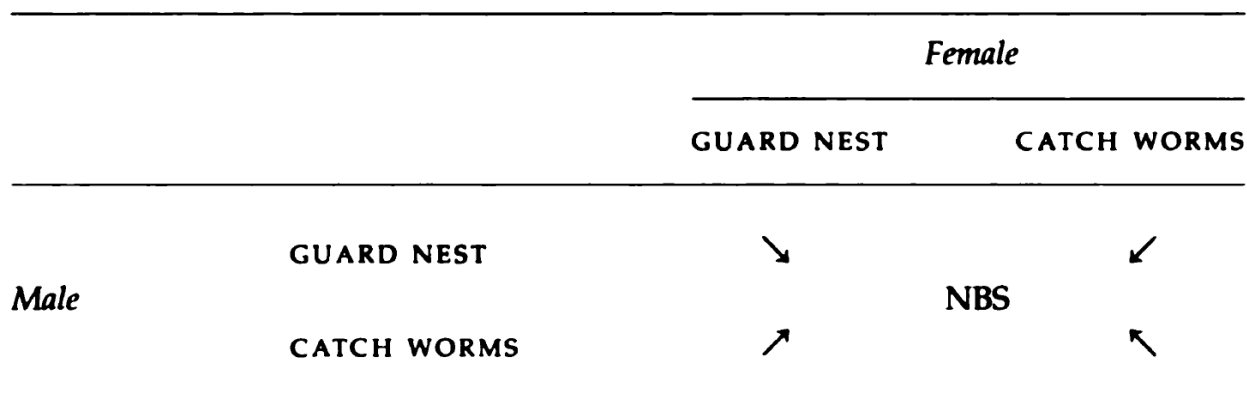
**FIGURE 2.7.** Matrice des gains hypothétiques pour un couple d'oiseaux (un mâle et une femelle) en fonction des tâches (*garder le nid et récolter des vers*) nécessaire dans l'entretien d'un nid contenant des oisillons (figure tirée de ROUGHGARDEN (2009, p. 144)).

le système social représenté par la matrice des gains tend vers un (ou plusieurs) équilibre(s) donné(s). Si le jeu est coopératif, les participants agiront de façon à faire tendre le système vers la NBS<sup>78</sup>. Pour ce faire, reprenant le cas du nid, le mâle et la femelle agiront de façon à maximiser le produit de leurs gains, i.e. leur valeur adaptative individuelle, par rapport au point de menace. Ainsi, si le mâle choisi (a), alors la femelle effectuera un choix en fonction ce qui augmente le plus ce produit, ce dernier représentant la *fonction de valeur adaptative commune* [team fitness function] (ROUGHGARDEN et al. (2006) et ROUGHGARDEN (2009)). En d'autres termes, « [l]a NBS est trouvée en maximisant la fonction de valeur adaptative commune par coordination conjointe » (ROUGHGARDEN 2009, p. 155) tel que représenté dans la figure 2.8<sup>79 80</sup>.

78. ROUGHGARDEN (2009) illustre aussi la résultante de ce jeu dans le cas où celui-ci serait compétitif, i.e. chacun des participants tente de maximiser ces propres gains. Dans ce cas particulier, le système ne tend plus vers la NBS, mais plutôt vers un équilibre compétitif de Nash [Nash competitive equilibria (NCE)]. Voir ROUGHGARDEN (2009, p. 145-146) pour une illustration complète.

79. Le point de menace correspond, dans cet exemple, à 1,6 unité par saison pour un-e participant-e donné-e (le mâle ou la femelle), soit une allocation de 2/5 de son temps à garder le nid alors l'autre oiseau y alloue 4/5 de son temps. Comme la matrice des gains est symétrique, le compromis optimal, i.e. la valeur adaptative commune maximale, est obtenu par « une division du travail 50 :50 » (ROUGHGARDEN 2009, p. 150). Pour plus de détails, voir ROUGHGARDEN (2009, p. 148-150). Pour un exemple similaire, mais où la matrice des gains est asymétrique, voir ROUGHGARDEN (2009, p. 150-151).

80. Concernant les procédures de coordination conjointe permettant d'atteindre une NBS, ROUGHGARDEN (2009) en mentionne trois : (a) *la guerre d'usure* [war of attrition], voie compétitive menant à des gains coopératifs (p. 152-154); (b) *le jeu d'équipe* [team play], voie coopérative menant à des gains coopératifs (p. 154-159); et (c) *la compensation* [side payments], voie coopérative menant à des gains coopératifs (p. 159-160, mais aussi ROUGHGARDEN et al. (2006)). Pour des questions d'espace, ces modes de coordinations ne seront pas développés ici. Le lecteur intéressé peut se référer aux pages mentionnées ci-dessus.



**FIGURE 2.8.** Diagramme du mouvement des rôles au sein d'un jeu d'équipe coopératif pour un couple d'oiseaux (un mâle et une femelle) en fonction des tâches (*garder le nid* et *récolter des vers*) nécessaires dans l'entretien d'un nid contenant des oisillons (figure tirée de ROUGHGARDEN (2009, p. 156)).

De façon générale, les comportements, particulièrement les comportements reproductifs, chez ROUGHGARDEN (2009), sont compris comme des jeux ayant des attracteurs, des points d'équilibre, pouvant être déterminés à l'aide des théories des jeux. Ces points d'équilibre sont fonction du type de jeux (compétitifs ou coopératif) et des gains potentiels associés à chacune des actions possibles. Les participants vont tenter de maximiser leurs gains au sien du jeu de façon dynamique et c'est cette recherche active qui amène ces systèmes sociaux à tendre un certain point d'équilibre (NCE ou NBS). Ce faisant, pour reprendre les termes de ROUGHGARDEN (2009), « [j]ouer à un jeu représente donc comment un système social se *développe* » (p. 146).

Au niveau évolutionnaire, le cadre d'analyse développé par ROUGHGARDEN (2009) intègre le produit des interactions au niveau comportemental pour rendre compte des tendances évolutives. En effet, « les gains de valeurs adaptatives instantanés réalisés grâce à ces activités comportementales rapides sont cumulés sur toute la durée de vie pour produire la valeur adaptative générationnelle utilisée dans les modèles de génétiques de population définis sur une échelle de temps évolutionnaire » (p. 163). Cette conception reprend les éléments essentiels de l'évolution de la perspective de la génétique des populations, mais y ajoute l'influence des différents jeux (e.g. compétitif, coopératif) auxquels peuvent s'adonner les organismes. En ce sens, les gènes vont déterminer les propriétés de la matrice des gains pour

un couple donné et ces gains vont moduler la distribution de certains allèles dans la population à l'étude, et donc son évolution<sup>81</sup>. ROUGHGARDEN (2009) exemplifie cela en reprenant l'exemple de l'allocation d'énergie entre deux oiseaux dans la recherche de nourriture et la défense du nid tout en y apportant les modifications nécessaires. Pour ce faire, la matrice des gains illustrée dans la figure 2.7 est révisée pour représenter l'interaction entre deux individus homozygotes pour l'allèle A1, i.e. la femelle et le mâle porte les allèles A1 pour un gène donné. À celle-ci, peut être ajoutée une seconde matrice des gains où les deux individus seraient porteurs l'allèle A2<sup>82</sup>. Dans cet exemple, le fait de porter l'allèle A2 est lié à une taille plus grande des individus. Conséquemment, les gains associés à la recherche de vers sont révisés à la baisse, i.e. 1.5, (les oisillons étant plus gros, plus de vers sont nécessaires pour les nourrir ce qui augmente le temps de recherche), alors que les gains pour garder le nid sont augmentés, i.e. 5, le nombre d'œufs étant pondus étant augmenté. Ces variations sont illustrées dans la figure 2.9.

En comparant les gains entre les individus porteurs de l'allèle A1 et A2, il est possible de voir que l'allèle A2 se répandra progressivement dans la population puisque ces individus possèdent une valeur adaptative augmentée par rapport à ceux porteurs de A1 (peu importe le type de jeux, compétitif ou coopératif, auquel ceux-ci participent)<sup>83</sup>. Ce faisant, ROUGHGARDEN (2009) a « mis au point un modèle tiré de génétique des populations pour

---

81. Un exposé détaillé du fonctionnement de l'évolution de la perspective de la génétique des populations dépasse le cadre du présent mémoire. Par contre, grossièrement, les populations, i.e. groupes d'individus appartenant à la même espèce dans une localisation donnée, y sont conceptualisées comme des tous, i.e. des unités, auxquels peut être assignée une signature génétique, i.e. un bassin de gènes propre. Ces gènes, portés par les individus, vont posséder des variantes, i.e. des allèles, distribuées de façon différenciée dans la population et vont moduler, *ceteris paribus*, leur contribution dans la production des générations subséquentes, i.e. leur valeur adaptative. Ainsi, une fréquence pour les différents allèles peut être observée dans une population donnée à un temps donné et cette fréquence allélique est sujette à variation (ou non) dans le temps selon l'avantage différentiel fourni aux individus porteurs (e.g. résistance accrue à une maladie particulièrement virulente, masse corporelle plus importante, etc.). En d'autres termes, ces allèles, en créant des valeurs adaptatives différenciées pour les individus porteurs, par sélection naturelle, vont voir leur distribution dans la population augmenter (ou réduite) en fonction de la descendance de ces individus. Ce faisant, l'évolution, dans une perspective de génétique de population, réfère à ses changements dans la signature génétique d'une population au fil du temps. (Voir SMITH et SMITH (2012, chap. 5) pour une exposition détaillée et moins grossière)

82. L'exemplification de toutes les matrices des gains pour cette situation où deux allèles (A1 et A2) pour un même gène dans une population donnée représentant un total de 16 matrices différentes (puisque 4 génotypes possibles (A1A1, A1A2, A2A1 et A2A2), deux individus (femelle et mâle) en interaction et que nombre d'arrangement possible =  $n^k$ , où  $n$  = le nombre d'éléments dans l'ensemble et  $k$  = le nombre d'éléments sélectionnés), seules ces deux matrices ont été rapportées pour des questions d'espace.

83. Pour plus de détails, voir ROUGHGARDEN (2009, p. 166-169)

		<i>Female-A<sub>2</sub>A<sub>2</sub></i>	
		GUARD NEST	CATCH WORMS
<i>Male-A<sub>2</sub>A<sub>2</sub></i>	GUARD NEST	(1, 1)	(5, 1.5)
	CATCH WORMS	(1.5, 5)	(0, 0)

**FIGURE 2.9.** Matrice des gains hypothétiques pour un couple d’oiseaux (un mâle et une femelle), tous deux homozygotes pour l’allèle A2 produisant phénotype plus grand, en fonction des tâches (*garder le nid et récolter des vers*) nécessaires dans l’entretien d’un nid contenant des oisillons (figure tirée de ROUGHGARDEN (2009, p. 166)).

déterminer comment une matrice des gains pourrait évoluer dans le temps » (p. 165). En effet, le jeu identifié au niveau comportemental a des impacts au niveau évolutif.

Ainsi, selon les termes de POTOCHNIK (2017), « il existe une interaction entre le patron dans les sources environnementales de médiation de l’expression des gènes et le patron dans les sources environnementales de sélection » (p. 151). Les modèles intégrés proposés par Roughgarden représentent donc « simultanément les pressions de sélection et les stratégies conditionnelles qui influencent les comportements réels des animaux » (POTOCHNIK 2017, p. 193).

En résumé, la collaboration entre divers champs de recherche dans le développement de représentations intégrées permet de produire « un cadre pour trier les relations causales et évaluer la pertinence évidentielle » (POTOCHNIK 2011, p. 310 ; POTOCHNIK 2017, p. 193). Cette dernière souligne que cette approche, en intégrant plus d’information causale à propos de ce phénomène,

« peut[, par exemple,] montrer qu’une explication particulière tirée des théories des jeux identifie de façon erronée le patron dans les sources écologiques de la sélection en vertu de ces idéalizations échouant à accommoder, par exemple, le rôle de l’apprentissage ou du développement. » (POTOCHNIK 2017, p. 193)

Les représentations intégrées seraient donc, parfois, plus aptes à préciser les interactions causales dans l'explication de certains phénomènes particuliers <sup>84</sup>.

### 2.2.3. Résumé

Le cadre sur lequel s'appuie l'unité coordonnée conçoit l'intégration en sciences comme un outil permettant de faire face à la complexité causale du monde. Deux constats fondent cette conception des sciences. D'une part, le monde est (presque) infiniment complexe. D'autre part, les agents l'étudiant, i.e. les humains, sont limités cognitivement. Ces deux contraintes expliquent l'ubiquité des idéalizations en science, ces dernières permettant la réalisation d'un des objectifs scientifiques centraux : l'identification de patrons causaux. Ces régularités, incarnées par les phénomènes et dont les liens de dépendances sont causaux, vont posséder de multiples influences causales. Or, ces dernières vont rarement se limiter à l'axe focal d'un seul champ de recherche. Ainsi, l'unité coordonnée, pour des raisons pratiques, permet d'appréhender cette multitude d'influences causales augmentant ainsi notre compréhension des divers phénomènes. Pour ce faire, trois types de collaboration entre champs de recherche peuvent être identifiés. Premièrement, la collaboration dans le tri causal des influences étudiées par des champs différents. Cette forme d'intégration permet d'exposer les différentes influences causales pour un phénomène donné et ainsi d'identifier correctement le patron causal qu'il incarne. Par exemple, le tri causal entre l'écologie, la phylogénie et l'endocrinologie a permis de montrer que l'hypothèse de l'apparition de la queue colorée du paon mâle par sélection sexuelle était fautive. Deuxièmement, la collaboration dans le dépassement des différences entre les champs de recherche. Cette forme d'intégration permet de clarifier comment les résultats de différents champs de recherche peuvent être reliés. Par exemple, en surmontant

---

84. POTOCHNIK (2017) précise que la qualité de cette explication reste fonction de l'audience visée. Cette dernière exemplifie cela par le cas de la variation du patron de coloration chez les bruants à face noire *Zonotrichia querula* au sein d'une même nuée. Dans ce cas, « [l]a coloration n'est pas liée à la force physique, à la survie ou au succès de reproduction, mais elle est liée au statut : les oiseaux foncés déplacent presque toujours les oiseaux pâles des sources alimentaires » (POTOCHNIK 2017, p. 150). L'explication tirée de la théorie des jeux « explique la variation de couleur à l'aide du modèle faucon-colombe [hawk-dove] de la théorie des jeux » (POTOCHNIK 2017, p. 150). Une explication qui serait développée en biologie du développement expliquerait cette variation par « l'influence de l'environnement sur l'expression des gènes dans la production de la coloration de l'oiseau » (POTOCHNIK 2017, p. 151). L'explication tirée du modèle intégré de Roughgarden expliquerait cette variation à l'aide d'un patron causal intégrant ces deux réponses. Or, « pour Roughgarden et les biologistes ayant des intérêts comme les siens, cela est la meilleure explication. Mais pour de nombreux écologistes de l'évolution et de nombreux biologistes du développement, ce patron causal est moins éclairant que l'explication tirée de la théorie des jeux ou l'explication par plasticité phénotypique pour l'une ou l'autre de ces audiences, respectivement » (POTOCHNIK 2017, p. 152). Voir section 5.2.2 (p. 145-153) de POTOCHNIK (2017).

les différences terminologiques pour le concept de gène entre la génétique mendélienne et la biologie moléculaire, il est possible de montrer que celles-ci ne sont pas, dans les faits, incompatibles. Troisièmement, la collaboration dans le développement de représentations intégrées. Cette forme d'intégration permet d'inclure des dynamiques causales, étudiées par des champs de recherche différents, pour rendre compte d'un patron causal d'intérêt. Par exemple, en intégrant les dynamiques causales au niveau comportemental et évolutionnaire, il est possible de rendre compte de la production de comportements sociaux coopératifs chez les oiseaux, éliminant ainsi des modèles basés seulement sur la compétition. Cette brève exposition de ce modèle d'intégration tiré de la philosophie de la biologie permet de préciser, à la fois, les unités et relations mobilisées dans le cas des intégrations par unité coordonnée.

## 2.3. Modèles d'intégration interchamps

### 2.3.1. Modèles d'intégration interchamps : cadre

Le cadre interchamps<sup>85</sup> est aussi une proposition s'étant construite en opposition avec les modèles réductionnistes (e.g. NAGEL (1961)). Cette approche des sciences se distingue principalement par l'accent qui est mis sur les *champs de recherche* (et leurs interactions) plutôt que sur les théories. Or, de ce changement d'attention focale découle une révision importante du portrait des sciences et des différentes interactions en leur sein<sup>86</sup>.

Premièrement, à la lumière de ce cadre, deux types de théories peuvent être distinguées : les théories *intrachamps* et *interchamps*. En effet, pour DARDEN et MAULL (1977), « [l]'existence de [...] théories interchamps a été obscurcie par des analyses telles que celle de

---

85. Cette approche en philosophie des sciences a largement été développée au cours des cinquante dernières années. Plusieurs d'auteur-e-s peuvent être inscrit-e-s dans cette *école* dont l'exposition dépasserait le cadre du présent mémoire (pour une exposition assez complète, mais un peu trop générale, voir NATHAN (2015, section 3) ; pour une exposition plus précise, mais se limitant aux propositions plus récentes, voir O'ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN (2016, section 2.2)). Il suffit de mentionner ici que l'article de Darden et Maull « Interfield Theories » publié en 1977 sera pris comme pierre angulaire de ce courant dans le cadre de la présente étude de même que ses ramifications.

86. Une nuance importante doit être apportée ici. Ce cadre s'étant développé par l'étude du fonctionnement des sciences biologique, la possibilité de généraliser celui-ci à toutes les pratiques scientifiques reste à montrer. Il s'agit d'une limite que DARDEN et MAULL (1977) reconnaissent elles-mêmes : [n]ous ne proposons pas une analyse générale applicable à toutes les variétés de théorie, de progrès ou d'unité de la science. En effet, nous n'avons aucune raison de préjuger de la question encore ouverte de savoir s'il existe une analyse applicable à toutes les théories ou instances d'unification et de progrès. Nous avons trouvé un type de théorie qui prévaut en biologie moderne et qui nous aide à comprendre une façon dont l'unité et le progrès se produisent » (DARDEN et MAULL 1977, p. 62).

Nagel [87] qui confondent à tort théories et champ de recherche et considèrent les interrelations comme des réductions dérivées » (p. 43-44). En effet, en distinguant champ de recherche et théorie (le premier étant plus large que le second), il appert une distinction entre les théories internes à un champ donné et les théories externes à ce champ, mais reliant ce dernier à un autre champ. En effet, « [l]es champs peuvent contenir des théories, comme la théorie classique du gène en génétique ; ces théories que nous appelons théories *intrachamp* [et] les interrelations entre les champs peuvent être établies via *théories interchamps* (DARDEN et MAULL 1977, p. 43). Plus précisément, une théorie intrachamps  $a$  est une composante d'un champ  $A$ , i.e.  $a \subset A$ , alors qu'une théorie interchamps  $c$  met en relation deux champs  $A$  et  $B$ , i.e.  $c\{A, B\}$ .

Deuxièmement, ce cadre oblige une révision de la conception de l'unité de la science. DARDEN et MAULL (1977) soutiennent que « [d]otée d'une nouvelle analyse des relations entre les champs, il devient naturel de considérer l'unité de la science non pas comme une succession hiérarchique de réductions entre les théories, mais plutôt comme la liaison des champs de recherche par des théories interchamps » (p. 61). En effet, la mise en relation de deux champs n'implique pas la réduction d'un champ à un second *a contrario* de lorsque la mise en relation concerne des théories. Cette révision est à opposer aux conceptions réductionnistes de l'unité de la science. Plus explicitement,

« [l]'unité de la science analysée comme un schéma de classification hiérarchique des théories scientifiques, classées selon leur généralité, est précisément l'image fournie par OPPENHEIM et PUTNAM (1958) comme « hypothèse de travail [working hypothesis] ». Notre analyse préliminaire suggère une autre hypothèse de travail nouvelle : l'unité de la science est un réseau complexe de relations entre les champs de recherche établie [effected] par les théories interchamps. » (DARDEN et MAULL 1977, p. 61)

Troisièmement, une révision de la conception du progrès en science est proposée. L'étude de divers cas à la lumière de ce cadre<sup>88</sup> suggère que la réduction, d'une théorie moins générale par une théorie plus générale, ne peut rendre compte de toutes les occurrences de progrès, i.e.

---

87. NAGEL (1961)

88. Les cas utilisés pour justifier cette affirmation sont des cas de progrès par développement d'une théorie interchamps reliant deux champs de recherche. Les exemples sont les suivants : la théorie chromosomique de l'hérédité mendélienne reliant les champs de la génétique mendélienne et de la cytologie ; la théorie de l'opéron reliant les champs de la génétique mendélienne et de la biochimie ; et la théorie de la régulation allostérique reliant les champs de la biochimie et de la chimie physique. Voir DARDEN et MAULL (1977, p. 51-59) pour une explicitation de ces cas.



d'augmentation de la compréhension des phénomènes<sup>89</sup>. En effet, ces dernières soutiennent qu'« [u]ne grande partie des progrès de la biologie moderne résulte du développement des théories interchamps et de l'unification progressive (i.e. la liaison) des sciences biologiques et physiques » (DARDEN et MAULL 1977, p. 61).

Ces révisions à des concepts clé en philosophie des sciences étant dû à l'attention portée aux champs de même qu'aux théories interchamps, ces deux concepts nécessitent d'être développés. Ce faisant, il sera possible de préciser les éléments plus actuels de cette famille de modèles.

Sur le concept de champ de recherche, DARDEN et MAULL (1977) en offre la définition suivante :

**Définition 24 : champ de recherche =<sub>DF</sub>**

« un secteur de la science composé des éléments suivants : [*P*] un problème central, [*O*] un domaine composé d'éléments considérés comme des faits liés à ce problème, [*E*] des facteurs explicatifs généraux et des objectifs fournissant des attentes quant à la façon dont le problème doit être résolu, [*M*] des techniques et méthodes et, parfois, mais pas toujours, [*T*] des concepts, lois et théories qui sont liés au problème et qui visent à réaliser les objectifs explicatifs[, et *L*] un vocabulaire particulier est souvent associé aux éléments caractéristiques d'un domaine[ OU {*P*, *O*, *E*, *M*, *T* ∨ ¬*T*, *L* ∨ ¬*L*}. »<sup>90 91 92</sup> (DARDEN et MAULL 1977, p. 44)

Cette définition des champs de recherche est illustrée à l'aide de plusieurs exemples par DARDEN et MAULL (1977, p. 46-48) et repris par DARDEN (2005, p. 351-354), i.e. la

---

89. La notion de progrès ici suggérée ne sera pas développée plus en profondeur. D'une part, l'objectif ici est simplement de rapporter les thèses associées à ce cadre. D'autre part, la notion n'est pas explicitée par DARDEN et MAULL (1977).

90. Sur la formation des champs de recherche, DARDEN et MAULL (1977) mentionnent que « [b]ien qu'un ou tous les éléments du champ de recherche aient pu exister séparément en science, ils doivent être réunis de façon fructueuse pour que le champ de recherche émerge. Une telle émergence est marquée par la reconnaissance d'un moyen prometteur de résoudre un problème important et l'initiation de recherches [line of reseach] dans cette direction » (p. 44-45).

91. Les champs de recherches sont à distinguer des disciplines. En effet, le premier considère exclusivement des composantes conceptuelles ce qui n'est pas le cas pour le second. Voir DARDEN et MAULL (1977, p. 45-46) pour plus de détails.

92. GRANTHAM (2004) offre une précision éclairante sur le concept de champ de recherche qui mérite d'être rapportée intégralement : « Darden et Maull définissent et individualisent les champs en fonction de leur structure conceptuelle. De plus, les champs sont généralement beaucoup plus petits que les disciplines. Par exemple, la discipline de la biologie est composée de plusieurs champs de recherche, dont la génétique, l'écologie, la botanique et l'entomologie. J'utiliserai les termes "champ" et "sous-champ" pour désigner des entités conceptuellement définies plus grandes qu'un seul groupe de recherche en laboratoire, mais plus petites qu'une discipline » (p. 137).

génétique mendélienne classique, la cytologie, la biologie cellulaire, la biologie moléculaire, la biochimie et la génétique moléculaire. À titre d'exemple, la description suivante de la génétique mendélienne peut être rapportée :

« [l]e champ de la génétique [...] a comme problème central [*P*] l'explication des patrons d'hérédité des caractères. Les caractéristiques [*O*] peuvent être [...] des différences phénotypiques flagrantes, comme la couleur des yeux chez la drosophile à mouche [...]. Les patrons d'hérédité sont étudiés par la technique [*M*] de l'élevage artificiel. Les lois [*T*] de la ségrégation et de l'assortiment indépendant (lois de Mendel), une fois leur portée connue et bien confirmée, ont fait partie du domaine [*O*] à expliquer. Pour bon nombre des premiers généticiens, mais pas tous, l'objectif était de résoudre le problème central par la formulation d'une théorie impliquant des unités matérielles de l'hérédité (gènes) comme facteurs explicatifs [*E*]. En tentant d'atteindre cet objectif, T. H. Morgan et ses associés ont formulé la théorie [*T*] du gène de la génétique classique. » (DARDEN et MAULL 1977, p. 47)

Sur le concept de théories interchamps, DARDEN et MAULL (1977) en offre la définition suivante :

**Définition 25 : Théorie interchamps =  $\text{Df}$**

« [une théorie] qui établit et explique les relations entre des champs de recherche. »<sup>93 94 95</sup> (DARDEN et MAULL 1977, p. 48)

Les fonctions des théories interchamps (ou des connexions interchamps) sont multiples. En bref,

« (a) de résoudre (peut-être “correctement”) le problème théorique qui a conduit

---

93. DARDEN et MAULL (1977) explicite brièvement en mentionnant qu'« [u]ne théorie interchamps, en expliquant les relations entre les champs de recherche, n'élimine pas une théorie, un champ ou un domaine. Les champs de recherche conservent leur identité propre, même si de nouveaux axes de recherche coordonnent étroitement les champs de recherche après l'établissement de la théorie interchamp » (p. 60).

94. Trois facteurs principaux vont être identifiés pour expliquer la mise en relation de deux champs : « une théorie interchamps est susceptible d'être générée lorsque [a] des connaissances de base [background knowledge] indiquent que des relations existent déjà entre les champs de recherche, lorsque [b] les champs de recherche partagent un intérêt à expliquer différents aspects d'un même phénomène, et lorsque [c] des questions se posent sur ce phénomène dans un champ de recherche auxquelles les techniques et concepts du champ de recherche ne permettent pas de répondre » (DARDEN et MAULL 1977, p. 50).

95. La notion de *théorie* rapportée dans cette définition doit être comprise dans un sens très large. Par exemple, celle-ci peut référer à une théorie interniveau prenant la forme d'une esquisse causale [causal sketch]. MAULL (1977) le mentionne explicitement de la façon suivante : « nous avons vu que les esquisses causales, comme la théorie de l'opéron et la théorie de la régulation allostérique, sont une sorte de théorie interniveau. Mais les théories interniveaux constituent seulement un sous-ensemble des théories *interchamps* précédemment étudiées par Darden et moi [dans DARDEN et MAULL (1977)] » (p. 160). Pour plus d'information sur ce type particulier de théorie interchamps, voir MAULL (1977).

- à sa génération, c'est-à-dire d'introduire une idée nouvelle quant à la nature des relations entre les champs de recherche ;
- (b) de répondre à des questions qui, bien qu'elles surgissent dans un champ de recherche donné, ne peuvent être résolues en utilisant uniquement les concepts et techniques de ce champ de recherche ;
  - (c) d'attirer l'attention sur des éléments précédemment négligés dans les domaines de l'un ou des deux champs de recherche ;
  - (d) de prédire de nouveaux éléments pour les domaines de l'un ou des deux champs de recherche ;
  - (e) de générer de nouveaux axes de recherche qui peuvent, à leur tour, conduire à une autre théorie interchamps ». (DARDEN et MAULL 1977, p. 59)

De nombreuses propositions en philosophie de la biologie visant à rendre compte des interactions entre des champs de recherches différents ont pour fondement la proposition développée par DARDEN et MAULL (1977). En effet, le cadre semble particulièrement adéquat pour concevoir les relations complexes non réductrices que peuvent entretenir les divers champs de recherche en sciences biologiques, particularité s'articulant bien avec le pluralisme ambiant en philosophie de la biologie<sup>96</sup>. Or, ce faisant, la variété de modèles interchamps est importante, chacune ayant apportée soit des innovations conceptuelles ou de nouveaux cas d'étude. Ainsi, la présente discussion sur les éléments caractéristiques des modèles interchamps actuels se centralisera sur proposition la plus développée de cette famille de modèles, i.e. la proposition de O'MALLEY et SOYER (2012)<sup>97</sup>. Ce modèle varie principalement sur deux aspects par rapport à la proposition initiale de DARDEN et MAULL (1977).

---

96. En effet, certain-e-s philosophes soutiennent que, considérant l'échec des conceptions réductionniste en sciences biologiques, « [l]es philosophes de la biologie en sont venus à adopter l'étiquette de "pluralisme" (MITCHELL 2003), soutenant que la biologie est et devrait être caractérisée par une pluralité de méthodes, d'approches théoriques et de modes d'explication » (BRIGANDT 2010, p. 296).

97. Cette affirmation s'appuie principalement sur deux critères : (1) cette proposition est relativement récentes et (2) celle-ci a été reprise et développée par plusieurs autres, viz. PLUTYNSKI (2013), BRIGANDT (2013), O'ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN (2016, section 2.2), LEONELLI (2013) et LEONELLI (2016).

D'une part, les relations entre les champs, *a contrario* de la proposition de DARDEN et MAULL (1977), ne se limite plus à celle expliquée par une théorie interchamps<sup>98</sup>. Explicitement,

« [b]ien que cette conception résonne avec certains de nos exemples [...], celle-ci est encore trop axée sur la théorie [theory-focused] pour rendre compte de ce qui se passe en biologie moléculaire des systèmes. [...] Les conceptions philosophiques plus pragmatiques (desquelles nous espérons que le nôtre fait partie) portent sur un éventail de connexions entre les champs de recherche et les domaines de recherche, plutôt que sur une unification de surplomb [overarching unification] ou une intégration guidée par les théories [theoretically driven] des champs de recherches (e.g. GRANTHAM (2004); aussi BRIGANDT (2010)). » (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 61-62)

Cette distanciation de la proposition initiale n'implique pas une rupture de la filiation conceptuelle radicale<sup>99</sup>, mais consiste en un point de divergence important entre ces deux propositions. Ainsi, cette variante est plus flexible sur le type de relation accommodé, incluant à la fois celle établie par une théorie interchamps que d'autres.

D'autre part, les relations entre les champs n'impliquent plus les champs eux-mêmes, i.e. la totalité de leur contenu, mais plutôt des unités épistémiques plus petites au sein de ceux-ci, e.g. *explanantia*. Les champs (ou disciplines) feraient plutôt partie du *contexte d'intégration*

---

98. Cette affirmation reste grossière et nécessite quelques précisions. Bien que cette critique soit justifiée pour la formulation initiale des modèles interchamps, i.e. DARDEN et MAULL (1977) et MAULL (1977), il serait erroné d'étendre la validité de cette critique aux itérations subséquentes. En effet, certains passages des travaux subséquents de Darden laissent croire que sa proposition laisse progressivement le côté nécessaire des théories interchamps pour qu'il y existe un lien entre des champs. Par exemple, dans DARDEN (1980), une distinction est effectuée entre une *connexion interchamps* et une *théorie interchamps*. En effet, une « connexion interchamp [...] est elle-même une hypothèse scientifique qui postule une [relation physique3] entre les entités ou processus du champ voisin et dans la théorie en construction » (DARDEN 1980, p. 165-166). Ici, l'unité épistémique désignant la relation est nettement plus petite qu'une théorie interchamps. De même, dans DARDEN (2005), cette dernière mentionne, en rapportant la proposition de DARDEN et MAULL (1977), que « [*p*]arfois, les relations étaient élaborées dans une "théorie interchamps"; [...] c]e qui était important, disions-nous, c'était de trouver les relations, et non de dériver formellement quoi que ce soit de quoi que ce soit » (p. 356; italiques ajoutés). Il est ici apparent que le critère de nécessité d'une théorie interchamps, pour qu'il existe une relation entre des champs, est explicitement laissé de côté.

99. Bien que O'MALLEY et SOYER (2012) affirment explicitement que leur proposition ne s'inscrit pas dans cette lignée, il est à noter que la proposition, de GRANTHAM (2004), i.e. l'unité comme interconnexion, *a contrario*, s'inscrit explicitement dans celle-ci. En effet, il affirme la chose suivante à propos de sa proposition : « [e]n m'appuyant sur leur travail, i.e. DARDEN et MAULL (1977), KITCHER (1984), KINCAID (1990) et KINCAID (1997)], j'ai essayé de développer un compte rendu plus adéquat de ce que signifie l'unification ou l'intégration de deux champs de recherche scientifique » (GRANTHAM 2004, p. 153). Ce faisant, si la proposition O'MALLEY et SOYER (2012) s'inscrit explicitement dans la même lignée de proposition que celle de GRANTHAM (2004), alors ceux-ci s'appuient aussi, nécessairement, sur les travaux de DARDEN et MAULL (1977).

et non de l'intégration elle-même<sup>100</sup>. Cela permet d'accommoder des cas d'intégration à une échelle plus locale. En effet,

« ]l'avantage de mettre l'accent sur l'intégration des idées (e.g. [*methodi, data* et *explanans*]) plutôt que sur l'intégration des champs est que cette dernière peut évoquer la connotation que l'intégration consiste en la fusion de plusieurs champs pour aboutir à un seul champ (l'étiquette "synthèse" disciplinaire est également erronée, BRIGANDT et LOVE (2010)). Or, l'intégration ne consiste pratiquement jamais en une fusion complète dans plusieurs champs (BRIGANDT 2010), et même dans le cas d'une fusion, le champ qui en résulterait aurait une certaine structure interne et hétérogénéité, qui ne devrait pas être négligée. »<sup>101</sup> (BRIGANDT 2013, p. 463)

Cet amendement a donc pour effet d'augmenter le domaine d'application, i.e. la diversité de cas dont peut rendre compte ce modèle, de la proposition de O'MALLEY et SOYER (2012) par rapport à celle de DARDEN et MAULL (1977).

Ainsi, dans le modèle interchamps de O'MALLEY et SOYER (2012), l'intégration implique le partage d'éléments conceptuels  $\phi_1, \dots, \phi_n$  présents dans des champs A et B différents, i.e.  $A \cap B = [\phi_1, \dots, \phi_n]$  sans nécessité que ce partage soit expliqué et établi par une théorie interchamps.

### 2.3.2. Modèles d'intégration interchamps : types d'intégration

Le modèle interchamps proposé par O'MALLEY et SOYER (2012) a été développé pour tenter de rendre compte des processus se déroulant dans sciences biologiques, plus précisément au sein de la *Biologie moléculaire des systèmes* (SysBio)<sup>102</sup>. Ces derniers soutiennent que les catégorisations actuelles, i.e. recherches guidées par les *data* [*data-driven*](DD) et par les

---

100. Cette notion peut être comprise comme référant aux conditions permettant (ou inhibant) l'intégration. Par exemple, O'MALLEY et SOYER (2012) mentionne que « [p]armi eux sont les facteurs [tel que] : le questionnement exploratoire, l'innovation technologique et le transfert de systèmes de production de connaissances existants dans un nouveau domaine de phénomènes » (p. 64-65). L'idée générale est que « le contexte de l'intégration inclut également certains de ses mécanismes » (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 64). Pour plus de détails sur la notion de contexte d'intégration, voir O'MALLEY et SOYER (2012, section 4)

101. Afin d'éviter toute confusion dans l'utilisation des notions de méthodes ou de données, ayant plusieurs équivoques dans le langage courant, les termes techniques suivants seront utilisés pour caractériser les éléments conceptuels présents dans un champ de recherche : les locutions latines classiques « *explanans-explanantia* » vont référer à « explication-explications » ; les locutions latines tirées de l'anglais « *datum-data* » vont référer à « donnée-données » ; et, à des fins de continuité, les locutions latines « *methodus-methodi* » sont introduites afin de référer à « méthode-méthodes ».

102. O'MALLEY et SOYER (2012) utilisent indistinctement les termes *molecular system biology* et *systems biology*.

hypothèses [hypothesis-driven] (HD)<sup>103</sup> sont « insuffisantes pour comprendre de façon fine le processus se déroulant dans les sciences de la vie actuelles » (p. 58). Ils proposent donc de s’attarder plutôt à l’intégration, processus qu’ils définissent, de façon très générale, ainsi :

**Définition 26 : Intégration =  $\text{Df}$**

« une source probante [line of evidence] est mobilisée pour soutenir une hypothèse déjà soutenue par une autre source probante [line of evidence]. » (O’MALLEY et SOYER 2012, p. 59)

Le cas de la *SysBio* est utilisé comme modèle pour le développement de leur conception de l’intégration puisque cette dernière est profondément liée au *desideratum* de cette entreprise. O’MALLEY et SOYER (2012) le résume ainsi : « [l]a biologie des systèmes appui sa justification sur la reconnaissance que, pour comprendre les fonctions, il est essentiel de développer des interprétations et des manipulations multiniveaux des ensembles de *data* en adressant des questions de niveaux variés, s’inscrivant dans des cadres explicatifs différents, à l’aide d’une multitude de méthodes » (p. 59). Ce faisant, l’intégration y est vue comme comme la pierre angulaire permettant de répondre à ce *desideratum*.

Ainsi, à la lumière de la définition très générale rapportée plus haut (définition 26) et de ce *desideratum*, O’MALLEY et SOYER (2012) vont préciser leur définition de l’intégration dans le cadre de la SysBio ainsi :

**Définition 27 : Intégration en biologie des systèmes =  $\text{Df}$**

« la combinaison de méthodes et méthodologies [...], le processus de rendre les bases de données comparables et réanalysables, et la variété d’approches utilisées pour réunir des explications dans le cadre d’un questionnement particulier. »<sup>104 105</sup>

---

103. O’MALLEY et SOYER (2012) distinguent ces deux types de recherche de la façon suivant : DD, « recherche caractérisée par la production, la collection et les interprétations potentielles de larges ensembles de *data* tirés de la biologie, à partir desquels des analyses subséquentes peuvent identifier de nouvelles relations, processus ou phénomènes » (p. 58); et HD, où « la première étape d’un cycle de recherche est de formuler une hypothèse sur la base de connaissances préexistantes. Les expérimentations [dans la recherche HD] sont conçues et réalisées dans l’objectif d’examiner des hypothèses particulières » (p. 59).

104. Traduction libre de « [*i*]n our analysis, integration encompasses the combination of methods and methodologies (sometimes including general methodological approaches such as HD and DD), the process of making data sets comparable and re-analysable, and the variety of ways in which explanations are brought together in a particular inquiry » (p. 59).

105. Il est d’intérêt de souligner ici que cette classification des types d’intégration préfigurait déjà dans certaines propositions antérieures. Par exemple, DARDEN (1980) mentionne qu’ « [e]n cherchant des connexions interchamps fructueuses à utiliser dans la construction d’une explication de *data* dans un champ donné, on peut avoir connaissance qu’un autre champ est lié s’il a fourni des idées pour d’autres explications dans le champ en question. Plus fortement, on peut savoir que des scientifiques d’un autre champ ont étudié le

Ce passage est particulièrement éclairant puisqu'il précise les divers types d'intégrations pouvant être rencontrés et leurs modalités générales. À cela, ces derniers vont spécifier que leur conception est pragmatiste au sens où la notion d'intégration est fortement liée à son utilité potentielle pour la recherche. Plus précisément,

« notre point de vue s'appuie sur l'idée d'intégrer toutes méthodes, *data* et explications qui pourraient être utilement combinées pour élaborer une nouvelle piste de recherche productive sur les processus biologiques dynamiques pour lesquels il existe d'importants ensembles de données. » (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 59)

Ce faisant, le processus d'intégration est motivé par gains épistémiques attendus — cette affirmation sera développée plus bas.

La présente analyse s'attardera successivement aux trois types d'intégrations rapportés par O'MALLEY et SOYER (2012) puisqu'elles constituent le cœur de leur proposition. Premièrement, la notion d'intégration méthodologique sera explorée. Ce type sera exemplifié à l'aide d'un des cas « paradigmatiques », au sens commun du terme, i.e. la biologie du bruit [noise biology]. Celui-ci permettra de façon corollaire de préciser ce que O'MALLEY et SOYER (2012) entendent lorsqu'ils soutiennent que leur modèle se veut pragmatique. Ensuite, la notion d'intégration des *data* sera examinée. Une exemplification sera faite à partir des travaux de LEONELLI (2013) et LEONELLI (2016) qui rapporte, entre autres, le cas particulier du projet TAIR (The Arabidopsis Information Resource). Plus encore, les sous-types d'intégration des *data* seront brièvement mentionnés. Par la suite, la notion d'intégration explicative sera explicitée. Ici, les travaux de BRIGANDT (2010) permettront d'offrir, à la fois, quelques précisions sur ce type communément discuté en philosophie des sciences et une étude de cas avec la biologie développementale évolutionnaire.

Le premier type d'intégration en SysBio mentionné par O'MALLEY et SOYER (2012) comprend la combinaison de méthodes et méthodologies. Deux particularités font que sa distinction présente un intérêt, particularités qui seront ici déclinées.

---

même phénomène à l'aide de techniques différentes ; par exemple, les cytologistes ont utilisé des techniques microscopiques pour étudier les questions d'hérédité tandis que les généticiens ont utilisé des techniques de reproduction. On pourrait s'attendre à ce qu'une certaine relation soit établie entre les résultats dans les deux champs » (p. 167). Dans cette citation, le partage d'*explanantia* et de *methodi* est explicite. De même, bien que la notion de « résultats » soit utilisée plutôt que « *data* », l'équivalence est évidente.

D'une part, la combinaison de méthodes et méthodologies pourrait être caractérisée par le fait que la recherche y est guidée par les méthodes ou techniques [method- or technique-driven]. En effet, c'est la « disponibilité d'une méthode ou d'une technique qui inspire son application dans un nouveau domaine phénoménale ou a un problème nouveau pour lequel d'autres méthodes ont déjà été appliquées » (p. 60). Mais plus encore, et il s'agit de la première particularité, derrière cette (ré)application est liée à l'espoir de produire des connaissances inédites à propos d'un questionnement d'intérêt. En effet, cette combinaison de méthodes et méthodologies peut, selon O'MALLEY et SOYER (2012), « produire des connaissances non obtenues (et probablement impossibles à obtenir) par l'application d'une seule méthode ou même par des approches d'une même discipline » (p. 60). Par exemple, lorsque des méthodes et méthodologies incarnent des angles épistémiques suffisamment différents et sont appliquées à l'étude d'un même biosystème, des phénomènes, inconnus jusqu'alors, peuvent être exposés (voir cas de la Biologie du bruit ci-dessous pour l'exposition d'un exemple concret). Cette possibilité de production de nouvelles connaissances, par ailleurs, est ce qui permettrait de distinguer l'intégration méthodologique de la triangulation<sup>106</sup>. Cette précision permet de mettre que l'avant que, contrairement à la définition 26, ce ne sont pas les preuves [line of evidence] qui sont mobilisées, mais bien des méthodes et méthodologies dans le cas de l'intégration méthodologique.

D'autre part, et il s'agit de la seconde particularité, O'MALLEY et SOYER (2012) précisent que leur conception de l'intégration méthodologique inclue aussi les processus itératifs, i.e. l'itération. Ces derniers précisent toutefois que « [l]a réapplication linéaire d'une méthode, [i.e. l'itération], est la voie la plus simple pour l'intégration méthodologique en biologie des systèmes, mais l'intégration se produit plus souvent sous des formes beaucoup plus complexes sur le plan méthodologique » (p. 60). Ces dernières vont donc distinguer deux sens de l'itération. Le premier sens

« implique l'itération de méthodes très spécifiques dans un cycle recherche [cycle of inquiry] anticipé, en particulier la répétition en série d'expériences et la modélisation mathématique afin de raffiner les modèles par des tests d'hypothèses individualisés[, cette dernière] correspondant plus aux conceptions HD de la pratique scientifique. » (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 60)

---

106. O'MALLEY et SOYER (2012) définissent la triangulation comme le fait de combiner différentes approches pour « confirmer les découvertes d'une piste de recherche précédente [previous line of inquiry] » (p. 63).



Le second sens, se rapprochant plus de ce qu'ils entendent par intégration méthodologique, « couvre une combinaison beaucoup plus large et moins prévisible d'approches [pouvant] impliquer non seulement l'itération de méthodes particulières, mais aussi l'interaction entre les approches [HD] et [DD] » (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 60). De plus, dans leur interprétation, « [il] n'est pas nécessaire que cette intégration se fasse de façon séquentielle. Différentes méthodes peuvent être employées simultanément [en restant] centrées sur le même système biologique » (p. 60). Cette extension du domaine de l'intégration méthodologique, des objets compris par celle-ci, permet montrer la seconde différence par rapport à la définition 26, i.e. qu'une même méthode ou méthodologie peut être remobilisée pour soutenir une hypothèse.

Ces éléments ayant été précisés, il est possible d'introduire la définition suivante de l'intégration méthodologique :

**Définition 28 : Intégration méthodologique = Df**

« mobiliser une pluralité de méthodes dans l'étude d'un même biosystème<sup>107</sup> ou d'une problématique de recherche afin d'obtenir une compréhension multidimensionnelle du fonctionnement du système. »<sup>108</sup> (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 60)

Ce type d'intégration est exemplifié par O'MALLEY et SOYER (2012) à l'aide de ce qu'ils présentent comme l'« enfant-modèle [poster-child] de l'intégration méthodologique » (p. 63), i.e. la biologie du bruit. Le *bruit* dans les biosystèmes, précisent O'MALLEY et SOYER (2012), « réfère aux fluctuations stochastiques produites de façon endogène dans les activités moléculaires se déroulant dans les processus cellulaires » (p. 63). En d'autres termes, il s'agit de variations dans les produits de certaines réactions ou processus (e.g. le nombre d'adénosine triphosphate [ATP] produit par respiration cellulaire pour une molécule de glucose<sup>109</sup>, le nombre de protéines produites par rapport au nombre acide ribonucléique

107. Traduction libre de *biological system*

108. Traduction libre de « *[methodological integration] involves directing a range of methods at a particular biological system or research problem in order to gain a multidimensional understanding of how the system works* ».

109. La respiration cellulaire (ou aérobie) consiste en une cascade de réactions biochimique permettant de transformer le sucre, i.e. glucose, en molécule utilisable par la cellule pour réaliser du « travail », i.e. adénosine triphosphate (ATP). La séquence (grossière) est la suivante : 2 pyruvates sont produits par la glycolyse d'une molécule de glucose ; ceux-ci sont oxydés par le cycle de Krebs qui produit 3 molécules de NADH et une molécule de FADH<sub>2</sub> ; et ces coenzymes sont oxydés par la chaîne respiratoire (ou de transport des électrons) donnant, *in fine*, un rendement maximal de 38 ATP. Or, ce rendement est rarement atteint (pour causes diverses) et il y a une variation dans le nombre final d'ATP produites. Le lecteur intéressé peut se référer à un ouvrage d'introduction quelconque en biochimie pour le détail des substrats, produits et réactions impliqués dans la respiration cellulaire.

messenger [ARNm]<sup>110</sup>), variations pouvant être sources d'importantes d'erreurs prédictives.

Il est mentionné que

« [c]es phénomènes ont eu tendance à être mal compris à la fois parce qu'ils ont été occultés par la conception générale que les cellules étaient identiques sur le plan génomique dans les populations et parce que, dans l'ensemble, les fluctuations unicellulaires n'ont pu être observées qu'avec l'avènement des méthodes et approches quantitatives unicellulaires. » (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 63)

Ce sont ces types d'approches, leur combinaison, qui auraient permis la création de la biologie du bruit, plus précisément la combinaison entre « la cytométrie en flux (tri et comptage automatisé des cellules sur la base de caractéristiques particulières) et la microscopie par fluorescence à intervalles de temps (acquisition automatisée d'images de cellules individuelles sur des périodes de temps spécifiques) » (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 63). De plus, précisent-ils, « au fur et à mesure que ces outils se sont développés, ils ont rendu visible un nouveau domaine de phénomènes » (p. 63).

Cette exposition montre bien en quoi la biologie du bruit est l'exemple *paradigmatique* de l'intégration méthodologique au sens où ce champ a été développé grâce à celle-ci. Plus encore, ce champ a continué de se développer par le même type d'intégration où, mentionne O'MALLEY et SOYER (2012), « des approches tirées de l'ingénierie ont depuis été combinées avec de la microscopie et de la cytométrie en flux pour produire de nouvelles façons de mesurer le bruit et ses effets, et ont ainsi produit des explications intégrées et inédites » (p. 63). La biologie du bruit se présente donc, en SysBio, comme un cas d'étude privilégié.

Le second type d'intégration en SysBio mentionné par O'MALLEY et SOYER (2012) comprend la combinaison de bases de *data*. Ce type d'intégration découle, pour eux, de la problématique récente de surproduction de *data* lié au développement de méthodes à haut débit et représenterait l'un des défis actuels majeurs en science. De façon générale, ils rapportent que l'intégration des *data* est comprise comme « l'activité de rendre comparable différents types de *data* provenant d'une variété de sources potentiellement inconsistantes » (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 61). En d'autres termes, une ou plusieurs opérations sont

---

110. Suivant le dogme central de la biologie moléculaire, l'expression génique suit le schéma mécaniste suivant : ADN → ARN → Protéine. Ainsi, le niveau d'ARNm devrait être corrélé au niveau de protéine. Or, O'MALLEY et SOYER (2012, p. 63) précisent que cela n'est pas toujours le cas.

appliquées à un ensemble de bases de *data* pour rendre celles-ci comparables. Ce faisant, précise O'MALLEY et SOYER (2012), « en abstrayant les *data* de leur contexte initial, la procédure d'intégration forme un nouvel ensemble de *data* pouvant être traité comme un tout unifié » (p. 61). Ainsi, ce processus, à partir d'un ensemble de *data*, produit un second ensemble correspondant dont les éléments sont comparables et peuvent être utilisés dans l'étude d'une question donnée. O'MALLEY et SOYER (2012) soulignent qu'en SysBio, l'intégration des *data* aurait pour objectif « d'amalgamer les divers ensembles de données concernant des sous-systèmes [produit par la « biologie ordinaire »] afin que des analyses au niveau du système puissent être effectuées » (p. 61), i.e. de réutiliser les *data* produites par la biologie pour aborder des questions de la SysBio. On observe ici aussi deux distinctions mineures d'avec la définition 26.

D'une part, dans l'intégration des *data*, aucune preuve [line of evidence] n'est mobilisée pour soutenir directement une hypothèse. Cela consiste plutôt en le fait de développer un ensemble de *data*, par la combinaison des jeux de *data* existants, pouvant, lui, servir à soutenir une hypothèse. Ce faisant la preuve est fournie indirectement, *contra* la définition 26.

D'autre part, une opération supplémentaire, en plus de la combinaison, doit être réalisée sur les deux ensembles de *data* pour les rendre comparables.

Ces éléments ayant été précisés, il est possible d'introduire la définition suivante de l'intégration des *data* :

**Définition 29 : Intégration des *data* =  $D_f$**

« processus de théorisation et de modélisation des bases des données, de quantification précise des *data*, de développement de procédures de standardisation, de nettoyage des *data*, de même que l'élaboration d'interfaces efficaces permettant aux *data* d'être réutilisées, réanalysées ou combinées de façon nouvelle. »<sup>111</sup> (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 61)

---

111. Traduction libre de « [*d*]ata integration [...] refers to the process of theorizing and modelling databases, quantifying data accurately, developing standardization procedures, cleaning data, and providing efficient and user-friendly interfaces to enable data not only to be reused, but reanalysed and combined in novel ways ».

Ce type d'intégration peut être exemplifié à l'aide d'un cas rapporté par LEONELLI (2013) et LEONELLI (2016), i.e. le projet TAIR (The Arabidopsis Information Resource)<sup>112</sup>. Ce projet consiste en « une base de *data* en ligne consacrée au stockage et à la diffusion des *data* recueillies sur *Arabidopsis thaliana*, un organisme modèle pour les sciences végétales » LEONELLI (2013, p. 507). Le développement de cette ressource est un exemple typique d'intégration des *data* (plus précisément, intégration interniveau des *data*) au sens où les différents ensembles de *data*, produit par différents champs (e.g. écologie, biologie du développement, biologie moléculaire), ont été rendu comparable afin « d'intégrer les connaissances produites sur différents aspects de la biologie d'un même organisme, afin de comprendre l'organisme comme un tout holistique plutôt que comme un ensemble de parties déconnectées » (p. 507).

Il est intéressant de rapporter ici les différentes opérations supplémentaires effectuées pour rendre les bases de *data* comparables. Cela permettra d'exemplifier plus finement les types d'opérations compris dans la définition 29. Premièrement, des outils ont été élaboré notamment « des logiciels et outils de modélisation permettant à l'utilisateur de combiner et de visualiser plusieurs ensembles de *data* acquis sur deux ou plus niveaux d'organisation » (p. 508). Ceux-ci visaient à faciliter la tâche du chercheur dans l'intégration interniveau des *data* et LEONELLI (2013) souligne qu'ils « ont été fondamentaux pour permettre aux chercheurs de combiner et de visualiser [entre autres] les *data* génomiques, transcriptomique et métabolique comme un seul ensemble d'informations » (p. 508). Ensuite, des efforts considérables ont été, mentionne-t-elle, fournis afin « de développer des 'codes évidentiels' pour capturer les *metadatas* concernant les designs expérimentaux et les techniques utilisés pour générer les *data* » (p. 508). Ainsi, un chercheur travaillant à un niveau d'organisation donné à accès aux conditions de production des *data* de l'ensemble de *data* qui lui est d'intérêt assurant sa « fiabilité et qualité » (p. 508). Finalement, rapporte LEONELLI (2013), les promoteurs du projet ont « collaboré avec les chercheurs de tous les coins des sciences végétales pour

---

112. Construisant sur la proposition de O'MALLEY et SOYER (2012), cette dernière « élargie leur argument en examinant plus en détail ce que l'intégration des *data* implique » LEONELLI (2013, p. 504). Elle réalise cela en proposant trois sous-types d'intégration des *data* soit (a) l'intégration interniveau (b) intégration interespèces et (c) l'intégration translationnelle. Ces sous-types n'étant pas ici d'intérêt pour la présente discussion, ils ne seront pas développés plus amplement que ce bref résumé : (a) consiste en « l'assemblage et l'interrelation des résultats s'appliquant à différents niveaux d'organisation au sein d'une même espèce, dans le but premier d'améliorer les connaissances existantes sur sa biologie » (p. 504) ; (b) implique « la comparaison et la co-construction de recherches sur différentes espèces, toujours dans le but premier d'élargir les connaissances biologiques existantes » (p. 504) ; et par (c) il est entendu « l'utilisation de données provenant d'une grande variété de sources différentes afin de concevoir de nouvelles formes d'intervention sur les organismes qui amélioreront la santé humaine » (p. 504).

générer des mots clés pour décrire les objets biologiques et les processus à l'étude » (p. 509). Cette opération visait, entre autres, à faciliter les recherches dans l'ensemble de *data* unifié en uniformisant la façon de nommer les choses, i.e. en développant un lexicon commun. Le choix des termes, ajoute-t-elle, se devait d'être « intelligible pour les chercheurs de toutes les branches de la biologie, de la génétique à l'immunologie, l'écologie et [...] la biologie évolutionnaire du développement » (p. 508)<sup>113</sup>.

Le cas du projet TAIR rapporté par LEONELLI (2013) et LEONELLI (2016) a pour avantage de mettre en lumière les deux particularités soulignées plus haut à propos de l'intégration des *data*. D'une part, les ensembles de *data* ne sont pas directement mobilisés pour aborder des questionnements, mais combinés pour former une base unique qui elle sert de soutien évidentiel. D'autre part, les trois types d'opérations mentionnés (développement d'outils, récolte des méta*data*, et élaboration d'un lexicon commun) exposent l'importance de ces transformations pour rendre comparable des jeux de *data* différents. La conception de O'MALLEY et SOYER (2012) de l'intégration des *data* s'en trouve donc clarifiée de même que la définition 29 qui en découle.

Le troisième type d'intégration en SysBio mentionné par O'MALLEY et SOYER (2012) comprend la combinaison d'explications. Cette dernière, précisent-ils « réfère autant à la synthèse de différentes explications qu'à l'importation des modèles explicatifs (et prédictif) d'autres champs de recherche dans un domaine de recherche déterminé » (p. 61). Ici, par *modèle*, ils entendent une « représentation mécanistique ou statistique d'un phénomène particulier » (p. 61), i.e. un composite de « ressources conceptuelles et de formalisme mathématique avec des limites d'application incertaines » (p. 61). Ce type s'approche nettement plus de l'interprétation générale de l'intégration présentée dans la définition 26. Ce faisant, il est d'autant plus d'intérêt de rapporter ses particularités principalement par rapport aux interprétations plus traditionnelles de l'intégration. De même, O'MALLEY et SOYER (2012) faisant une distinction entre intégration et synthèse explicative, cette précision sera rapportée.

---

113. LEONELLI (2013) précise, à propos de ce développement d'un lexicon commun, que « [d]eux résultats importants de ces efforts sont le Plant ontology et le Gene ontology, qui ont été mis en œuvre au sein de TAIR en tant que systèmes de classification pour l'extraction de données sur, respectivement, les produits géniques et les caractéristiques des plantes » (p. 508).

O'MALLEY et SOYER (2012) souligne que ce type d'intégration fait certainement écho chez les philosophes des sciences, cette dernière ayant été examinée, sous différentes formes, à maintes reprises (e.g. l'unification théorique chez OPPENHEIM et PUTNAM (1958); les théories interchamps chez DARDEN et MAULL (1977); le pluralisme intégrateur chez MITCHELL (2004)). Cependant, ces interprétations (ou modèles d'intégrations) limite l'importance des méthodes et des *data*, les subsumant plutôt sous l'intégration explicative, et ce faisant, O'MALLEY et SOYER (2012) vont distinguer leur interprétation de ces dernières. Tout d'abord, ils reconnaissent les liens d'interdépendances entre le triplet *méthodes, data et explications* comme le soutienne les autres interprétations. Par exemple, ils soulignent qu'effectivement « souvent, l'intégration méthodologique implique ou conduit à de l'intégration explicative, quand la combinaison de différentes méthodes nécessite la fusion de cadres explicatifs, dans l'accommodement des phénomènes multiniveaux » (p. 61). De façon similaire, O'MALLEY et SOYER (2012) reconnaissent que les « cadres explicatifs sont aussi utilisés pour explorer les bases de données ainsi que pour les structurer » (p. 61). Or, leur position vise à montrer qu'au sein de la SysBio, il est « nécessaire de considérer l'intégration de façon plus inclusive que ce qui est capturé par l'intégration explicative purement théorique » (p. 62) d'où la nécessité de leur interprétation accordant plus d'importance aux deux premiers éléments du triplet *methodi, data et explanantia*.

Ces éléments ayant été précisés, il est possible d'introduire la définition suivante de l'intégration explicative :

**Définition 30 : Intégration explicative en SysBio =  $\text{DF}$**

« [production d']une “écologie complexe de modèles incorporés dans un cadre qui permet le débat et la collaboration”. »<sup>114</sup> (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 61)

Avec la définition 30, il devient explicite que les deux autres types d'intégration (méthodologique et des *data*) ne peuvent être subsumés sous celle-ci, cette dernière comprenant seulement la combinaison de modèles explicatifs. En effet, l'interdépendance du triplet *methodi, data et explanantia* est lié aux cadres explicatifs mobilisés plutôt qu'aux modèles eux-mêmes. Tel que mentionné plus haut, pour l'intégration méthodologique, la fusion de

---

114. Traduction libre de « [*e]xplanatory integration [...] produces a 'complex ecology of models, embedded in a framework that enables debate and collaboration' ».*

cadres est parfois nécessaire alors que, pour l'intégration des *data*, ces derniers peuvent permettre de diriger l'exploration des *data* ou de les structurer. Sur ces derniers, sur leur rôle dans l'intégration explicative, le cadre explicatif sert d'échafaudage pour articuler les modèles explicatifs. Ce faisant, il peut même restreindre les combinaisons possibles de modèles explicatifs (ce point sera développé dans l'étude de cas ci-dessous).

À cette interprétation de l'intégration explicative, O'MALLEY et SOYER (2012) vont en rapporter une seconde, une variante, i.e. la synthèse explicative. Comparativement à l'intégration explicative, une opération supplémentaire est réalisée pour créer un seul modèle explicatif à partir d'une pluralité.

Cet élément ayant été précisé, il est possible d'introduire la définition suivante de la synthèse explicative :

**Définition 31 : Synthèse explicative en SysBio = Df**

« processus par lequel diverses techniques sont utilisées pour unifier les modèles et les ressources explicatives qui leur sont associées. »<sup>115</sup> (O'MALLEY et SOYER 2012, p. 61)

Ce type d'intégration peut être exemplifié à l'aide d'un cas rapporté par BRIGANDT (2010) , i.e. le cas de la biologie évolutionnaire du développement (Évo-Dévo). Cet exemple présente l'intérêt de s'attarder plus longuement sur un même cas à la lumière d'un même type d'intégration comparativement aux exemples fournis par O'MALLEY et SOYER (2012). En ce sens, il est important de souligner que l'intégration explicative y est conçue de façon très similaire (les différences entre les deux propositions étant mineures.<sup>116</sup>). En effet, chez BRIGANDT (2010), l'intégration explicative « réfère à l'intégration d'idées et d'explications de différentes disciplines afin de fournir une explication globale d'un phénomène complexe » (p. 296-297). Plus précisément, ici, la combinaison concerne des « méthodes individuelles, concepts, modèles, explications » (p. 308) et le questionnement complexe, « [consiste] en un ensemble de questions connexes » (p. 299) dont la résolution « nécessite l'implication de différents champs et approches » (p. 299). De plus, BRIGANDT (2010) souligne que :

---

115. Traduction libre de « *explanatory synthesis usually refers to the process by which a variety of techniques are used to unify models and their associated explanatory resources* ».

116. O'ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN (2016) rapportent que la différence principale entre deux interprétations se situe principalement au niveau de la *nécessité normative* de l'intégration. Ces derniers soulignent que « O'MALLEY et SOYER (2012) affirme que l'intégration est une nécessité normative en biologie des systèmes [alors que] BRIGANDT (2010) le nie, défendant plutôt que même si l'intégration peut être importante dans plusieurs cas, sa légitimité et valeur va dépendre des particularités du cas » (p. 66).

« [m]on interprétation est consistante avec [l'intégration comme différentes combinaisons de modèles s'appliquant à différents cas], mais elle ajoute l'idée qu'il existe des problèmes scientifiques et des objectifs épistémiques qui structurent l'intégration (i.e. quels modèles et explications doivent être intégrés et comment). » (BRIGANDT 2010, p. 307)

L'aspect érotétique (i.e. relatif à une question) de la conception de l'intégration explicative de BRIGANDT (2010) fait que cette dernière s'inscrit dans la même lignée d'interprétation pragmatiste que celle développée par O'MALLEY et SOYER (2012), tel que souligné par ces derniers (p. 62). Ces précisions permettent de montrer que ces deux interprétations sont logiquement compatibles (preuve : le modèle de BRIGANDT (2010) satisfait la définition 30), celles-ci d'inscrivant dans une relation de particulier-générale.

Concernant le cas de l'Évo-Dévo, BRIGANDT (2010) rapporte que ces praticien-ne-s « rencontre[nt] le défi significatif d'intégrer des méthodes et explications relativement différentes, telles que des approches expérimentales et théoriques, des modèles microévolutives et macroévolutives, des explications sur le développement et la génétique des populations » (p. 298). En effet,

« certains éléments de l'agenda de la biologie évolutive du développement portent sur des questionnements macroévolutives de longues dates — comme rendre compte de l'origine des nouvelles structures — et la résolution de ces problèmes nécessite l'intégration de connaissance de divers champs, incluant la génétique des populations, la biologie du développement, la phylogénie, la paléontologie, la morphologie, la biologie théorique et l'écologie. » (BRIGANDT 2010, p. 298).

Cette question en particulier, i.e. l'explication de l'origine des nouveautés évolutives<sup>117</sup>, est utilisée par BRIGANDT (2010) pour exemplifier l'intégration explicative au sein de l'Évo-Dévo. En effet, sous-jacent à cette question, est le *desideratum* de mettre en lumière « les mécanismes et les caractéristiques causales qui expliquent comment une nouveauté apparaît » (p. 299) Or, rapporte-t-il, il existe plusieurs instances de nouveautés évolutives<sup>118</sup> pour lesquels il est impossible de fournir ce type d'explication sans l'intégration explicative

---

117. BRIGANDT (2010) précise qu'« une nouveauté évolutive (aussi appelée innovation évolutive) est une structure ou fonction morphologique qualitativement nouvelle dans un groupe d'organisme qui n'existait pas dans l'espèce ancestrale » (p. 299).

118. BRIGANDT (2010) fournit comme exemple l'apparition de la carapace chez les tortues, « [impliquant] une réorganisation majeure du squelette » (p. 299), de même que l'apparition de « nageoires chez les poissons et leur transformation en membre chez les amphibiens » (p. 299).



ayant lieu au sein de l'Évo-Dévo, des nouveautés pour lesquelles, « malgré les avancées empiriques et conceptuelles, il n'existe aucune interprétation actuelle satisfaisante [...] tel que la génétique, le développement, la morphologie fonctionnelle et l'environnement causent la nouveauté évolutive » (p. 299). Ce problème complexe (au sens présenté plus haut) est pour BRIGANDT (2010) un exemple concret où, pour pouvoir résoudre celui-ci, il est nécessaire de mobiliser les apports théoriques de différents champs, i.e. l'intégration explicative entre la phylogénie, la paléontologie, l'écologie, la biogéographie, la biologie développementale et la morphologie fonctionnelle. Sans s'attarder trop longuement aux particularités de ces différents champs, l'apport explicatif de chacun selon BRIGANDT (2010) peut être résumé assez simplement en bloc.

Pour la phylogénie, l'apport se situe dans l'identification des nouveautés évolutives au sens où « les arbres phylogénétiques sont nécessaires pour déterminer les jonctions phylogénétiques particulières où les caractères ont été transformés et des nouveautés sont apparues au cours de l'évolution (p. 299). Pour la paléontologie, l'apport se situe dans la compréhension des différentes étapes de l'apparition de la nouveauté au sens où « elle expose les états ancestraux de caractères et les intermédiaires structurels (si cas échéant) jusqu'à l'état de celui-ci chez le descendant (p. 300). Pour l'apport de l'écologie et de la biogéographie, l'apport est dans leur capacité à spécifier les conditions ayant favorisé la nouveauté à l'étude au sens où les deux questions suivantes peuvent trouver une réponse :

« comment les états de transition dans l'émergence d'une nouveauté auraient pu être compatibles ou favorisés positivement par la sélection naturelle, et comment l'évolution de ce caractère est liée aux changements dans les conditions géographiques et écologiques que l'espèce a subis (y compris la migration et les relations avec d'autres espèces, par exemple les espèces proies). » (BRIGANDT 2010, p. 300)

Pour la biologie du développement, l'apport se trouve dans la capacité de déterminer l'effet de changements génotypiques pour le phénotype au sens où elle permet de préciser « (a) comment les contraintes ancestrales au développement ont pu être et ont été brisées, ce qui a conduit à l'émergence de la nouveauté, et (b) comment la nouvelle structure a été intégrée sur le plan du développement les autres structures (Müller et Newman 1999) » (p. 301-302). Finalement, pour la morphologie fonctionnelle, l'apport est de préciser l'aspect fonctionnel lié à la nouveauté au sens où « l'explanans inclut une référence aux relations

fonctionnelles entre les structures (internes à un organisme) et comment elles soutiennent les comportements de ce dernier (relation entre l'organisme et des caractéristiques externes à celui-ci) » (p. 302). Ici, précise BRIGANDT (2010), « [c]'est la biologie du développement et la morphologie fonctionnelle qui exposent les causes ou mécanismes qui expliquent l'origine de la nouveauté, de sorte que ce sont ces disciplines qui portent la force explicative » (p. 304) (ce point sera développé plus bas). Ce dernier conclut que « l'explication de l'origine évolutive des nouveautés nécessite[, en plus de la mobilisation de méthodes et de *data* de différents domaines,] d'intégrer différents modèles théoriques et modes d'explication » (p. 304). Ainsi, c'est l'intégration explicative des différents champs susmentionnés qui permet de résoudre la question des nouveautés évolutives.

Deux dernières considérations théoriques doivent être soulevées avant de terminer. En effet, BRIGANDT (2010), à la lumière de son analyse précise que :

« outre la simple motivation de l'intégration, un problème et les critères d'adéquation explicative qui lui sont associés déterminent la nature et la structure de l'intégration nécessaire. Le problème particulier à l'étude détermine quelles disciplines biologiques sont nécessaires, quelle est la contribution relative de chaque approche théorique et quelle approche est explicativement particulièrement fondamentale. » (BRIGANDT 2010, p. 305)

Ainsi, d'une part, BRIGANDT (2010) fait mention de l'existence de critères d'adéquation pour une explication. En effet, souligne-t-il, « à chaque [problème complexe] est associé des critères d'adéquation, qui —en fonction des connaissances empiriques et conceptuelles d'arrière-plan— fixent les standards pour identifier se qui constitue une solution adéquate » (p. 299). Plus encore, ce sont ces mêmes critères qui « déterminent quelles idées théoriques et empiriques sont pertinentes pour résoudre le problème [à l'étude] » (p. 305). En d'autres termes, c'est l'*explanandum*, e.g. causes des innovations évolutives, qui détermine quels types d'*explanantia* sont adéquats pour l'expliquer, e.g. explications seulement causales, et se faisant, les champs pouvant ou non être impliqués. Cette première considération est d'intérêt puisqu'elle permet de préciser l'importance d'identifier la question à l'étude dans les cas d'intégration explicative de même que son rôle dans la détermination des combinaisons possibles. Ces conclusions sont compatibles avec l'intégration et la synthèse explicative chez O'MALLEY et SOYER (2012) (voir définitions 30 et 31) mais aussi extensibles aux autres types d'intégration (voir définitions 28 et 29) D'autre part, BRIGANDT (2010) souligne que

la participation respective des différents *explanantia* dans l'explication de l'*explanandum* varie, et donc, la participation respective des différents champs. Ainsi, lorsqu'il mentionne que la biologie du développement et la morphologie fonctionnelle « portent la force explicative », il ne fait que préciser leur apport explicatif dans l'intégration est plus important, i.e. identifiant les mécanismes causaux sous-jacents. Ici encore, précise-t-il, « la contribution relative et la fundamentalité explicative des différentes approches dépendent et varient avec le problème [à l'étude] » (p. 305). Ce dernier point d'apparence triviale permet de préciser plus encore la variété des apports théoriques pouvant être intégrés, ceux-ci pouvant différer de force explicative. Cette seconde considération est aussi compatible les différents types d'intégration identifiés par O'MALLEY et SOYER (2012) (voir définitions 28, 29, 30, et 31).

### 2.3.3. Résumé

Le cadre interchamps conçoit l'intégration en sciences comme la mise en relation entre les différents champs de recherche en science. Deux éléments sont constitutifs de cette conception en science. D'une part, l'accent est mis sur les champs de recherche plutôt que sur les théories, i.e. sur des unités épistémiques plus complexes. D'autre part, découlant de ce changement de perspective, les interconnexions entre les champs de recherche ne sont plus conçues comme des relations réductives, ces dernières étant, entre autres, établies par des théories interchamps. Les interprétations actuelles, e.g. la proposition O'MALLEY et SOYER (2012), s'inscrivant dans cette famille de modèles se caractérisent par l'accent qui est mis sur les types intégrations n'étant pas établis par une théorie et dont la portée est plus locale. Ce faisant, ces derniers accommodent une grande diversité de relations et de cas possibles. La proposition de O'MALLEY et SOYER (2012) identifie trois types d'intégration présents en biologie des systèmes : l'intégration méthodologique, des *data* et explicative. La première consiste en la combinaison de méthodes et méthodologie dans l'étude d'un phénomène donnée. Ce type d'intégration permet d'obtenir une meilleure compréhension du biosystème à l'étude. Par exemple, l'intégration méthodologique (la combinaison de la cytométrie en flux et de la microscopie par fluorescence à intervalles de temps) a permis de mettre à jour l'existence de fluctuations stochastiques dans les processus cellulaires. Cette découverte a même entraîné la formation d'un nouveau champ de recherche visant à étudier ces variations, i.e. la biologie du bruit. La seconde consiste en le processus de rendre comparables des bases

de *data*. Ce type d'intégration permet aux *data* d'être réutilisées, réanalysées ou combinées de façon nouvelle. Par exemple, l'intégration (interniveau) des *data* est utilisé dans le projet TAIR pour permettre le partage de *data* concernant l'organisme modèle *Arabidopsis thaliana* entre les différents champs de recherche. L'objectif est de permettre la compréhension multidimensionnelle de celui-ci. La troisième consiste en mise en commun de divers modèles explicatifs soit au sein d'un cadre explicatif, soit au sein d'un modèle explicatif unifié. Ce type d'intégration permet la mobilisation de ressources explicatives diverses dans l'étude d'un phénomène. Par exemple, l'intégration explicative permet d'aborder le questionnement complexe de l'apparition des nouveautés évolutives en Évo-Dévo. En effet, cette questions, se déclinant en plusieurs sous-questions, nécessite l'apport explicatif de plusieurs champs de recherche différents. Cette brève exposition de ce modèle d'intégration tiré de la philosophie de la biologie permet de préciser, à la fois, les unités et relations mobilisées dans le cas des intégrations interchamps.

## Chapitre 3

---

### Un modèle d'intégration généralisable : *survival of the fittest*

*'alles is overal : maar het milieu selecteert'* [*Everything is everywhere, but, the environment selects*].

---

Lourens Gerhard Marinus Baas Becking, *Geobiologie of inleiding tot de milieukunde* (1934, p. 15)

Le chapitre précédent a permis d'exposer diverses familles de modèles d'intégration aptes à répondre aux problématiques conceptuelles rencontrées en philosophie de l'interdisciplinarité. Dans ce chapitre, ces modèles seront comparés afin de sélectionner celui présentant le plus de potentiel pour être exporté en philosophie de l'interdisciplinarité<sup>1</sup>. Pour ce faire, séquence suivante sera suivie.

En premier lieu, les trois familles de modèles (néomécaniste, par unité coordonnée, et interchamps) seront examinées à la lumière de *desiderata* conceptuels identifiables à la lumière des besoins de la philosophie de l'interdisciplinarité. Ceux-ci consistent dans le fait de pouvoir accommoder (a) toutes les combinaisons potentielles de disciplines et (b) toutes les relations potentielles entre des disciplines. Ces critères idéalisés permettront de cibler

---

1. Il est à noter que cette approche sélective, donc critique, des modèles d'intégration est l'élément qui différencie radicalement la présente approche d'autres pouvant être qualifiées de similaires. Par exemple, la proposition développée par O'ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN (2016) reprend essentiellement la même prémisse, i.e. la philosophie de la biologie est potentiellement apte à informer la philosophie de l'interdisciplinarité sur la question de l'intégration, mais ces derniers n'effectuent pas de sélection explicite sur les modèles d'intégration rapportés. En ce sens, leur approche peut être qualifiée d'acritique. Une approche plus prudente, i.e. critique, a été préférée dans le présent mémoire afin d'éviter le risque d'exporter des modèles conceptuellement *viciés* en philosophie de l'interdisciplinarité.

le modèle d'intégration de la philosophie de la biologie le plus apte pour être exporté en philosophie de l'interdisciplinarité.

En second lieu, les critiques visant le modèle ainsi isolé seront abordées. Ces dernières seront exposées de façon détaillée de même que le cadre sous-jacent afin de permettre la construction d'une réponse forte, i.e. une réponse répondant directement aux critiques plutôt qu'indirectement. Cela permettra, à la lumière des problématiques soulevées, de consolider le modèle sélectionné le rendant imperméable aux critiques analogues, problématiques que pourrait rencontrer ce modèle post-exportation. Ce faisant, l'outil conceptuel sélectionné, si montré fragile, s'en trouvera solidifié.

### 3.1. Sélection d'un modèle généralisable

#### 3.1.1. Élaboration d'un environnement sélectif

Deux *desiderata* auxquels doit répondre toute conception générale de l'intégration en philosophie de l'interdisciplinarité peuvent être identifiés :

##### *Desideratum 1*

Une conception générale de l'intégration en philosophie de l'interdisciplinarité devrait pouvoir permettre l'analyse de l'ensemble des cas d'interdisciplinarité théoriquement possible  $I$  où  $I$  est définissable ainsi : soit  $D$  l'ensemble contenant toutes les disciplines scientifiques  $d_1, \dots, d_n$  ; soit  $\mathbb{P}(D)$  l'ensemble puissance de  $D$  ;  $I$  est un sous-ensemble de  $\mathbb{P}(D)$  contenant toutes les  $k$ -combinaisons de  $D$  où  $1 < k \leq D$ , i.e.  $\left( \binom{D}{k} \right)_{1 < k \leq D}$ .<sup>2</sup>

##### *Desideratum 2*

Une conception générale de l'intégration en philosophie de l'interdisciplinarité devrait pouvoir permettre l'analyse de l'ensemble des relations d'interdisciplinarité théoriquement possible  $R$  où  $R$  est définissable ainsi : soit  $D$  l'ensemble contenant toutes les disciplines scientifiques  $\{d_1, \dots, d_n\}$  ; soit, pour tous  $d \in D$ ,  $d'$  un ensemble étant une représentation conceptuelle des éléments de  $d$ , i.e.  $\{\phi_1, \dots, \phi_n\}$  ; soit, pour tous  $d'$ ,  $k$ - $d'$  un sous-ensemble de  $\mathbb{P}(d')$  ne contenant pas d'ensemble vide, i.e.  $\mathbb{P}(d') \setminus \emptyset$  ;  $R$  est le produit cartésien de tous les ensembles  $k$ - $d'$  considérant  $D$ , i.e.  $k$ - $d'_1 \times \dots \times k$ - $d'_n$ .

Ces deux *desiderata* découlent du fait que la philosophie de l'interdisciplinarité a pour objet d'étude la production de savoirs par la mise en relation de disciplines différentes. Or, il n'existe pas de limite *a priori* sur (a) les disciplines impliquées ni sur (b) les types de

---

2.  $I$  peut aussi être définis négativement de la façon suivante :  $\mathbb{P}(D) \setminus I = \{\emptyset, d_1, \dots, d_n\}$ .

relations entre elles. Ce faisant, c'est parce que la philosophie de l'interdisciplinarité à une portée très large et que les relations d'intérêt sont de natures variées qu'il est concevable qu'un modèle conceptuel visant à rendre compte de l'intégration doive théoriquement être en mesure d'analyser les ensembles  $I$  et  $R^3$ .

L'exigence analytique imposée par les *desiderata* 1 et 2 peut être illustrée en simplifiant les termes du problème. Soit le cas fictif où (1) la science correspond aux disciplines irréductibles suivantes : physique, la chimie, biologie; (2) chacune des disciplines contient seulement les éléments suivants : un *methodus*  $m$ , un *datum*  $d$  et un *explanans*  $e$ ; et (3) que les éléments contenus dans les disciplines ne peuvent être joints pour former des sous-unités au sein de celles-ci (e.g. un champ de recherche). Le portrait des sciences, suivant (1), (2) et (3), serait donc tel que représenté dans la figure 3.1.

---

3. Le fait que ces deux *desiderata* soient exclusivement des critères de généralité pourrait être critiqué sur la base que rien ne laisse croire qu'un modèle d'intégration adéquat pour la philosophie de l'interdisciplinarité exclu *a priori* des critères de spécificité. Par exemple, le problème d'imprécision des modalités de l'intégration dans le modèle IRP de REPKO et SZOSTAK (2016) n'est pas une problématique de généralité, mais de spécificité. Or, il est nécessaire de préciser que l'objectif ici n'est pas d'offrir une liste exhaustive des tous les *desiderata* auxquelles un modèle de l'intégration en philosophie de l'interdisciplinarité devrait répondre, mais d'établir une grille sélective théorique permettant de distinguer l'aptitude des modèles d'intégration provenant de la philosophie de la biologie à répondre aux besoins de la philosophie de l'interdisciplinarité. La différence est double. D'une part, les *desiderata* proposés ici ne sont pas nécessairement les *desiderata* de la philosophie de l'interdisciplinarité, mais sont seulement inspirés *par* les besoins de la philosophie de l'interdisciplinarité. Par exemple, il est raisonnable de croire que le *desideratum* 1 est trop exigeant pour les besoins réels de la philosophie de l'interdisciplinarité. Une variante plus probable serait le fait d'accommoder l'ensemble des cas d'interdisciplinarité considérés comme canon, i.e. historiquement reconnus par la communauté scientifique, plutôt que l'ensemble des cas d'interdisciplinarité possibles. Ce faisant, bien qu'il puisse y avoir du recoupement ou des similarités entre les *desiderata* proposés ici et ceux de la philosophie de l'interdisciplinarité pour de tels modèles, une distinction entre les deux doit être faite. D'autre part, considérant l'approche historique de développement des modèles d'intégration en philosophie de la biologie axée principalement sur la généralisation à partir de cas particuliers (approche ascendante [bottom-up] ou « vue par-dessous [view from below] » (O'ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN 2016, p. 63)), l'élaboration d'une grille d'évaluation doit accommoder ce fait. Par exemple, si cette grille s'appuyait exclusivement sur des critères de spécificité, alors les modèles d'intégration développés en philosophie de la biologie seraient testés sur leur aptitude à distinguer, dans un ensemble de cas d'interdisciplinarité très similaires et peu nombreux, les différences fines entre ceux-ci. Or, ceux-ci ayant été justement construits à l'aide d'un petit nombre de cas très similaires, il est attendu qu'ils performent tous de façon indistincte ou non significativement distincte à ce type de test. Il en serait tout autre si les modèles testés étaient ceux tirés de la littérature sur l'interdisciplinarité qui présentent des conditions d'élaboration totalement opposées, i.e. construits en travaillant à l'aide de beaucoup de cas très différents (approche descendante [top-bottom] ou « vue par-dessus [view from above] » (O'ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN 2016, p. 63)). L'objectif ici étant de distinguer clairement l'aptitude des modèles d'intégration développés en philosophie de la biologie à répondre aux besoins de la philosophie de l'interdisciplinarité, considérant leurs conditions d'élaboration, la construction d'une grille sélective exclusivement fondée sur des critères de généralité apparaît comme justifiée. Merci à François Claveau (Université de Sherbrooke) pour cette question très pertinente formulée lors du colloque *Unification and Measurement : Philosophical Perspectives on Evidence and Theory Construction* tenu le 17 avril 2019 à l'Université de Montréal par la Chaire Ésope.

$$\begin{array}{cccc}
\textit{Physique} & \textit{Chimie} & \textit{Biologie} & D \\
\left( \begin{array}{c} m \\ d \\ e \end{array} \right) & \left( \begin{array}{c} m \\ d \\ e \end{array} \right) & \left( \begin{array}{c} m \\ d \\ e \end{array} \right) & \left( \begin{array}{c} \textit{Physique} \\ \textit{Chimie} \\ \textit{Biologie} \end{array} \right)
\end{array}$$

**FIGURE 3.1.** Portrait de la science pour un cas idéalisé où la totalité des disciplines scientifiques  $D$  se réduirait à la physique, chimie et la biologie et où ces dernières n’auraient pour contenu conceptuel qu’un *methodus*  $m$ , un *datum*  $d$  et un *explanans*  $e$ .

Suivant le *desideratum* 1 et les postulats ci-haut, le contenu des ensembles  $D$  et  $I$  serait tel que représenté dans la figure 3.2.

$$\begin{array}{cc}
D & I \\
\left( \begin{array}{c} \textit{Physique} \\ \textit{Chimie} \\ \textit{Biologie} \end{array} \right) & \left( \begin{array}{c} \textit{Physique} - \textit{Chimie} \\ \textit{Chimie} - \textit{Biologie} \\ \textit{Physique} - \textit{Biologie} \\ \textit{Physique} - \textit{Chimie} - \textit{Biologie} \end{array} \right)
\end{array}$$

**FIGURE 3.2.** Représentations des ensembles  $D$ , contenant la totalité des disciplines, et  $I$ , contenant la totalité des combinaisons possibles entre les disciplines distinctes de  $D$ , pour un cas idéalisé où la totalité des disciplines scientifiques  $D$  se réduirait à la physique, chimie et la biologie.

Suivant le *desideratum* 2 et et les postulats ci-haut, le contenu des ensembles  $d'$ ,  $k-d'$  et  $R$  serait tel que représenté dans la figure 3.3<sup>4</sup>.

Cet exemple, en illustrant les ensembles  $I$  et  $R$  dans un cas très idéalisé par les postulats (1), (2) et (3), montre comment l’absence de contraintes *a priori* sur les cas et les types de relation d’interdisciplinarité créent des exigences analytiques fortes de la part d’aspirants modèles conceptuels de l’intégration pour la philosophie de l’interdisciplinarité. Bien qu’il pourrait être soutenu que des contraintes *a posteriori* pourraient réduire substantiellement la taille des ensembles  $I$  et  $R$ , e.g. certains cas d’interdisciplinarité pourraient se révéler impossibles dû à des d’incompatibilités de postulats, l’utilisation des *desiderata* 1 et 2 est ici

4. Il est à noter ici que puisque le postulat (2) limite le contenu des disciplines à des éléments conceptuels, dans cet exemple  $d = d'$ .



$$\begin{array}{ccc}
\begin{array}{c} \textit{Physique}' \\ \left( \begin{array}{c} m \\ d \\ e \end{array} \right) \end{array} & \xRightarrow{(1)} & \begin{array}{c} k - \textit{Physique}' \\ \left( \begin{array}{c} \phi_a \\ \phi_{a,b} \\ \phi_{a,b,c} \end{array} \right) \end{array} \\
\begin{array}{c} \left( \begin{array}{c} m \\ d \\ e \end{array} \right) \\ \textit{Biologie}' \end{array} & \xRightarrow{} & \begin{array}{c} \left( \begin{array}{c} \phi_x \\ \phi_{x,y} \\ \phi_{x,y,z} \end{array} \right) \\ k - \textit{Biologie}' \end{array}
\end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{c} \textit{Physique}' \\ \left( \begin{array}{c} m \\ d \\ e \end{array} \right) \end{array}} \right\} \xRightarrow{(2)} \begin{array}{c} R_{\textit{Physique}, \textit{Biologie}} \\ \left( \begin{array}{ccc} \phi_{x,a} & \phi_{x,y,a} & \phi_{x,y,z,a} \\ \phi_{x,a,b} & \phi_{x,y,a,b} & \phi_{x,y,z,a,b} \\ \phi_{x,a,b,c} & \phi_{x,y,a,b,c} & \phi_{x,y,z,a,b,c} \end{array} \right) \\ (1) = \mathbb{P}(d') \setminus \emptyset \\ (2) = k\text{-}\textit{Physique}' \times k\text{-}\textit{Biologie}' \end{array}
\end{array}$$

**FIGURE 3.3.** Représentations des ensembles *Physique'* et *Biologie'*, i.e. représentations conceptuelles de la physique et de la biologie, *k-Physique'* et *k-Biologie'*, i.e.  $\mathbb{P}(\textit{Physique}') \setminus \emptyset$  et  $\mathbb{P}(\textit{Biologie}') \setminus \emptyset$ , et *R*, i.e. le produit cartésien de *k-Physique'* et *k-Biologie'*, dans le cas idéalisé où le contenu des disciplines se réduit à un *methodus m*, un *datum d* et un *explanans e*.

purement instrumentale. Plus précisément, ceux-ci servent seulement à créer un environnement sélectif artificiel où les différences de performances entre les divers modèles présentés au chapitre 2 pourront être aisément discriminés. Ainsi, même si aucun des modèles ne se montre apte à répondre aux *desiderata* 1 et 2, les diverses propositions pourront être évaluées quant à la proportion des éléments des ensembles *I* et *R* que ces derniers sont aptes à analyser. En ce sens, l'utilisation des *desiderata* 1 et 2 permettra l'identification du modèle d'intégration le plus apte à répondre aux exigences théoriques d'une philosophie de l'interdisciplinarité.

### 3.1.2. *Fitness* des différentes familles de modèles d'intégration

Les *desiderata* pour un modèle d'intégration adéquat en philosophie de l'interdisciplinarité ayant été précisés, il est maintenant possible d'évaluer les propositions, présentées au chapitre 2, quant leurs capacités à y répondre. Ce faisant, il sera possible de vérifier si l'un des modèles développés en philosophie de la biologie est exportable en philosophie de l'interdisciplinarité.

Pour les modèles néomécanistes, l'analyse suivante peut être faite.

Sur le *desideratum* 1 concernant les combinaisons possibles de disciplines, il appert que cette famille de modèles contraint *a priori* les disciplines pouvant être combinées. En effet, celle-ci, en sectorisant son analyse sur les schèmes mécanistiques, ne peut permettre de conceptualiser tous les cas d'interdisciplinarité. Un exemple évident de cela peut être trouvé dans les disciplines dont les explications ne sont pas de type mécanistique, e.g. la théologie. Conséquemment, dans l'ensemble  $I$ , seul un sous-ensemble restreint des cas d'interdisciplinarité théoriquement possible peut être analysé à l'aide des modèles néomécanistiques, ceux adoptant le langage des mécanismes.

Sur le *desideratum* 2 concernant les relations possibles entre des disciplines, il appert que cette famille de modèles ne peut accommoder tous les types de relations pouvant être développées. En effet, malgré le fait que les types d'intégration relevés dans la section 2.1.2 présentent une forte diversité d'apports dans la construction des schèmes mécanistiques (intraniveaux et interniveaux; intertemporelle séquentielle et continue), ces relations d'intégration sont toutes de nature mécanistique. Or, même en considérant les relations entre deux disciplines compatibles avec le langage des mécanismes, les relations possibles entre celles-ci ne sont pas nécessairement toutes de ce type. Cela peut être montré en reprenant le cas de collaboration dans le développement de représentations intégrées présenté plus haut<sup>5</sup>. En effet, le modèle développé par ROUGHGARDEN (2009) met en relation des explications tirées de la théorie des jeux (pour le niveau comportemental) et de la génétique des populations (pour le niveau évolutionnaire) pour rendre compte de la sélection de certains comportements. Or, ces explications ne sont pas mécanistiques (ou causales), mais plutôt par équilibre [equilibrium explanation]. La représentation intégrée produite n'est pas un schème mécanistique, mais plutôt un modèle optimal où, considérant plusieurs idéalizations (e.g. matrice des gains tendant vers le NBS et population de taille infinie), une stratégie optimale est désignée à la lumière de contraintes et paramètres prédéfinis, i.e. la meilleure des solutions au problème tel que posé est identifiée<sup>6,7</sup>. Ce faisant, même si plusieurs explications au sein de ces

---

5. Bien que le modèle intégré de ROUGHGARDEN (2009) ne concerne pas des disciplines comme telles, mais des unités théoriques plus petites (i.e. des champs de recherche), l'exemple reste adéquat ici. Plus encore, ce dernier renforce l'argument formulé puisque le cas à l'étude s'inscrit en sciences biologiques ce qui fait partie du domaine d'application des modèles néomécanistes.

6. Voir RICE (2015) pour plus de détails sur ce type d'explication.

7. Cette affirmation pourrait apparaître contradictoire au premier abord considérant que POTOCHNIK (2017) défend que l'un des objectifs épistémiques de la science est la découverte de patrons *causaux*. Or, tel que

champs de recherche peuvent être de nature mécanistique (e.g. le mécanisme de l'hérédité), celles-ci ne constituent pas l'ensemble de leurs *explanantia*, et donc, l'ensemble des relations de nature explicative possibles entre la théorie des jeux et la génétique des populations. Conséquemment, dans l'ensemble  $R$ , seul un sous-ensemble restreint des relations d'interdisciplinarité théoriquement possibles peut être analysé à l'aide des modèles néomécanistiques, celles adoptant le langage des mécanismes.

Pour les modèles par unité coordonnée, l'analyse suivante peut être faite.

Sur le *desideratum* 1 concernant les combinaisons possibles de disciplines, il appert que cette famille de modèles ne contraint pas *a priori* les disciplines pouvant être combinées. En effet, malgré le fait que ce cadre se focalise sur la découverte des patrons causaux par la science, deux raisons laissent croire que cela n'est pas restreignant. D'une part, tel que mentionné précédemment, l'attribution causale est très permissive dans ce cadre. En effet, un patron est considéré comme causal si et seulement si ce dernier satisfait les critères d'intervention et d'invariance de l'approche manipulationniste de WOODWARD (2003) (voir définition 17). Or, cela inclut une multitude de patrons qui, dans d'autres conceptions de la causalité, ne seraient pas qualifiés de causaux, e.g. modèle de ROUGHGARDEN (2009). POTOCHNIK (2017) accorde ce désaccord en mentionnant que « tous ceux qui sont distraits par mon adhésion à une approche manipulationniste de la causalité sont libres de simplement renommer ce que j'appelle patrons causaux "patron manipulationniste" [manipulability patterns] et de mettre de côté la question de la causalité » (p. 32-33). Ainsi, sur le *desideratum* 1, les modèles par unité coordonnée ne rencontrent pas le même problème que les modèles néomécanistes, i.e. ne se limite pas les possibilités de combinaisons aux disciplines ayant des explications mécanistiques. D'autre part, le rôle des idéalizations dans la mise en lumière de patrons causaux

---

mentionné dans la note de bas de page associée à la définition de ce concept (voir définition 17), la conception de la *causalité* défendue par cette dernière est nettement plus libérale que les conceptions communes (incluant celle des philosophes néomécanistes). En effet, cette dernière distingue trois variétés d'approches causales de l'explication : (a) l'approche manipulationniste de WOODWARD (2003); (b) l'approche kairétique de STREVENSON (2008); et (c) l'approche causale mécanique de SALMON (1984). La proposition de POTOCHNIK (2017) s'inscrit explicitement dans l'approche (a) (voir section 2.2.1). A contrario, cette dernière identifie l'inspiration pour les néomécanistes dans l'approche (c) (voir POTOCHNIK (2017, p. 135)). Ce faisant, c'est parce que la conception de ce qui constitue une explication causale est plus large (inclus explication par équilibre [equilibrium explication]) est plus large qu'il y a équivocité ici. Or, bien que l'ensemble des explications reconnues comme causales chez les néomécanistes sont aussi considérées comme causales pour POTOCHNIK (2017), l'inverse n'est pas vrai. Pour plus de détails sur la différence entre ces approches causales de l'explication, voir POTOCHNIK (2017, section 5.2)

permet la considération, au sein de ce cadre, de disciplines pour lesquelles la découverte de ce type de régularité n'est pas un objectif. Par exemple, discutant des explications incluant des entités fictives (ces dernières ayant nécessairement un pouvoir causal nul), POTOCHNIK (2017) mentionne qu'« [i]l n'est pas nécessaire d'attribuer des pouvoirs causaux à des entités fictives afin de qualifier de telles explications de causales (p. 144). En effet, ces idéalizations ont pour rôle d'augmenter la saillance du patron causal d'intérêt dans les représentations visant à les expliquer (e.g. en postulant des populations de taille infinie en génétique des populations), et donc, la relation de dépendance explicative reste fonction du phénomène. En d'autres termes, l'introduction d'une entité fictive, i.e. externe à la génération du phénomène d'intérêt, en permettant d'exposer un patron causal, i.e. interne à la génération du phénomène d'intérêt, participe à l'explication causale de celui-ci. Ainsi, toutes disciplines dont les explications ne sont pas mécanistiques peuvent tout de même participer à la découverte de patrons causaux en fournissant de nouvelles idéalizations permettant d'augmenter la saillance de ceux-ci. Considérant ces deux raisons, i.e. la conception de la causalité de façon libérale et le rôle des idéalizations dans l'étude des patrons causaux, il ne semble pas y avoir de contraintes *a priori* sur les combinaisons possibles de disciplines au sein de ce cadre. Conséquemment, dans l'ensemble  $I$ , la totalité des cas d'interdisciplinarité théoriquement possibles peuvent être analysés à l'aide des modèles par unité coordonnée.

Sur le *desideratum* 2 concernant les relations possibles entre des disciplines, il appert que cette famille de modèles ne peut pas accommoder tous les types de relations pouvant être développées. En effet, bien que les types d'intégration relevés dans la section 2.2.2 présentent une grande diversité quant aux éléments des diverses disciplines pouvant être mobilisés<sup>8</sup>, ce ne sont pas toutes les interactions possibles qui peuvent ainsi être accommodées. Cela peut être montré en reprenant le cas d'intégration méthodologique présenté plus haut. En effet, le cas de la biologie du bruit rapporté par O'MALLEY et SOYER (2012) met en relation des *methodi* différentes permettant ainsi d'exposer de nouveaux phénomènes, i.e. de nouveaux *explananda*. Or, ce cas peut difficilement être analysé comme l'un des trois types d'intégrations présentés par POTOCHNIK (2011) et POTOCHNIK (2017). Cela peut être montré en

---

8. La collaboration dans le dépassement des différences entre les champs de recherche présente un exemple de cela en permettant de rendre compte des interactions de clarifications terminologiques (voir exemple du terme gène). Ce type d'interaction ne pourrait être conceptualisé par le modèle néomécaniste, ce dernier limitant son analyse aux schèmes mécanistiques. En ce sens, le modèle par unité coordonnée est plus inclusif au niveau des interactions entre des champs de recherche qu'il permet de conceptualiser.

bloc. (a) Le tri des interactions causales consiste en la désintrinsication des influences causales générant un phénomène, et donc, ne vise pas à la découverte de nouveaux *explananda*. Il pourrait être soutenu que la combinaison de *methodi* a mis en lumière de nouveaux patrons causaux et que, ce faisant, un tri a pu être effectué entre des influences causales connues et d'autres inconnues jusqu'alors. Or, il existe une différence apparente entre le cas de la détermination des influences causales concernant l'apparition de la queue colorée des paons mâles et l'observation d'une fluctuation stochastique inattendue dans les activités métaboliques des cellules. Dans le premier cas, des *explanantia* de différents champs de recherche sont mobilisés dans l'étude d'un *explanandum*; et dans le second cas, des *methodi* de différents champs de recherches sont mobilisées dans l'étude d'un *explanandum*, générant des *explanada* supplémentaires. (b) Le dépassement des différences consiste en la résolution des problèmes d'incompatibilité entre des champs de recherche, et donc, exclu le cas de la biologie du bruit où les méthodes étaient vues comme complémentaires, i.e. compatibles. Il pourrait être soutenu que l'intégration méthodologique dans ce cas a mis en lumière des faits incompatibles avec ceux reconnus par les champs de recherche impliqués et que cela a entraîné la création d'un troisième champ permettant de résoudre ce problème. Or, il est faux d'affirmer que la collaboration dans le dépassement des différences entre des champs de recherche est faite de façon préalable à l'existence de l'incompatibilité. Et même si cela était le cas, la biologie du bruit ne vient pas résoudre des problèmes de compatibilité entre les deux champs initiaux, mais vise plutôt à produire des *explanantia* pour ces nouveaux *explananda*. (c) Le développement de représentations intégrées consiste en la production de modèles explicatifs complexes dont la portée explicative est limitée à l'intégration d'*explanantia* préexistants. Or, dans le cas de la biologie du bruit, de nouveaux *explanantia* ont dû être produits pour expliquer les nouveaux *explananda*. Il pourrait être soutenu que les représentations de ces phénomènes incluent nécessairement des éléments explicatifs des champs de recherches préexistants dont les *methodi* ont été combinées, et donc, que la représentation est nécessairement intégrée. Or, le rôle de ce type de représentation est d'illustrer les diverses influences causales de façon simultanée (voir définition 23), influences causales ayant été traitées, initialement, séparément. Ce cas ne peut donc pas être rapporté à ce type de collaboration puisque les patrons causaux incarnés par les phénomènes observés n'avaient pas été traités jusqu'alors. Ce faisant, les modèles par unité coordonnée ne peuvent accommoder tous les types de relations possibles

entre des disciplines, e.g. l'intégration méthodologique. Conséquemment, dans l'ensemble  $R$ , un sous-ensemble large des relations d'interdisciplinarité théoriquement possibles peut être analysé à l'aide des modèles par unité coordonnée, mais pas la totalité de celles-ci.

Pour les modèles interchamps, l'analyse suivante peut être faite.

Sur le *desideratum* 1 concernant les combinaisons possibles de disciplines, il appert que cette famille de modèles ne contraint pas *a priori* les disciplines pouvant être combinées. En effet, malgré le fait que ce cadre se focalise sur les champs de recherche et leurs composantes conceptuelles, il est difficile d'imaginer un cas de combinaison de disciplines ne pouvant être traduit en ces termes. Le contenu conceptuel d'un champ est très général (e.g. la nature des *explanantia* n'est pas définie) et celui-ci accepte une certaine variabilité (e.g. la présence de concepts, lois et théories de même que d'un lexique particulier étant optionnel, voir définition 24). Une façon de montrer l'inaptitude cette famille de modèles à rendre compte de toutes les combinaisons possibles de disciplines serait d'identifier un cas où, suivant la définition 24, soit (a) les composantes conceptuelles ne peuvent être réduites à celles d'un champ, i.e. cas dont l'extension serait plus grande que celle du concept de champ, ou soit (b) les composantes essentielles d'un champ ne sont pas toutes présentes, i.e. cas dont l'extension serait plus petite que celle du concept de champ<sup>9</sup>. Or, même en postulant qu'un tel cas puisse être identifié, il n'est pas assuré que cela mette à mal la capacité de ce modèle à répondre au *desideratum* 1. Par exemple, puisque dans sa forme actuelle le modèle accommode déjà, tel que mentionné, une certaine variabilité dans le contenu conceptuel d'un champ, rien ne laisse croire qu'à la lumière d'un nouveau cas, d'autres composantes conceptuelles ne puissent aussi être identifiées comme variables. Si le cas à la forme (a), la proposition pourrait être amendée pour ajouter une nouvelle composante possible, variable ou non. Si le cas à la forme

---

9. Il pourrait être défendu que des éléments tels la présence d'une communauté de recherche et d'un soutien institutionnel pourraient servir à soutenir que les disciplines ne sont pas équivalentes à des champs de recherche. Cette affirmation serait justifiée dans le cas où le concept de champs visait à rendre compte des aspects sociologiques de la recherche scientifique. Or, cela dépasse la portée de la proposition de DARDEN et MAULL (1977). Cela est explicite dans le passage suivant : « Bien sûr, nous pourrions tenter d'associer les facteurs institutionnels et sociologiques aux éléments d'un champ de recherche, mais une telle tentative ne servirait pas l'objectif de notre discussion. Nous nous intéressons aux changements conceptuels, et non sociologiques ou institutionnels. Ainsi, les éléments d'un champ sont conceptuels, et non sociologiques, d'intérêt primordial pour le philosophe et non pour le sociologue » (DARDEN et MAULL 1977, p. 44). Ce faisant, pour instancier une critique suivant cette forme d'argument, il faudrait montrer qu'il est impossible d'offrir une représentation conceptuelle d'une discipline à l'aide d'un champ. *Contra* la possibilité d'un tel argument, voir les arguments fournis contre la possibilité de (a) et (b)

(b), e.g. ce dernier ne possède pas de technique ni de méthodes, la proposition pourrait être amendée pour rendre cette composante optionnelle. En effet, comme la conception de champ de recherche a été produite par l'étude de plusieurs cas en sciences biologiques, il serait erroné de soutenir de l'observation de cas supplémentaires serait délétère pour le modèle. Considérant la généralité et la capacité à accommoder la variabilité des modèles interchamps, il ne semble pas y avoir de contraintes *a priori* sur les combinaisons possibles de disciplines au sein de ce cadre. Conséquemment, dans l'ensemble  $I$ , la totalité des cas d'interdisciplinarité théoriquement possibles peuvent être analysés à l'aide des modèles interchamps.

Sur le *desideratum* 2 concernant les relations possibles entre des disciplines, il appert que cette famille de modèles permet d'accueillir tous les types de relations pouvant être développées. En effet, les types d'intégration relevés dans la section 2.3 présentent, à la fois, une grande généralité, e.g. accueillant autant les modèles explicatifs mécanistes que statistiques, et une granularité très fine, e.g. accueillent des sous-types d'intégration des *data* (voir note de bas de page 112). Ainsi, il est difficile de concevoir un type d'interaction entre des disciplines qui ne pourrait être analysé à l'aide de ces modèles. En effet, si l'*intégration entre des idées*, pour reprendre la formule de BRIGANDT (2013), représente l'ensemble des interactions dont au moins un élément conceptuel est mobilisé dans un questionnement impliquant des disciplines, alors un contre exemple consisterait en l'intégration d'éléments ne pouvant être conceptualisés. Or, cela est absurde. Plus encore, même si un tel cas pouvait être imaginé, ce modèle resterait celui permettant d'accueillir la plus grande variété de relations d'interdisciplinarité de l'ensemble des modèles ici analysés<sup>10</sup>. Conséquemment, dans l'ensemble  $R$ , au mieux, la totalité des relations d'interdisciplinarité théoriquement possibles peuvent être analysées à l'aide des modèles interchamps; au pire, un sous-ensemble large des relations d'interdisciplinarité théoriquement possibles peut être analysé à l'aide des modèles interchamps, i.e. l'ensemble des relations d'interdisciplinarité impliquant des éléments conceptualisables.

À la lumière des *desiderata* 1 et 2 et de la présente analyse dont les résultats sont synthétisés dans le tableau 3.1, il apparaît que les modèles interchamps sont les plus aptes à être exportés en philosophie de l'interdisciplinarité.

---

10. Cette plus grande généralité est, par ailleurs, soulignée par POTOCHNIK (2011) où, discutant de sa proposition, elle souligne qu'« [i]l s'agit d'une conception plus étroite de l'unité que l'éventail de connections interchamps préconisés par DARDEN et MAULL (1977) et GRANTHAM (2004), et elle est plus large que l'accent mis sur les mécanismes que BECHTEL (1984) et CRAVER (2005) préconisent » (p. 310).

**Tableau 3.1.** Résultats de l'évaluation des capacités analytiques de trois familles de modèles de l'intégration développés en philosophie de la biologie présentés selon les différences de cardinalité dans leur sous-ensemble analysable des ensembles théoriques  $I$  et  $R$  tel que définis par les *desiderata* 1 et 2.

Familles de modèles	Ensembles analysables	
	<i>Desideratum 1</i>	<i>Desideratum 2</i>
Néomécanistes	$I_{neo}$ où $ I_{neo}  <  I $	$R_{neo}$ où $ R_{neo}  <  R $
Unité coordonnée	$I_{uc}$ où $ I_{uc}  =  I $	$R_{uc}$ où $ R_{uc}  <  R $
Interchamps	$I_{inter}$ où $ I_{inter}  =  I $	$R_{inter}$ où $ R_{inter}  \leq  R $
Comparaison	$ I_{neo}  <  I_{uc}  =  I_{inter}  =  I $	$ R_{neo}  <  R_{uc}  <  R_{inter}  \leq  R $

### 3.1.3. Résumé

Deux *desiderata* auxquels doit répondre tout modèle de l'intégration en philosophie de l'interdisciplinarité peuvent être identifiés. D'une part, le modèle doit pouvoir permettre l'analyse de tous les cas d'interdisciplinarité possibles. D'autre part, le modèle doit permettre l'analyse de tous les types de relation entre les disciplines en situation d'interdisciplinarité. Ces besoins conceptuels peuvent être utilisés comme critère de sélection pour identifier l'aptitude d'un modèle développé en philosophie de la biologie à être exporté en philosophie de l'interdisciplinarité. Les trois familles de modèles présentés au chapitre 2 ont ainsi pu être comparées quant à leur capacité à répondre à ces *desiderata*. Les modèles néomécanistes se sont montrés *inaptes* à répondre à ces critères. En effet, ces derniers ne s'appliquent qu'aux disciplines adoptant le langage des mécanismes. De même, ces derniers ne peuvent rendre compte des relations explicatives non mécanistiques (e.g. modèle intégré de ROUGHGARDEN (2009)). Les modèles par unité coordonnée se sont montrés *partiellement aptes* à répondre à ces critères. En effet, ils ne semblent pas présenter de contraintes *a priori* quant à leur application aux diverses disciplines, notamment due à leur conception *libérale* de la causalité et le rôle important des idéalizations dans l'étude des patrons causaux. Par contre, ces derniers ne peuvent rendre compte des relations non explicatives (e.g. l'intégration méthodologique dans le cas de la biologie du bruit rapporté par O'MALLEY et SOYER (2012)). Les modèles interchamps se sont montrés comme *apparemment apte* à répondre à ces critères. En effet, ils ne semblent pas présenter de contraintes *a priori* quant à leur application aux diverses



disciplines, notamment due à leur généralité et la variance accommodée par la notion de champs de recherche. De même, ces derniers, en s'intéressant à l'*intégration entre des idées*, rendent difficile de concevoir un type de relation qui ne pourrait être accommodé, et même si cela était le cas, cette proposition est contrastivement la plus apte des trois propositions à être exportée en philosophie de l'interdisciplinarité.

## 3.2. Deux modèles d'intégration rivaux

Peu de critiques ont été formulées à l'égard de la proposition de O'MALLEY et SOYER (2012) ni même aux propositions apparentées (e.g. BRIGANDT (2010), LEONELLI (2013) et LEONELLI (2016)) ou intégrant celle-ci dans un cadre plus large (e.g. O'ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN (2016)). Ainsi, l'article de NATHAN (2015) se démarque notamment par son rejet de cette dernière au profit d'un modèle alternatif. Ce dernier formule deux critiques au modèle de O'MALLEY et SOYER (2012), de même qu'aux modèles apparentés, soit le manque de force normative et l'indistinction des degrés d'unification (intégration)<sup>11</sup>. Ces dernières seront ici, pour commencer, explicitées pour mettre en lumière leurs tenants. Du même coup, il deviendra nécessaire d'introduire le modèle de NATHAN (2015), construit autour de la relation de pertinence explicative entre des champs de recherche, pour illustrer les caractéristiques d'un modèle considéré comme adéquat. Pour terminer, la validité des deux critiques pour le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) sera examinée. Il sera ainsi mis en lumière que ces dernières ne sont, dans les faits, que partiellement effectives.

### 3.2.1. *Contra* O'MALLEY et SOYER (2012)

Les critiques de NATHAN (2015) envers le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) sont indirectes. En effet, ces dernières visent l'ensemble des modèles tirés de la *lignée* de

---

11. Sur la distinction entre *intégration*, *synthèse* et *unification*, NATHAN (2015) précise la chose suivante de la façon suivante : « je vais [ici] honorer la longue tradition, employant 'unité' comme désignant un large — peut-être globale — état de la science, réservant 'synthèse' pour des connexions locales entre deux disciplines (e.g. la psychologie et neuroscience), et 'intégration' pour les connexions encore plus localisées, spécifiques à un problème ou une question (p. 164-165) » (une distinction similaire est rencontrée chez BRIGANDT (2010)). Chez NATHAN (2015), ces trois concepts diffèrent seulement en degré et ainsi, ils doivent tous trois être compris lorsqu'il utilise le terme 'unification'. En effet, pour lui, « il y a quelque chose qui sous-tend toutes intégrations locales, quelque chose qui nous permet d'appliquer le même concept — unifications, synthèse, intégration et autre — à tous les niveaux, à savoir la relation de pertinence explicative » (p. 178-179). Sur la pertinence explicative, voir section 3.2.2.

théories interchamps<sup>12</sup>. Il reproche à ceux-ci leur incapacité à rendre compte de deux *desiderata* auxquels devraient répondre (selon NATHAN (2015)) toute conception générale de l'intégration en sciences :

***Desideratum 3***

Un modèle d'intégration doit permettre « de justifier l'importance de l'unification pour le progrès scientifique » (NATHAN 2015, p. 169).

***Desideratum 4***

Un modèle d'intégration doit « fournir des critères généraux pour identifier les différentes étapes d'une synthèse et comparer les degrés d'unification entre les domaines de la science » (NATHAN 2015, p. 169).

Ainsi, les deux critiques de NATHAN (2015) envers le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) se résument à son incapacité à répondre à ces deux *desiderata*, critiques qui seront ici explorées.

Sur la problématique de la force normative des propositions basées sur les théories interchamps, NATHAN (2015) la résume ainsi : « [m]ême en concédant que les modèles interchamps [...] décrivent de façon précise la pratique d'unification scientifique, ils échouent à expliquer pourquoi l'unification est (ou devrait être) importante dans l'entreprise scientifique » (p. 168). Il précise cette lacune en rapportant, comme comparatif, les avantages des interprétations réductionnistes de l'unification. En effet, celles-ci avaient pour double avantage de fournir à la fois une description et une justification normative pour ce type de relation. Par exemple, NATHAN (2015) souligne que OPPENHEIM et PUTNAM (1958), en défendant une unité métaphysique de la nature, pouvaient soutenir que « les scientifiques devraient tenter de réduire (d'unifier) les théories puisque la science possède une fondation métaphysique unique et cohérente et que, conséquemment, l'unification est une façon de permettre le progrès scientifique » (p. 168). Ainsi, l'argument de NATHAN (2015) peut être

---

12. NATHAN (2015) s'attaque aussi aux modèles mécanistes de l'unification. Par cela, il entend les approches où « la structure des sous-champs de la biologie est comprise non comme un ensemble de lois ou de théories, mais comme des 'schémas mécanistiques' » (p. 168). NATHAN (2015) rattache cette *lignée*, dont l'accent est mis sur les explications mécanistes, aux travaux de BECHTEL (1993) et BECHTEL (2006) et, plus récemment, à ceux de DARDEN (2006), CRAVER (2007), BAETU (2011) et CRAVER et DARDEN (2013). Bien que les critiques de NATHAN (2015) soient les mêmes pour la conception mécaniste de l'unification, certaines variantes dans l'application de celles-ci font qu'ici, pour des considérations d'espace et de pertinence du propos, ces critiques seront laissées de côté. Pour plus de détails, se référer à NATHAN (2015, section 3 et 5).

formalisé en l'argument suivant :

### Argument 2 : Critique 1 de NATHAN (2015)

- (1) Toute conception générale de l'intégration en science doit pouvoir satisfaire les *desiderata* 3 et 4;
  - (2) Si un modèle d'intégration aspire à répondre au *desideratum* 3, alors il doit offrir à la fois une description adéquate de l'intégration et montrer en quoi cela constitue un objectif épistémique ;
  - (3) Or, les modèles interchamps ne permettent pas de montrer en quoi l'intégration constitue un objectif épistémique ;
  - (4) Ainsi, les modèles interchamps ne peuvent répondre au *desideratum* 3 ;
- ∴ Les modèles interchamps ne fournissent pas une conception générale de l'intégration en science.

NATHAN (2015) ne défend évidemment pas ici les modèles réductionnistes de l'unification<sup>13</sup>, mais essaie plutôt de souligner que les alternatives proposées (e.g. théorie interchamps) laissent de côté un aspect important de l'unification, i.e. son importance pour le progrès scientifique.

La seconde critique de NATHAN (2015) se résume à un second manquement à savoir que « les interprétations interchamps [...] sont de peu d'utilité pour évaluer les différents stades et degrés du processus d'unification » (p. 169). Il précise cette dernière en reconnaissant que certaines interprétations (viz. KINCAID (1990) et GRANTHAM (2004)), où les relations d'interconnexions sont formulées plus explicitement, permettent de spécifier la limite *supérieure* de l'unification. Il entend par là que « lorsque toutes les conditions sont satisfaites, les champs sont connectés par une théorie interniveau intégrée et l'unification atteint son sommet » (NATHAN 2015, p. 169). Or, ces conceptions ne permettent pas de spécifier la limite inférieure. Sur la possibilité de considérer certaines conditions comme minimales pour l'unification, NATHAN (2015) mentionne deux limites. D'une part, « traiter l'ensemble des conditions comme nécessaires est trop demandant puisque des champs peuvent être unifiés sans cela » (p. 169). Par exemple, le premier type d'interconnexion relevé par KINCAID (1990) et KINCAID (1997), i.e.  $\text{Int}(A,B) = O$ , permettrait à elle seule

---

13. NATHAN (2015) relève brièvement les problématiques rencontrées par ces interprétations dans son article, principalement sur le plan de la capacité à décrire les sciences que sur les présupposés métaphysiques associés. Considérant que l'explication de celles-ci s'éloignerait de l'objectif de la présente section, elles ne seront pas rapportées ici. Voir NATHAN (2015, section 2 et 3) pour plus de détails.

de parler d'unification dans le cas où l'ontologie de la génétique mendélienne serait épuisée par la biologie moléculaire selon NATHAN (2015). D'autre part, « traiter n'importe quel sous-ensemble de conditions comme suffisant pour l'unification est trop faible » (p. 169). Par exemple, le deuxième type d'interconnexion relevé par KINCAID (1990) et KINCAID (1997), i.e.  $\text{Int}(A,B) \neq \perp$ , ne permettrait pas de parler d'unification entre la physique et la biologie simplement parce qu'elles sont logiquement compatibles. Cette seconde critique peut donc être formalisée en l'argument suivant :

### Argument 3 : Critique 2 de NATHAN (2015)

- (1) Toute conception générale de l'intégration en science doit pouvoir satisfaire les *desiderata* 3 et 4 ;
  - (2) Si un modèle d'intégration aspire à répondre au *desideratum* 4, alors il doit permettre de spécifier la limite *inférieure* et *supérieure* des degrés d'intégration entre des champs ;
  - (3) Or, les modèles interchamps ne permettent pas de spécifier la limite *inférieure* des degrés d'intégration entre des champs ;
  - (4) Ainsi, les modèles interchamps ne permettent pas de répondre au *desideratum* 4 ;
- ∴ Les modèles interchamps ne fournissent pas une conception générale de l'intégration en science.

### 3.2.2. La proposition de NATHAN (2015)

Dans son article, NATHAN (2015), pour répondre aux lacunes mentionnées dans la section 3.2.1, propose une nouvelle conception de l'unification s'articulant autour de la pertinence explicative [explanatory relevance]. Ce type de relation entre deux champs se définit ainsi :

#### Définition 32 : Pertinence explicative = $\text{Df}$

« Deux champs, A et B, sont en processus d'être unifiés si (et seulement si) ils ont une pertinence explicative l'un pour l'autre, c'est-à-dire, quand les avancements conceptuels et les résultats testables dans A sont nécessaires pour produire des *explananda* et fournir des *explanantia* dans B et, vice versa, des résultats de B sont requis pour poser et pour aborder des questions dans A [i.e.  $\text{P}_E(A,B) =_{\text{Df}} A \cap B = \{ \textit{explananda}, \textit{explanantia} \}$ ]. » (NATHAN 2015, p. 176)

Cette proposition va donc focaliser l'unification sur la production d'*explananda* ou d'*explanantia*. Ainsi, c'est lorsque deux champs vont mutuellement se fournir des intrants permettant de nouvelles explications et de nouveaux questionnements qu'il y aura

unification. Cette particularité est d’ailleurs mise de l’avant par NATHAN (2015) pour différencier son modèle de ceux de lignée des théories interchamps (e.g. DARDEN et MAULL (1977), KINCAID (1990), GRANTHAM (2004), O’MALLEY et SOYER (2012) et LEONELLI (2013)). En effet, il soutient que « des diverses interconnexions postulées par les théories interchamps, une seule —la pertinence explicative— se trouve au cœur de l’unification, autant pratique que théorique (NATHAN 2015, p. 176) ». Celle-ci est donc primordiale et subsume toutes les autres. NATHAN (2015) va justifier cette affirmation en exposant que la pertinence explicative est à la fois nécessaire et suffisante pour l’unification. Sur la condition de nécessité, il défend que les différentes relations entre deux champs vont voir leur « rôle dans l’unification fondé en, motivé par, et ultimement réductible à leur contribution à la pertinence explicative entre les champs (NATHAN 2015, p. 177) », i.e. que sans la pertinence explicative, les autres relations ne peuvent être établies. Sur la condition de suffisance, il soutient que tout type d’intégration (conceptuel, pratique, ou autre) « peuvent être compris comme faisant partie de l’effort explicatif, si la notion d’explication est conçue assez largement » (NATHAN 2015, p. 177). Ici, NATHAN (2015) adopte une conception dite *libérale* de l’explication où celle-ci n’est pas « exclusivement mécaniste, réductive ou associée à des modèles causaux » (p. 177). Par exemple, le cas d’une relation exclusivement pratique (e.g. interconnexion pratique de GRANTHAM (2004)), à la lumière de cette conception de l’explication, est considéré comme participant à l’effort explicatif, et donc, à la pertinence explicative. Ce faisant, cette dernière est concomitante à toute unification d’où le corollaire 1.

### **Corollaire 1**

De l’intégration entre deux champs, A et B, e.g. méthodologique ou des *data*,  
il découle, ultimement, une relation de pertinence explicative, i.e.  $(\text{Int}_{A \cap B} \neq \emptyset)$   
 $\rightarrow P_E(A, B)$

Pour défendre la supériorité de son modèle, NATHAN (2015) montre comment celui-ci permet de répondre aux deux *desiderata* sur lesquels il a fondé ses critiques des autres modèles<sup>14</sup>, i.e. l’absence de justification normative pour l’unification et l’indistinction entre les degrés d’unification. Cette démonstration a pour intérêt de permettre l’identification de plusieurs autres corollaires d’intérêt de sa conception qui seront rapportés ici en bloc.

---

14. Cet argument ne sera pas explicité ici. Voir NATHAN (2015, section 4 et 5) pour justification à l’aide du cas de la synthèse entre la biologie développementale et la biologie évolutive (i.e. évo-dévo).

Sur la justification normative de l'unification, NATHAN (2015) ajoute deux clarifications d'intérêt ici. D'une part, l'apport de NATHAN (2015), par rapport aux modèles interchamps, est de sectoriser la force normative de l'intégration en la relation de pertinence explicative entre des champs. En effet, ce type particulier de relation permettrait l'obtention de gains épistémiques en science et c'est cet aspect qui permettrait de la justifier. Plus explicitement,

l'unification est un objectif scientifique important parce qu'elle permet aux chercheurs de formuler de nouvelles questions, d'élargir l'éventail des *explananda* et de préciser comment résoudre celles-ci, enrichissant ainsi le sac d'*explanantia*. (NATHAN 2015, p. 178)

En d'autres termes, sans l'unification, certaines questions ne peuvent être posées ni répondues<sup>15</sup>. Cette précision nous permet de détailler la définition d'un gain épistémique pour NATHAN (2015) en contexte d'intégration :

**Définition 33 : Gain épistémique** =<sub>Df</sub>  
possibilité de formuler de nouveaux *explananda* et de nouveaux *explanantia*  
par la mise en relation des champs A et B, i.e. Gain épistémique =<sub>Df</sub> ( $P_E(A,B)$   
 $\rightarrow \{explananda, explanantia\}) \wedge (\neg P_E(A,B) \rightarrow \neg\{explananda, explanantia\})$

D'autre part, sa conception de l'unification doit être comprise comme « aussi 'locale' que les conceptions typiques de l'intégration, au sens où il n'est pas présupposé un portrait de la science unifié métaphysiquement ou méthodologiquement (NATHAN 2015, p. 178) ». Ainsi, bien que l'unification soit conçue ici comme un objectif général en science, les analyses en ce sens doivent être réalisées sur des cas particuliers, par paires de disciplines ou champs, et non sur l'ensemble des sciences dû à l'hétérogénéité des standards explicatifs entre les différents domaines de connaissances. Pour reprendre le terme de NATHAN (2015), cette interprétation « combine la flexibilité de l'intégration avec la généralité de l'unification réductive classique » (p. 179).

---

15. Sur ce point, NATHAN (2015) rapporte le cas de la biologie évolutive du développement (évo-dévo) où : « les études sur le développement indiquent des contraintes sur les trajectoires évolutives possibles des populations [et] une perspective évolutive est nécessaire pour expliquer les similitudes interspécifiques et intraspécifiques entre les mécanismes ontogénétiques » (p. 178). La relation entre ces deux champs, permettant des gains épistémiques (voir définition 33), exemplifie, selon NATHAN (2015), en quoi ce type de relation possède une force normative puisque « sans un cadre synthétique englobant à la fois les ressources de la biologie du développement et de la biologie évolutives, ces questions ne peuvent pas être posées de manière significative, et encore moins abordées » (p. 178). Voir NATHAN (2015, sections 4 et 5) pour plus de détails.

Sur la distinction des degrés d'unification, trois clarifications sont apportées, clarifications permettant de distinguer plus amplement son modèle de ceux interchamps, notamment ceux de KINCAID (1990) et KINCAID (1997) et GRANTHAM (2004). Premièrement, le gradient ici « ne repose pas sur les types de connexions interthéoriques, mais sur le nombre et le poids relatif des explications interthéoriques » (p. 179). Ce faisant, il y a début d'unification dès qu'une question est posée dans un cadre intégratif, e.g. il y a pertinence explicative entre A et B, et le degré « augmente proportionnellement au nombre et à l'importance des casse-têtes et explications posés » (p. 179). NATHAN (2015) précise que le degré d'unification n'est pas conçu de façon absolue, mais bien *contrastive* où « A et B sont plus (ou moins) unifiés qu'ils l'étaient précédemment, ou que d'autres champs C et D » (p. 179). Ces précisions nous permettent d'identifier deux corollaires supplémentaires :

### Corollaire 2

Il y a intégration entre deux champs, A et B, dès qu'une relation de pertinence explicative est établie, i.e.  $\text{Int}_{A,B} =_{\text{Df}} P_E(A,B) \neq \{\emptyset\}$

### Corollaire 3

Le degré d'intégration ( $\text{Deg}_{\text{Int}}$ ) correspond au nombre et au poids relatif des *explananda* et *explanantia* partagés par deux champs, A et B, comparative-ment à un référent (z), où z correspond à la relation de pertinence explicative (définition 32) entre deux champs A et B, à un moment différent, ou de C et D, i.e.  $\text{Deg}_{\text{Int}} =_{\text{Df}} (P_E(A,B)_T, z)$  où  $z = P_E(A,B)_T \vee P_E(C,D)$

Deuxièmement, contrairement aux interprétations tirées des modèles interchamps se limitant aux relations symétriques entre deux champs<sup>16</sup>, le modèle de NATHAN (2015) peut être amoindri pour permettre l'inclusion des relations asymétriques. En effet, « si l'unité est conçue comme pertinence explicative, il est possible que A soit pertinent pour les *explanantia* de B, tandis que les concepts et les méthodes de B ne peuvent être présentement utilisés en

---

16. Cette affirmation de NATHAN (2015) pourrait être remise en question. En effet, DARDEN (1986) avait déjà reconnu que la relation entre deux champs pouvait être asymétrique. Suite à l'analyse du cas de la synthèse moderne de l'évolution à la lumière du modèle interchamp, cette dernière mentionne que « [l']asymétrie des relations causales entre les champs [de la génétique mendélienne et de la génétique des populations] rend [...] leurs relations moins réciproques que dans les théories interchamps étudiées par le passé » (DARDEN 1986, p. 121). De même, la conception de l'unité comme interconnexion proposée par GRANTHAM (2004) visait aussi à subsumer les relations réductrices où « la réduction interthéorique est une forme particulière de cette notion plus large » (p. 140). Or, la réduction est un cas typique d'asymétrie entre deux théories, l'une réduite, l'autre réductrice. Ainsi, la véracité de cette affirmation est dubitable.

A (p. 179) ». L'amointrissement consiste ici à laisser tomber la clause *vice-versa* de la définition de la pertinence explicative (définition 32). Ainsi, il est possible d'ajouter les corollaires suivants :

**Corollaire 4**

Lorsque la relation de pertinence explicative est réciproque entre deux champs A et B, la relation est dite symétrique, i.e.  $\text{Int}_{\text{sym}} =_{\text{Df}} P_E(A,B) \rightarrow P_E(B,A)$

**Corollaire 5**

Lorsque la relation de pertinence explicative n'est pas réciproque entre deux champs A et B, la relation est dite asymétrique, i.e.  $\text{Int}_{\text{asym}} =_{\text{Df}} P_E(A,B) \rightarrow \neg P_E(B,A)$ .

L'inclusion des relations d'intégration asymétriques et symétriques permet de subsumer sous un modèle général, i.e. la pertinence explicative, à la fois les modèles d'intégration réductionnistes et non réductionnistes.

Troisièmement, cette interprétation permet de comprendre les cas d'unification temporaire tirés de l'histoire des sciences. Mentionnant l'exemple de l'embryologie et l'évolution<sup>17</sup>, NATHAN (2015) souligne que « [c]es relations historiquement transitoires —bien que présentes chez certaines interprétations de l'intégration (BRIGANDT (2010) et PLUTYNSKI (2013))— sont difficiles à réconcilier avec les interprétations traditionnelles de l'unification (p. 180) ». En effet mentionne-t-il,

[à] la fois les modèles réducteurs et non réducteurs supposent implicitement que l'unification est indépendante de l'état actuel d'un champ : une fois que deux champs sont synthétisés, ils ne peuvent être séparés que si la réduction dérivée échoue, ou si la théorie interchamp est défectueuse ; mais, dans ces cas, nous devons admettre que les deux disciplines ne se sont jamais vraiment unies en premier lieu. (NATHAN 2015, p. 180)

*A contrario*, le modèle de NATHAN (2015) permet d'inclure les cas où l'unification, par la relation de pertinence explicative, varie dans le temps. Par exemple, bien qu'à un moment précis  $T_n$  les questionnements d'intérêts d'un champ A peuvent nécessiter les intrants

---

17. NATHAN (2015) précise cet exemple ainsi : « [l]'ontogénie et la phylogénie ont été unifiées après Darwin parce que les deux cadres étaient nécessaires pour répondre à certaines questions, et ce, malgré l'absence d'explications causales et mécanistes adéquates. Les progrès ultérieurs dans le champ de la génétique ont nécessité une déconnexion disciplinaire —et, par conséquent, une perte de synthèse— afin de boitenoiriser [black box] les mécanismes développementaux, qui sont redevenus pertinents explicativement à l'évolution avec l'émergence de nouveaux puzzles et de nouvelles solutions [plus tardivement] » (p. 180).



explicatifs d'un champ B, il est possible qu'à  $T_{n+1}$  B ne soit plus essentiel. Ce faisant, la pertinence explicative ( $P_E$ ) entre les champs A et B à  $T_n > T_{n+1}$ . La proposition de NATHAN (2015) conçoit donc l'unification comme un état temporaire et réversible. Cette précision peut être incluse sous le corollaire 3 où la relation entre deux champs est toujours fonction d'un référent, dans ce cas-ci la relation entre A et B à une temporalité antérieure.

NATHAN (2015) ajoute que conçu ainsi, « la pertinence explicative permet la perte ou l'affaiblissement de l'unification dans l'intérêt de l'avancement de la recherche, bien qu'elle puisse être retrouvée à un stade ultérieur » (p. 180). On retrouve ici de façon sous-jacente l'importance de l'aspect normatif de sa proposition au sens où la pertinence explicative n'est pas d'intérêt en soi, mais bien pour les gains épistémiques espérés (voir définition 33). Ainsi, l'établissement de ce type de relation entre deux champs n'est pas toujours désirable. En ce sens, il serait possible d'extrapoler de cette proposition que certaines relations d'intégration pourraient être qualifiées de délétères pour l'entreprise scientifique, si maintenues, puisque limitant les capacités explicatives des champs impliqués. En d'autres termes, l'intégration n'est pas une fin, mais bien un moyen permettant (parfois) des gains épistémiques, mais pouvant aussi les limiter.

### 3.2.3. *Contra* NATHAN (2015)

Sur sa première critique, NATHAN (2015) précise que :

[P]uisque l'explication joue un rôle important dans les autres interprétations de l'unification, il serait erroné de soutenir que les modèles interchamps [...] ne possèdent pas les ressources pour expliquer l'importance normative de l'unification. Ici encore, mon objectif n'est pas d'offrir une alternative radicalement différente, mais plutôt d'attirer l'attention vers un aspect spécifique des modèles existants —la pertinence explicative— qui capture l'importance normative de l'unification en science (p. 178).

Deux éléments de cette citation sont d'intérêt ici pour le développement d'une réponse à cette première critique. D'une part, le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) pourrait être apte à rendre compte du *desideratum* 3. D'autre part, c'est parce que ce modèle ne se réduit pas à la pertinence explicative que cette critique serait effective. Sur le premier aspect, il est possible de montrer que la pertinence explicative est précisément saisie par l'intégration explicative, i.e. qu'il existe une équivalence entre les deux, et donc, que le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) possède une force normative (selon les termes de

NATHAN (2015)). La preuve se résume ainsi<sup>18</sup> :

**Preuve 1 : Intégration explicative  $\equiv$  Pertinence explicative**

Si l'on considère la définition de l'intégration explicative (définition 38), l'intégration explicative entre deux champs A et B, i.e. la combinaison de modèles explicatifs pour répondre à un *explanandum*, peut être reformulé en le partage entre A et B d'un ensemble d'*explanantia* considérant un *explanandum*. On retrouve ainsi la définition de la pertinence explicative (voir définition 32). La séquence inverse peut être appliquée pour montrer la converse. Ainsi, puisque la première définition implique la seconde et inversement, l'intégration explicative est équivalente à la pertinence explicative<sup>19</sup>.

Sur le second aspect, NATHAN (2015) soutient que la force normative de l'intégration se résume à la pertinence explicative. Si cela est le cas, considérant la preuve 1 de même que la définition d'un gain épistémique (voir définition 33), pour NATHAN (2015), des autres types d'intégration (méthodologique et des *data*), il devrait être impossible de développer de nouveaux *explananda* et *explanantia*, i.e. de permettre des gains épistémiques. En d'autres termes, soit ceux-ci sont réductibles à la pertinence explicative, et donc, n'ont pas de force normative *per se* ; soit ils ne possèdent pas de force normative. Cette impossibilité est ce qui rend effectif l'argument 2 et permet à NATHAN (2015) de rejeter le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) (et plus largement les modèles interchamps). Ainsi, pour contrer sa première critique sans subsumer les autres types d'intégrations à l'intégration explicative (position de O'MALLEY et SOYER (2012)), il est nécessaire de montrer que ces dernières, indépendamment, peuvent produire des gains épistémiques (suivant la définition 33).

Ces précisions permettent de spécifier les éléments qui devraient composer un contre-argument à la critique 1 de NATHAN (2015) et sont rassemblés sous le dilemme constructif suivant :

**Argument 4 : Contra critique 1 de NATHAN (2015)**

---

18. Pour l'ensemble des preuves présentées dans cette section (preuves 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9), une version formalisée des définitions d'intégrations fournies plus haut (définitions 28, 29, 30 et 31) ont été produites. La raison est que cela simplifie la mise en relation avec la définition de pertinence explicative (définition 32) qui, elle, possède une interprétation formelle, notamment à la lumière du postulat de réductibilité de toute relation d'intégration à une relation de pertinence explicative (corollaire 1) et de la définition de gains épistémiques introduite par NATHAN (2015) (définition 33). Ces formulations exactes sont présentées dans la section *Annexe* (voir page A-i) et seront directement référées dans les arguments présentés.

19. Une preuve similaire, *mutatis mutandis*, peut être offerte pour la synthèse explicative à l'aide de la définition 39.

- (1) Soit (a) la force normative de l'intégration se limite à la pertinence explicative comme NATHAN (2015) le suggère ou (b) ce n'est pas le cas ;
  - (2) Si (a), alors la critique 1 de NATHAN (2015) envers le modèle de O'Malley et Soyer est injustifiée (voir preuve 1) ;
  - (3) Si (b), alors on doit pouvoir, à partir du modèle de O'Malley et Soyer, répondre au *desideratum* 3 pour l'intégration méthodologique et l'intégration des *data* ;
  - (4) Si, à partir du modèle de O'Malley et Soyer, on parvient répondre au *desideratum* 3 pour l'intégration méthodologique et l'intégration des *data*, alors la critique 1 de NATHAN (2015) envers le modèle de O'Malley et Soyer est injustifiée ;
- ∴ Dans les deux cas, la critique 1 de NATHAN (2015) envers le modèle de O'Malley et Soyer est injustifiée.

Pour justifier les prémisses 3 et 4 de l'argument 4, la force normative de l'intégration méthodologique et des *data* sera ici successivement montrée. Sur le premier type d'intégration, la preuve va comme suit :

### **Preuve 2 : Intégration méthodologique → Gains épistémiques**

La définition de NATHAN (2015) d'un gain épistémique dans une relation d'intégration entre deux champs, A et B, se résume en le développement d'*explananda* et d'*explanantia* n'étant pas présent préalablement dans A ou B (définition 33). Il est donc nécessaire pour cette preuve de fournir au moins un cas où l'intégration méthodologique permet des gains épistémiques en ce sens. Or, le cas de la biologie du bruit présentée à la section 2.3. permet entièrement de remplir cette condition. L'intégration méthodologique y a explicitement permis de développer, à la fois, des *explananda* et *explanantia* inédits<sup>20</sup>. Donc, de l'intégration méthodologique, des gains épistémiques peuvent être obtenus.

On pourrait ici objecter que l'intégration méthodologique n'a pas directement produit de nouveaux *explanantia*, mais plutôt indirectement. En effet, il serait possible de distinguer la production d'*explananda* qui, elle, est indubitablement liée à l'intégration méthodologique, des développements explicatifs qui, *a posteriori*, ont servi à les expliquer. Soutenir cette objection consisterait à réinterpréter la définition de gains épistémique (définition 33) en rendant la production d'*explananda* suffisante, mais non nécessaire. Or, le cas de la biologie du bruit montre le développement subséquent d'*explanantia*, et donc, ne permet pas de soutenir cette révision. Ainsi, le sceptique qui voudrait soutenir cette objection devrait fournir deux choses : (a) un contre-exemple scientifique où la découverte d'*explananda* n'a pas

---

20. Dans ce cas précis, le volume d'*explananda* et d'*explanantia* a d'ailleurs été si important qu'un nouveau champ d'études a été créé.

nécessairement été suivi de la production de nouveaux *explanantia* ; et (b) une justification pour le retrait de la découverte de nouveaux faits des objectifs de la science.

Sur le second type d'intégration, une preuve similaire peut être formulée :

**Preuve 3 : Intégration des *data* → Gains épistémiques**

Reprenant les prémisses de la preuve 2, il est donc nécessaire pour cette preuve de fournir au moins un cas où l'intégration des *data* a permis des gains épistémiques, i.e. la production d'*explananda* et d'*explanantia* inédits. Or, le cas du projet TAIR présentée à la section 2.3 permet entièrement de remplir cette condition. L'intégration des *data* y a pour visée explicite, de permettre de développer, à la fois, des *explananda* et *explanantia* inédits. Donc, de l'intégration des *data*, il est possible de montrer que des gains épistémiques sont attendus.

On pourrait aussi ici formuler une objection à savoir que, comme le TAIR est en cours, il n'est pas assuré que l'intégration de *data*, *per se*, dans ce cas pourra fournir des *explananda* et *explanantia* inédits. Or, pour remplir le *desideratum* 3, il n'est pas nécessaire de produire ceux-ci, mais bien de justifier épistémiquement l'intégration. Dans le cas du TAIR, les motivations explicites pour l'intégration sont les gains épistémiques espérés.

Les preuves 1, 2 et 3 permettent de rendre effectif l'argument 4. Ainsi, la première critique de NATHAN (2015) est injustifiée, que la force normative de l'intégration se résume à la pertinence explicative ou non. Plus encore, ayant montré pour les prémisses 3 et 4 qu'il était possible de ne pas réduire la force normative de l'unification à la pertinence explicative, l'argument 2 de NATHAN (2015) se retourne contre sa propre proposition, i.e. le modèle par pertinence explicative, puisqu'il n'offre plus une description adéquate de l'intégration.

**Argument 5 : *Contra* modèle de NATHAN (2015)**

- (1) Toute conception générale de l'intégration en science doit pouvoir satisfaire les *desiderata* 3 et 4 ;
  - (2) Si un modèle d'intégration aspire à répondre au *desideratum* 3, alors il doit offrir à la fois une description adéquate de l'intégration et montrer en quoi cela constitue un objectif épistémique ;
  - (3) Or, le modèle par pertinence explicative ne fournit pas une description adéquate de l'intégration ;
  - (4) Ainsi, le modèle par pertinence explicative ne peut répondre au *desideratum* 3.
- ∴ Le modèle par pertinence explicative ne fournit pas une conception générale de l'intégration en science.

Le modèle par pertinence explicative de NATHAN (2015) ne permet donc pas de répondre aux critères que ce dernier a établis pour identifier un modèle d'intégration adéquat, i.e. satisfaisant le *desideratum* 3.

La seconde critique de Nathan (argument 3) est à la fois simple, mais d'une complexité technique certaine pour l'élaboration d'une réponse appropriée. En effet, à la fois, une réponse convenable doit mettre à mal sa critique tout en respectant le cadre développé par celui-ci. Un simple rejet des diverses affirmations de ce dernier (e.g. corollaire 1) n'aurait pas l'effet escompté de mettre à mal la critique 3 de Nathan (réponse forte), mais seulement de l'esquiver (réponse faible). Afin d'offrir une réponse forte à Nathan, il sera ici soutenu que la critique 3 de NATHAN (2015) est infondée. Pour ce faire, il sera montré que les *minima* de même que les *maxima* de l'intégration peuvent être déduits du modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) tout en respectant les différents corollaires de la proposition de NATHAN (2015), et ce, pour chacun des types d'intégration.

Pour commencer, l'analyse du second argument de NATHAN (2015) (voir argument 3) met en lumière que la lacune rapportée par celui-ci concerne l'incapacité des modèles interchamps à spécifier la limite inférieure pour l'intégration, i.e. les *minima* pour qualifier d'intégration la relation entre deux champs. En effet, pour NATHAN (2015), toute conception de l'intégration devrait pouvoir rendre compte des différents degrés de cette relation en spécifiant les limites inférieures ET supérieures. Ainsi, pour répondre à cette critique, il doit pouvoir être montré que le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) est apte à spécifier ceux-ci, et ce, pour chacun des types d'intégrations (méthodologique, *data*, explicatif). Plus encore, cette réponse doit pouvoir être reconnue comme adéquate, selon les termes de la proposition de NATHAN (2015).

À l'aide des différentes définitions d'intégration présentées plus haut, il est aisé de montrer, pour le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012), quels pourraient être les *minima* pour l'intégration (selon les divers types). En effet, suivant ces définitions, la réductibilité de tous les types d'intégration à une relation de pertinence explicative (corollaire 1), de même que la forme de la réponse que Nathan (2015) à lui-même fourni à cette exigence (voir corollaire 2), il est possible de fixer les *minima* pour chacun des types d'intégration. De façon explicite :

**Preuve 4 : Modèle de O'MALLEY et SOYER (2012)  $\vdash$  *minima* de l'intégration méthodologique**

Soit l'exemple minimal où deux champs, A et B, initient le partage d'un *methodus*  $m$  dans l'étude d'un *explanandum*<sup>21</sup>. Suivant la définition de l'intégration méthodologique (définition 36), ce cas remplit les conditions pour que la relation entre ces deux champs soit identifiée comme de l'intégration méthodologique. Suivant la réductibilité de toute relation d'intégration à une relation de pertinence explicative (corollaire 1), il y a une relation de pertinence explicative entre A et B. Suivant que les *minima* pour l'intégration est l'établissement d'une relation de pertinence explicative (corollaire 2), le partage d'au moins un *methodus*  $m$  entre A et B est le *minimum* pour qu'il y ait intégration méthodologique. Donc, à partir du modèle de O'MALLEY et SOYER (2012), il est possible de fixer les *minima* de l'intégration méthodologique.

**Preuve 5 : Modèle de O'MALLEY et SOYER (2012)  $\vdash$  *minima* de l'intégration des *data***

Soit l'exemple minimal où deux champs, A et B, initient le partage d'un *datum*  $d$  dans l'étude d'un *explanandum* sans qu'une opération supplémentaire ne soit nécessaire pour cela, i.e. le *datum* est directement utilisable par A et B<sup>22</sup>. Suivant la définition de l'intégration des *data* (définition 37), ce cas remplit les conditions pour que la relation entre ces deux champs soit identifiée comme de l'intégration des *data*. Suivant le même raisonnement que dans de la preuve 4, le partage d'au moins un *datum*  $d$ , utilisable *per se*, entre A et B est le *minimum* pour qu'il y ait intégration des *data*. Donc, à partir du modèle de O'MALLEY et SOYER (2012), il est possible de fixer les *minima* de l'intégration des *data*.

---

21. Pour assurer que le cas soit le plus minimal possible, il est nécessaire et suffisant d'à la fois restreindre au minimum le nombre et le poids des *explananda* et des *explanantia*, i.e. de construire un cas où un seul *explanandum* de même qu'un seul *explanans* sont partagés. Sans cela, d'autres cas pourraient être plus minimaux (condition de nécessité), alors que lorsque c'est le cas, tout autre cas non identique est plus maximal (condition de suffisance).

22. Comme l'objectif ici est de formuler un cas minimal d'intégration des *data*, l'application d'une opération  $\Delta$  pour rendre comparable le *datum* pour les champs A et B a été éliminé. Il est vrai qu'en apparence, suivant les *minima* pour l'intégration fixés par NATHAN (2015) (corollaire 2), un cas similaire, mais dont une opération aurait été appliquée sur le *datum* pour le rendre utilisable dans l'étude d'un *explanandum*, pourrait être considéré comme ayant le même degré d'intégration, ayant tout deux le même ensemble d'*explantia* et d'*explanada*. Or, cette interprétation est erronée n'offrant pas une traduction adéquate de l'interprétation de O'MALLEY et SOYER (2012) de l'intégration des *data* (définition 37) en termes de pertinence explicative suivant NATHAN (2015) (définition 32). En effet, trois éléments sont examinés dans la première formulation : (x) l'ensemble de questions examinées, pondérables en nombre et en poids ; (y) l'ensemble de *data* partagées, pondérable en nombre et en poids ; et (z) l'application ou non d'une opération sur celui-ci, interprétable de façon bivalente. Une traduction adéquate de ces éléments selon les termes de NATHAN (2015) serait la suivante : (x) est rapporté comme les *explananda*, (y) est rapporté comme les *explanantia*, et (z) se trouve réparti dans ces deux ensembles. En effet, l'application d'une opération  $\Delta$ , e.g. le nettoyage des *data*, est une étape qui elle-même implique la mobilisation de nouveaux *explananda* et *explanantia* pour ce faire. Or, ce faisant, ces derniers doivent être inclus dans les éléments partagés entre les deux champs impliqués. Donc, un cas tel que présenté dans la preuve 5 auquel serait appliquée une opération  $\Delta$  possède nécessairement un degré d'intégration plus grand selon les *minima* pour l'intégration fixés par NATHAN (2015) (corollaire 2).

**Preuve 6 : Modèle de O'MALLEY et SOYER (2012)  $\vdash$  *minima* de l'intégration explicative**<sup>23</sup>

Soit l'exemple minimal où deux champs, A et B, initient le partage d'un modèle explicatif  $e$  dans l'étude d'un *explanandum* sans qu'un cadre explicatif ne soit nécessaire, i.e. le modèle explicatif est utilisable, sans médiation, par A et B<sup>24</sup>. Suivant la définition de l'intégration explicative (définition 38), ce cas remplit les conditions pour que la relation entre ces deux champs soit identifiée comme de l'intégration explicative. Suivant le même raisonnement que dans de la preuve 4, le partage d'au moins un modèle explicatif  $e$ , utilisable *per se*, entre A et B est le *minimum* pour qu'il y ait intégration explicative. Donc, à partir du modèle de O'MALLEY et SOYER (2012), il est possible de fixer les *minima* de l'intégration explicative.

Les preuves 4, 5 et 6 permettent de faire tomber la critique 3 de NATHAN (2015) contre le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012), mais ne permet entièrement de rejeter l'argument 3. Cela vient du fait que l'argument cible plus largement la capacité des modèles interchamps à rendre compte des degrés d'intégration entre deux champs (*desideratum* 4), i.e. d'en spécifier les *minima* et les *maxima*. Or, NATHAN (2015) ne reconnaît explicitement cette dernière capacité que pour les modèles de KINCAID (1990) et KINCAID (1997) et GRANTHAM (2004). Ainsi, pour récuser la critique 3 de NATHAN (2015) dans toute sa force, il est nécessaire que montrer qu'à partir du modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) il est possible de spécifier les *maxima* de l'intégration. Ici aussi, la réponse doit pouvoir être considérée comme adéquate selon les termes de la proposition de NATHAN (2015).

En reprenant les définitions d'intégration introduites plus haut, il est possible de montrer que le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) est à même de spécifier une limite supérieure à l'intégration, et ce, pour chacun des types introduits par ceux-ci. En effet, couplé à la réductibilité de tous les types d'intégration à une relation de pertinence explicative (corollaire 1) et à l'aspect contrastif des degrés d'intégrations de la proposition de NATHAN (2015) (corollaire 3), il est possible de fixer les *maxima* pour chacun des types d'intégration. De façon explicite :

**Preuve 7 : Modèle de O'MALLEY et SOYER (2012)  $\vdash$  *maxima* de l'intégration méthodologique**

Soit l'exemple maximal où deux champs, A et B, partagent l'ensemble de leurs *methodi* et d'un ensemble d'*explananda* plus grand que la somme de ceux

---

23. La preuve 6 pourrait être reprise pour une démonstration similaire à propos de la détermination des *minima* pour une relation de synthèse explicative (définition 39) entre deux champs. Or, cela est laissé en suspens, sortant du cadre de la présente analyse.

24. Le même raisonnement que la note de bas de page 22 concernant l'intégration des *data* s'applique ici pour l'élimination du cadre explicatif  $\sigma$  dans l'élaboration de ce cas minimal d'intégration explicative.

contenus dans A et B<sup>25</sup>. Suivant la définition de l'intégration méthodologique (définition 36), ce cas remplit les conditions pour que la relation entre ces deux champs soit identifiée comme de l'intégration méthodologique. Suivant la réductibilité de toute relation d'intégration à une relation de pertinence explicative (corollaire 1), il y a une relation de pertinence explicative entre A et B. Suivant que le degré d'intégration d'une relation de pertinence explicative s'évalue contrastivement (corollaire 3), tout autre cas est nécessairement soit égal ou inférieur au cas de A et B sur ce paramètre. Il s'ensuit que le partage de l'ensemble de leurs *methodi* et d'un ensemble d'*explanandum* plus grand que la somme de ceux contenus dans A et B est le degré maximal (maximum) d'intégration méthodologique entre A et B. Donc, à partir du modèle de O'MALLEY et SOYER (2012), il est possible de fixer les *maxima* de l'intégration méthodologique.

### **Preuve 8 : Modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) ⊢ *maxima* de l'intégration des *data***

Soit l'exemple maximal où deux champs, A et B, partage l'ensemble de leurs *data* *d* au sein d'une base de *data*<sup>\*</sup>, produite par l'application d'une opération  $\Delta$ <sup>26</sup>, dans l'étude d'un explanandum. Suivant la définition de l'intégration des *data* (définition 37), ce cas remplit les conditions pour que la relation entre ces deux champs soit identifiée comme de l'intégration des *data*. Suivant la réductibilité de toute relation d'intégration à une relation de pertinence explicative (corollaire 1), il y a une relation de pertinence explicative entre A et B. Suivant que le degré d'intégration des *data* d'une relation de pertinence explicative s'évaluent contrastivement (corollaire 3), tout autre cas est nécessairement soit égal ou inférieur au cas de A et B sur ce paramètre. Il s'ensuit que le partage l'ensemble de leurs *data* au sein d'une base de *data*<sup>\*</sup>, produite par l'application d'une opération  $\Delta$ , est le degré maximal (maximum) d'intégration des *data*

---

25. Pour assurer que le cas soit le plus maximal possible, il est nécessaire et suffisant d'à la fois d'accroître au maximum le nombre et le poids des *explananda* et des *explanantia*, i.e. de construire un cas où *plus que* l'ensemble des *explananda* de même que l'ensemble des *explanantia* sont partagés. Sans cela, d'autres cas pourraient être plus maximaux (condition de nécessité), alors que lorsque c'est le cas, tout autre cas non identique est plus minimal (condition de suffisance). Il est à noter ici que l'intégration méthodologique entre deux champs peut parfois générer de nouveaux *explananda* (e.g. cas de la biologie du bruit, voir section 2.3). Ainsi, la construction d'un cas maximal doit pouvoir accommoder cela d'où la mention qu'un cas maximal possède plus d'*explananda* que la somme contenue dans les deux champs impliqués.

26. Concernant la nécessité d'inclure l'application d'une opération  $\Delta$  dans la construction d'un cas maximal d'intégration des *data*, un raisonnement inverse à celui de la note de bas de page 22 peut être mobilisé. En effet, l'application d'une opération  $\Delta$ , e.g. le nettoyage des *data*, est une étape qui elle-même implique la mobilisation de nouveaux *explananda* et *explanantia* pour ce faire. Ainsi, un cas maximal doit comprendre celle-ci. Ici, l'analyse considère l'application d'une opération  $\Delta$  comme bivalente (application ou non-application). Il est, par contre, évident que certaines opérations mobilisent plus d'*explananda* et d'*explanantia* (e.g. nettoyage d'une base de *data* contrastivement à l'élaboration d'une interface permettant de travailler sur une base de *data*). Ce dernier point est laissé de côté dans la présente analyse au profit de l'idéalisation ici utilisé puisque l'évaluation du poids respectif des *explananda* et *explanantia* pour les différentes opérations dépasse le présent cadre.



entre A et B. Donc, à partir du modèle de O'MALLEY et SOYER (2012), il est possible de fixer les *maxima* de l'intégration des *data*.

**Preuve 9 : Modèle de O'MALLEY et SOYER (2012)  $\vdash$  *maxima* de l'intégration explicative**<sup>27</sup>

Soit l'exemple maximal où deux champs, A et B, partagent l'ensemble de leurs modèles explicatifs, au sein d'un cadre explicatif  $\sigma$ <sup>28</sup>, dans l'étude d'un *explanandum*. Suivant la définition de l'intégration explicative (définition 38), ce cas remplit les conditions pour que la relation entre ces deux champs soit identifiée comme de l'intégration explicative. Suivant la réductibilité de toute relation d'intégration à une relation de pertinence explicative (corollaire 1), il y a une relation de pertinence explicative entre A et B. Suivant que le degré d'intégration d'une relation de pertinence explicative s'évalue contrastivement (corollaire 3), tout autre cas est nécessairement soit égal ou inférieur au cas de A et B sur ce paramètre. Il s'ensuit que le partage des l'ensemble de leurs modèles explicatifs e au sein d'un cadre explicatif  $\sigma$  est le degré maximal (maximum) d'intégration explicative entre A et B. Donc, à partir du modèle de O'MALLEY et SOYER (2012), il est possible de fixer les *maxima* de l'intégration explicative.

Les preuves 7, 8 et 9 permettent de rejeter entièrement l'argument 3 de NATHAN (2015) contre le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012). En effet, il a pu être montré que ce modèle est apte à préciser les *minima* et *maxima* de l'intégration pour les trois types d'intégration, et ce, suivant les termes de NATHAN (2015). Ce faisant, il a pu être montré que l'argument 3 est inefficace concernant la proposition de O'MALLEY et SOYER (2012). Donc, il est faux d'affirmer que ce modèle est incapable de répondre au *desideratum* 4. Formellement,

**Argument 6 : *Contra* critique 2 de NATHAN (2015)**

- (1) S'il est possible à partir d'un modèle d'intégration de spécifier et la limite *inférieure*, et la limite *supérieure*, alors ce dernier est apte à répondre au *desideratum* 2 ;
  - (2) Or, à la fois, les preuves 4, 5, 6 permettent de spécifier les *minima* et les preuves 7, 8, 9 permettent de spécifier les *maxima* ;
- $\therefore$  Le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) est apte à répondre au *desideratum* 4.

---

27. La preuve 9 pourrait être reprise pour une démonstration similaire à propos de la détermination des *maxima* pour une relation de synthèse explicative (définition 39) entre deux champs. Or, cela est laissé en suspens, sortant du cadre de la présente analyse.

28. Le même raisonnement que la note de bas de page 26 concernant l'intégration des *data* s'applique ici pour l'inclusion du cadre explicatif  $\sigma$  dans l'élaboration de ce cas maximal d'intégration explicative.

Ce contre-argument illustre une réponse *forte* à la critique 2 de NATHAN (2015). En effet, au sein même de son cadre il est possible de montrer cette dernière comme fausse. Cette réponse a pour avantage, pour la proposition de O'MALLEY et SOYER (2012) de ne pas simplement esquiver la critique (réponse *faible*), mais de la considérer dans toute sa force, consolidant ainsi leur proposition.

Plus largement, il apparaît qu'il est faux d'affirmer que le modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) ne fournit pas une conception générale de l'intégration en science, *contra* critiques 2 et 3 formulées par NATHAN (2015).

#### **3.2.4. Résumé**

Deux critiques sont formulées à l'encontre des modèles interchamps par NATHAN (2015) basées sur deux *desiderata* que devraient respecter toute conception générale de l'intégration en science. La première concerne leur incapacité à justifier l'importance de l'intégration pour le progrès scientifique. La seconde concerne leur incapacité à préciser les degrés d'intégrations, notamment les *minima* et les *maxima*. NATHAN (2015) présente un modèle adéquat en son modèle d'intégration par pertinence explicative. Une réponse *forte* aux critiques de NATHAN (2015) est offerte. Pour ce faire, les divers éléments des critiques sont repris pour construire des réponses compatibles avec l'argument de ce dernier. Concernant la critique 1, il est montré que chacun des types d'intégration identifiés par O'MALLEY et SOYER (2012) (i.e. méthodologique, des *data* et explicative) sont aptes à produire des gains épistémiques, et donc, possèdent une force normative. Suite à cette démonstration, l'argument de NATHAN (2015) est montré comme délétère pour sa propre proposition. Concernant la critique 2, il est montré que chacun des types d'intégration identifiés par O'MALLEY et SOYER (2012) (i.e. méthodologique, des *data* et explicative) sont aptes à fixer les *minima* et les *maxima* pour l'intégration. Ainsi, même en reprenant les termes de NATHAN (2015), il est possible de soutenir que les critiques formulées à l'encontre du modèle interchamps de O'MALLEY et SOYER (2012) sont injustifiées.

## Conclusion

---

Cette union solide de la science et la philosophie est utile aux deux, elle élève l'une et contient l'autre. Mais si le lien qui unit la philosophie à la science vient se briser, la philosophie privée de l'appui ou du contrepoids de la science, monte à perte de vue et s'égaré dans les nuages, tandis que la science, restée sans direction et sans aspiration élevée, tombe, s'arrête ou vogue à l'aventure.

---

Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (1966),  
cité par BUICAN (1993, p. 134-135)

### 3.3. Résumé du raisonnement général

Le raisonnement général du mémoire peut être résumé en les huit points synthèses ci-dessous classés selon les trois sous-questions présentées dans l'introduction :

(1) Quelles sont les raisons qui justifient la recherche d'outils conceptuels pour le philosophe de l'interdisciplinarité en philosophie de la biologie ?

(a) *Philosophie des sciences et Philosophie de l'interdisciplinarité*

La philosophie des sciences possède deux fonctions : la *description* et la *critique* des sciences (générales et particulières) comme objet. Les appels pour le développement d'une philosophie de l'interdisciplinarité, dans une perspective de philosophie des sciences, sont nombreux (e.g. SCHMIDT (2008) et MÄKI (2016)). En effet, ce mode de production de connaissance alternatif joue un rôle de plus en plus central dans la recherche scientifique contemporaine. Ainsi, la philosophie de l'interdisciplinarité est une forme de philosophie des sciences visant à décrire et critiquer l'interdisciplinarité comme objet.

(b) *Interdisciplinarité et intégration*

L'interdisciplinarité comme mode de production de connaissances alternatif en science apparaît sous plusieurs formes et est définie de plusieurs façons.

Deux formes principales d'interdisciplinarité peuvent être identifiées. L'interdisciplinarité *instrumentale* vise à répondre à des besoins précis, soit des disciplines ou champs de recherche, soit du marché ou de la nation. L'interdisciplinarité *critique* vise à interroger la structure du savoir et de l'éducation dans une perspective de transformation des savoirs disciplinaires.

Deux extrêmes définitionnels peuvent être identifiés quant à la signification du terme *interdisciplinarité*. Les définitions pluralistes (e.g. SCHMIDT (2008)), vont concevoir celle-ci comme multidimensionnelle. En effet, en fonction de la nature du référent (e.g. objets, théories, méthodes ou problèmes), le sens du terme *interdisciplinarité* variera. Les définitions monistes (e.g. MÄKI (2016)) vont concevoir celle-ci de façon abstraite. En effet, toutes mises en relation pertinentes entre des disciplines (ou leurs parties) vont être considérées comme des instances d'interdisciplinarité.

Une définition type, telle que retrouvée dans les manuels d'apprentissages (e.g. REPKO et SZOSTAK (2016)), définit plutôt le terme *interdisciplinarité* à l'interstice de ces deux extrêmes définitionnels. Suivant celle-ci, grossièrement, le terme réfère au processus d'*intégration* des perspectives [insight] disciplinaires dans l'étude d'une question ne pouvant être répondue par les ressources d'une seule discipline. Ce faisant, la notion d'intégration joue le rôle de condition nécessaire et suffisante pour l'interdisciplinarité (affirmation largement partagée dans la littérature sur l'interdisciplinarité).

(c) *Talon d'Achille de l'interdisciplinarité (Quoi ? et Comment ?)*

Une problématique majeure avec la notion d'intégration se situe dans son imprécision quant à ce qui est intégré (*quoi ?*) et le processus par lequel cela est intégré (*comment ?*). Ce problème est rapporté sous la formule caricaturale, mais utile comme étant le « talon d'Achille de l'interdisciplinarité » (REPKO 2007, p. 7). Bien que celle-ci soit bien connue des théoriciens de l'interdisciplinarité et explicitement abordée, certaines définitions trouvées dans les manuels (e.g. REPKO et SZOSTAK (2016)) portant sur l'interdisciplinarité restent sujettes à cette problématique quoique de façon moins évidente.

Sur la première question, la caractérisation de ce qui est intégré comme perspective [insight] disciplinaire ne fait que repousser le problème puisque la définition de la notion est elle-même imprécise (i.e. son extension n'est pas définie).

Sur la deuxième question, certaines techniques proposées (e.g. la technique de l'extension REPKO et SZOSTAK (2016, p. 282-283)) pour permettre l'intégration sont elles-mêmes problématiques ne permettant pas de préciser, *in fine*, comment l'intégration non problématique est réalisée (i.e. rempli seulement l'aspect descriptif de la question).

(d) *Intégration et philosophie de la biologie*

Trois raisons motivent la recherche d'outils conceptuels en philosophie de la biologie pour répondre aux problématiques définitionnelles de l'intégration en philosophie de l'interdisciplinarité : la similarité entre les objets d'études ; la présence de modèles variés et sophistiqués conceptualisant l'intégration ; et la présence de nombreux cas d'étude diversifiés.

Sur la similarité entre les objets, la biologie et la recherche interdisciplinaire ont pour caractéristiques communes un pluralisme épistémologique et la considération du monde comme complexe. Ce faisant, les outils conceptuels développés en philosophie de la biologie et de l'interdisciplinarité peuvent être considérés comme devant accommoder des phénomènes ayant des caractéristiques similaires. En d'autres termes, la similarité entre les objets d'étude de ces deux branches laisse croire à une similarité dans les capacités analytiques des outils conceptuels de celles-ci. Ainsi, il apparaît justifiable d'utiliser les modèles développés en philosophie de la biologie en philosophie de l'interdisciplinarité.

Sur la présence de modèles variés et sophistiqués, l'histoire de la philosophie de la biologie révèle un nombre important de modèles d'intégration et distribués uniformément dans le temps. Ce faisant, il apparaît que ce bassin de propositions contient des modèles diversifiés et sophistiqués. Ainsi, il apparaît justifiable d'utiliser les modèles développés en philosophie de la biologie en philosophie de l'interdisciplinarité.

Sur le nombre et la diversité des cas d'étude, l'histoire de la philosophie de la biologie révèle une grande variation entre ceux-ci, notamment sur leurs objets d'étude, leur portée et temporalité et les champs de recherche qu'ils impliquent. En effet, ces cas varient sur leur domaine d'application ; les niveaux d'organisations et échelles temporelles couverts ; et les champs de recherche mobilisés. Ce faisant, le bassin d'étude de cas est à la fois large

et diversifié. Ainsi, il apparaît justifiable d'utiliser les modèles développés en philosophie de la biologie en philosophie de l'interdisciplinarité.

(2) Quel est l'éventail des outils conceptuels que la philosophie de la biologie pourrait offrir au philosophe de l'interdisciplinarité ?

(a) *Familles de modèles d'intégration en philosophie de la biologie*

Au moins trois familles de modèles d'intégration peuvent être identifiées en philosophie de la biologie : les modèles néomécanistes ; les modèles par unité coordonnée ; et les modèles interchamps.

Les premiers s'inscrivant dans la lignée de travaux de MACHAMER et al. (2000) sont caractérisés par l'accent mis sur l'étude des mécanismes par les sciences. Ce cadre permet d'offrir les réponses suivantes aux deux questions problématiques entourant l'intégration (*quoi ?* et *comment ?*) : ce qui est intégré sont les *explications mécanistiques* de deux (ou plus) champs de recherche par la *co-construction de schèmes (ou esquisses) mécanistiques*. Trois types d'intégrations sont distinguées : intraniveaux, interniveaux et intertemporelle (séquentielle ou continue).

Les seconds, plus marginaux, s'inscrivant dans la lignée de travaux de Neurath repris par POTOCHNIK (2011) sont caractérisés par l'accent mis sur l'interdépendance épistémique des sciences à la lumière de la complexité causale du monde. Ce cadre permet d'offrir les réponses suivantes aux deux questions problématiques entourant l'intégration (*quoi ?* et *comment ?*) : ce qui est intégré sont les *explications « causales »* de deux (ou plus) champs de recherche (ou programmes de recherche) par la *collaboration dans la création de représentation scientifique (e.g. un modèle)*. Trois types d'intégrations (collaborations) sont distinguées : le tri des interactions causales, le dépassement des différences entre les champs de recherche et le développement de représentations intégrées.

Les derniers s'inscrivant dans la lignée de travaux de DARDEN et MAULL (1977) sont caractérisés par l'accent mis sur les champs de recherche et leurs interconnexions. Ce cadre permet d'offrir les réponses suivantes aux deux questions problématiques entourant l'intégration (*quoi ?* et *comment ?*) : ce qui est intégré sont les *éléments conceptuels (e.g. methodi, data, explanantia)* de deux (ou plus) champs de recherche par la *combinaison de ces éléments dans l'étude d'une question*. Trois types principaux d'intégrations

sont distinguées : l'intégration méthodologique, l'intégration des *data* et l'intégration explicative.

(3) Si de tels outils existent, y en a-t-il qui sont supérieurs aux autres considérant les besoins conceptuels du philosophe de l'interdisciplinarité ?

(a) *Sélection d'un modèle de l'intégration généralisable à la philosophie de l'interdisciplinarité*

Les critères d'adéquation pour un modèle de l'intégration en philosophie de l'interdisciplinarité peuvent être construits théoriquement sous la forme de deux *desiderata*.

Le premier consiste en la capacité à analyser l'ensemble des cas théoriquement possible d'interdisciplinarité. En ce sens, ce modèle ne doit pas contraindre *a priori* la combinaison entre deux (ou plus) disciplines (*desideratum* 1).

Le second consiste en la capacité à analyser l'ensemble des cas théoriquement possibles de relations d'interdisciplinarité. En ce sens, ce modèle ne doit pas contraindre *a priori* la combinaison de relations conceptuelles entre deux (ou plus) disciplines (*desideratum* 2).

(b) *Adéquabilité des différentes familles de modèles*

L'analyse des différents modèles d'intégration (néomécanistes, unité coordonnée et interchamps) quant à leur capacité à satisfaire les *desiderata* a révélé qu'un des modèles était plus apte que les autres.

Les modèles néomécanistes, en étant centrés sur les mécanismes, limitent *a priori*, à la fois, les combinaisons possibles de disciplines (i.e. échouent à satisfaire le premier *desideratum*) et de relations conceptuelles pouvant être établies entre des disciplines (i.e. échouent à satisfaire le deuxième *desideratum*) analysables à l'aide de ceux-ci. Donc, ceux-ci échouent à satisfaire les critères d'adéquation d'un modèle général de l'intégration en philosophie de l'interdisciplinarité.

Les modèles par unité coordonnée, en étant centrés sur les patrons causaux, ne limitent pas *a priori* les combinaisons possibles de disciplines (i.e. satisfont le premier *desideratum*) analysables dû à leur conception large de la causalité. Par contre, ceux-ci limitent *a priori* les combinaisons possibles de relations conceptuelles pouvant être établies entre

des disciplines (i.e. échouent à satisfaire le deuxième *desideratum*) analysables à l'aide de ceux-ci.

Les modèles interchamps, en étant centrés sur les champs de recherche, ne limitent pas *a priori* les combinaisons possibles de disciplines (i.e. satisfont le premier *desideratum*) et de relations conceptuelles pouvant être établies entre des disciplines (satisfont le premier *desideratum*) analysables à l'aide de ceux-ci. Et même si cela était le cas, ceux-ci sont conceptuellement flexibles ce qui laisse croire que des amendements peuvent aisément être proposés pour améliorer leur capacité à satisfaire les *desiderata* 1 et 2. De plus, même en postulant que ces amendements soient impossibles, cette famille de modèles est plus apte que les deux autres pour y répondre. Donc, celle-ci apparaît comme plus aptes à être exportés en philosophie de l'interdisciplinarité.

(c) *Les critiques d'un modèle rival et réponses*

Deux critiques sont formulées à l'encontre des modèles interchamps par NATHAN (2015). La première concerne la capacité de ces modèles à offrir une justification normative pour l'intégration. En effet, tout modèle d'intégration devrait, selon celui-ci, offrir, à la fois, une description adéquate de l'intégration et une justification pour celle-ci (*desideratum* 3).

La seconde concerne la capacité de ces modèles à spécifier les *minima* de l'intégration. En effet, tout modèle d'intégration devrait, selon celui-ci, pouvoir spécifier, à la fois, les *minima* et les *maxima* de l'intégration (*desideratum* 4).

NATHAN (2015) exemplifie ce à quoi devrait ressembler un modèle adéquat, selon ces critères, en introduisant le modèle d'intégration par *pertinence explicative*. La pertinence explicative réduit tout type d'intégration à l'intégration explicative, i.e. au partage d'*explananda* et d'*explanantia* et, ce faisant, il lui est possible de répondre à ces deux *desiderata*.

Or, il est possible de montrer que, même en acceptant les critiques de NATHAN (2015) et son postulat de réductibilité des types d'intégration, ces critiques sont injustifiées dans le cas des interprétations récentes des modèles interchamps (i.e. le modèle proposé par O'MALLEY et SOYER (2012)). En effet, concernant la première critique, pour les trois types d'intégration (*methodi, data, explanantia*), l'affirmation d'absence de justification normative pour l'intégration est fautive. De même, cette démonstration a pour effet de



retourner la première critique de NATHAN (2015) contre sa propre proposition, celle-ci ne pouvant offrir une description adéquate de l'intégration méthodologique et des *data*. De plus, concernant la seconde critique, pour les trois types d'intégration (*methodi*, *data*, *explanantia*), l'affirmation d'incapacité à spécifier les *minima* de l'intégration est fausse. De même, la capacité à spécifier les *maxima* peut être explicitement montrée. Ce faisant, le modèle d'intégration O'MALLEY et SOYER (2012) est apte à satisfaire les desiderata 3 et 4 de NATHAN (2015) et évite ainsi ses critiques.

Ainsi, à la question principale du présent mémoire, i.e. la philosophie de la biologie peut-elle servir de source dans l'élaboration d'une *boîte à outils conceptuels* destinée au philosophe de l'interdisciplinarité sur la question de l'intégration ?, suivant le raisonnement général rapporté ci-haut, il apparaît raisonnable de répondre par l'affirmative.

### 3.4. Le problème des deux modèles

Découlant des réponses offertes aux critiques de NATHAN (2015), une dernière considération reste à aborder. En effet, en postulant que tout type d'intégration est ultimement réductible à la pertinence explicative (corollaire 1), afin d'offrir une réponse *forte* aux critiques formulées, il se trouve que, collatéralement, un nouveau modèle d'intégration a ainsi été proposé. Ce modèle *hybride* consiste en la conjonction des modèles de NATHAN (2015) et O'MALLEY et SOYER (2012) via la relation de réductibilité susmentionnée. La problématique ici est que cette nouvelle proposition possède les mêmes aptitudes à répondre aux divers *desiderata* identifiés (*desiderata* 1, 2, 3 et 4) que la proposition interchamps de O'MALLEY et SOYER (2012). Ce faisant, ce modèle n'est pas sensible à l'argument ayant mis à mal la proposition de NATHAN (2015) (argument 5). La définition suivante de ce modèle hybride peut être offerte :

**Définition 34 : Modèle d'intégration hybride =  $\mathbf{Df}$**

un modèle d'intégration à deux niveaux interreliés, mais non réductibles l'un à l'autre, où :

- (a) le niveau supérieur, plus abstrait, consiste en la relation de pertinence explicative proposée par NATHAN (2015) ;
- (b) le niveau inférieur, moins abstrait, consiste en les différents types d'intégration proposés par O'MALLEY et SOYER (2012) ; et

- (c) les deux niveaux (a) et (b) sont liés par la réductibilité *théorique* du niveau inférieur au niveau supérieur, mais sont maintenus distinct par l'impossibilité de leur réductibilité *pratique*.

Il est utile ici de préciser plus amplement l'élément (c) introduit dans la définition 34. Pour ce faire, il est nécessaire de tout d'abord expliciter les deux types de réductions mentionnées avant d'exposer pourquoi la réduction pratique est impossible dans ce modèle. D'une part, la réductibilité *théorique* fait référence à la relation de *traduction* d'un concept (ou d'un ensemble de concepts)  $\phi$  par un concept (ou un ensemble de concepts)  $\Phi$  plus général (i.e. un concept ayant une extension plus grande) dans un énoncé (ou un ensemble d'énoncés) donné sans que cela ne change le sens de celui-ci<sup>29</sup>. Par exemple, soit le cas particulier de la représentation de l'expression de la phénylalanine à partir du codon (TTT, UUU) exprimé dans l'énoncé suivant : *la séquence thymine-thymine-thymine (TTT) est transcrit en la séquence uracile-uracile-uracile (UUU) qui est, ensuite, traduite en phénylalanine*. La traduction du triplet <TTT, UUU, phénylalanine> par le triplet <ADN, ARN, Protéine> (représentation du dogme central de la biologie) représente un cas de réduction théorique puisque les termes remplaçant subsument les termes remplacés dans l'énoncé (i.e. la thymine est un type d'ADN, l'uracile est un type d'ARN et la phénylalanine est un acide aminé composant les protéines)<sup>30</sup>. D'autre part, la réductibilité *pratique* fait référence à la relation de *commutation* d'un concept (ou d'un ensemble de concepts)  $\phi$  par un concept (ou d'un ensemble de concepts)  $\Phi$  plus général (i.e. un concept ayant une extension plus grande) dans un énoncé (ou un ensemble d'énoncés) donné sans que cela ne change les capacités fonctionnelles de celui-ci. Par exemple, soit le cas particulier de représentation de l'expression de la phénylalanine à partir du codon (TTT, UUU) suivant : *la séquence thymine-thymine-thymine (TTT) est transcrit en la séquence uracile-uracile-uracile (UUU) qui est, ensuite,*

29. Cette conception de la réduction est analogue à celle proposée par NAGEL (1961). Cette dernière est définie ainsi : « [l]a réduction [...] est l'explication d'une théorie ou d'un ensemble de lois expérimentales établies dans un domaine d'investigation, par une théorie habituellement, mais pas invariablement, formulée pour un autre domaine » (NAGEL 1961, p. 338). La différence en est une de généralité et d'abstraction où, en lieu de théories ou lois expliquées par une autre théorie en science, il s'agit plutôt de concepts traduits en un autre concept dans le langage. En un sens, formulation de NAGEL (1961) pourrait être considéré comme un cas particulier de réductibilité théorique appliqué aux sciences.

30. À titre indicatif, la typologie grossière suivante peut être offerte : acides nucléiques = { acide désoxyribonucléique (ADN), acide ribonucléique (ARN) }; acide désoxyribonucléique (ADN) = { adénine, guanine, cytosine, thymine }; acide ribonucléique (ARN) = { adénine\*, guanine\*, cytosine\*, uracile }, où \* signifie que la base monosaccharidique est un ribose plutôt qu'un désoxyribose ; purines = { adénine, guanine }; et pyrimidines = { cytosine, thymine, uracile }.

*traduite en phénylalanine*. La commutation de  $\langle TTT, UUU \rangle$  par le triplet  $\langle TTY, UUY \rangle$ , où  $Y = \{\text{thymine} \vee \text{cytosine}\}$ , représente un cas de réduction pratique puisque les termes remplaçant subsument les fonctions des termes remplacés dans l'énoncé (i.e. la phénylalanine est tout de même le produit)<sup>31 32</sup>.

À la lumière de ces précisions, il apparaît que la réduction pratique de l'intégration à la pertinence explicative est impossible dû à l'incapacité de cette dernière de remplir le rôle descriptif des autres types d'intégration (méthodologique, des *data*). En effet, si cette réduction était effectuée, le modèle hybride ne serait plus apte à offrir une description adéquate de l'intégration et serait sujet au même argument contre la proposition de NATHAN (2015) (i.e. argument 5). Ainsi, il est impossible de commuter l'intégration par la pertinence explicative puisque les capacités fonctionnelles ne seraient pas conservées. Donc, il est impossible de réduire pratiquement cette première à cette dernière.

Cette problématique a un impact majeur sur l'objectif général introduit au début de ce mémoire. En effet, pour élaborer une *boîte à outils conceptuels* contenant des outils tirés de la philosophie de la biologie à proposer à un-e philosophe de l'interdisciplinarité, la proposition accidentelle du modèle hybride entraîne des difficultés dans la détermination de son contenu.

D'une part, il est impossible de simplement proposer ces deux modèles ceux-ci étant incompatibles. Le dilemme est le suivant : (1) si toute intégration est réductible à la pertinence explicative, alors la proposition hybride est le modèle d'intégration le plus adéquat ; (2) si toute intégration n'est pas réductible à la pertinence explicative, alors la proposition de O'MALLEY et SOYER (2012) est le modèle d'intégration le plus adéquat. Plus précisément, sur (1), si l'affirmation que tout type d'intégration est réductible à la pertinence explication est vrai, alors la proposition de O'MALLEY et SOYER (2012) est réduite théoriquement à la proposition de NATHAN (2015) résultant en le modèle hybride. Sur (2), si l'affirmation que tout type d'intégration est réductible à la pertinence explication est fausse, la réduction

---

31. En effet, l'acide aminé phénylalanine est codé autant par la séquence d'acide nucléique thymine-thymine-thymine que la séquence thymine-thymine-cytosine.

32. Les deux types de réductions (théorique et pratique) sont à distinguer puisque l'une n'implique pas toujours l'autre (et vice-versa). En effet, dans le premier exemple, le sens de l'énoncé est conservé post-traduction puisque le processus est le même, possédant simplement plus d'instance. Or, la fonction n'est pas conservée puisque l'extrait ne se limite plus seulement à la phénylalanine. Dans le second exemple, la fonction de l'énoncé est conservée post-commutation puisque l'extrait est le même pour toutes les instances. Or, le sens n'est pas conservé puisque le processus n'est pas le même pouvant inclure à la fois la thymine ou la cytosine.

est impossible entraînant le rejet du modèle hybride au profit du modèle de O'MALLEY et SOYER (2012)<sup>33</sup>. Ce dilemme est entretenu par le fait que les promoteurs du modèle de O'MALLEY et SOYER (2012) soutiennent explicitement la proposition (2). En effet, bien qu'il soit reconnu que les divers types d'intégration peuvent interagir, leur réduction à la composante explicative est rejetée. Cela est explicite dans la citation suivante :

« [n]ous soutenons que le fait de se concentrer exclusivement sur l'intégration explicative ne peut saisir l'intégration telle qu'elle se produit en [biologie des systèmes] et dans d'autres sciences de la 'complexité'. Nos exemples montreront la nécessité de considérer l'intégration de manière plus inclusive que dans l'intégration explicative purement théorique (comme si les méthodes et data suivent timidement [sheepishly] derrière la théorie). »<sup>34</sup> O'MALLEY et SOYER (2012, p. 62)

Donc, à la lumière de ce dilemme, seulement l'un des deux modèles peut être proposé à la fois.

D'autre part, l'évaluation de la véracité du postulat de réductibilité des types d'intégration à la pertinence explicative, i.e. véracité du corollaire 1, est en fait une question empirique. En effet, cette dernière ne peut être fixée en se limitant aux outils habituels de la philosophie (des sciences). Plus précisément, suivant NATHAN (2015), la motivation pour l'intégration, sa force normative, se trouve dans la possibilité de gains épistémiques (définition 33), i.e. le développement d'*explananda* et *explanantia* inédits. Or, la notion de pertinence explicative se fonde explicitement dans cette motivation en l'utilisant comme élément structurant (condition de nécessité et de suffisance de la pertinence explicative pour l'intégration). Ce faisant, la véracité de la réductibilité des types d'intégration à la pertinence explicative dépend de la véracité de cette motivation sous-jacente, i.e. la possibilité de gains épistémiques sous forme d'*explananda* et *explanantia* nouveaux. Ainsi, par extension, répondre au dilemme proposé plus haut demande d'évaluer la justification offerte par les scientifiques pour l'intégration, leur motivation explicite<sup>35</sup>. Donc, c'est en ce sens que cette question est empirique, et ce,

---

33. La capacité de ce modèle à répondre aux *desiderata* 3 et 4 ne s'en trouverait pas nécessairement mise à mal si ce postulat se révélait faux. Les arguments présentés plus haut pourraient simplement être réinstanciés en conséquence. Cet exercice de réinstanciation ne serait pas ici réalisé, pour des considérations d'espace, mais les raisonnements pour les différentes preuves (i.e. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) resteraient sensiblement identiques.

34. Plus encore, O'MALLEY (2013) mentionne que « l'intégration se fait de trois façons distinctes, mais interconnectées » (p. 552) et BRIGANDT (2013) souligne que « [c]haque type d'intégration peut se faire sans les autres et de différentes manières » (p. 463).

35. Il pourrait être soutenu que la motivation sous-jacente pourrait être alimentée par un argument de type moyen fin, i.e. l'intégration étant le moyen pour atteindre une fin, des gains épistémiques, évitant ainsi

de façon nécessaire. Pour reprendre la grille conceptuelle de questionnement de l'intégration (*quoi ?* et *comment ?*), ce dilemme nous invite à explorer une troisième question : *pourquoi ?* ou quelles sont les justifications pour l'intégration ? Or, cette question, bien que philosophique, nécessite l'utilisation d'outils non traditionnels en philosophie et non accessible ici. Seule une exploration exhaustive des justifications fournies par les scientifiques pour l'intégration, à l'aide des outils appropriés, selon les termes ici introduits, permettra de répondre à celle-ci. Cependant, cette tâche dépasse largement les possibilités offertes dans le cadre de ce mémoire et sera explorée dans le cadre d'études ultérieures<sup>36</sup>.

Plus largement, cette conclusion s'accorde avec l'une des recommandations de MÄKI (2016) quant au développement d'une conceptualisation adéquate de l'interdisciplinarité en philosophie de l'interdisciplinarité :

«[m]on conseil méthodologique pour ce projet est de faire interagir le travail conceptuel et empirique : nous avons besoin de plus, et de plus de type, d'études de cas empiriques sur les pratiques interdisciplinaires en science ; et l'éventail croissant d'études de cas devrait informer, et être informé par, nos tentatives pour apporter un ordre conceptuel dans la riche variété de pratiques scientifiques interdisciplinaires.» (MÄKI 2016, p. 332)

Le présent travail s'inscrit dans la partie conceptuelle de ce travail. Les prochaines étapes de ce projet de recherche devront donc s'inscrire dans la partie empirique.

---

la nécessité d'intrants empiriques. Or, ici, le point n'est pas d'évaluer la légitimité de la motivation derrière l'intégration, mais bien laquelle ou lesquels de l'ensemble des motivations possibles sont utilisées pour justifier l'intégration par les praticien-ne-s de l'interdisciplinarité. Plus simplement, pour montrer que l'option (1) du dilemme est vraie, i.e. toute intégration est réductible à la pertinence explicative, il devrait pouvoir être montré que les cas d'intégration, e.g. cas de la biologie du bruit, sont motivés par la possibilité de gains épistémiques au sens de NATHAN (2015) (définition 33). En d'autres termes, il faudrait montrer explicitement que c'est ce type particulier de motivation qui est mobilisé pour motiver ce type recherche et pas un autre. C'est en ce sens qu'il est nécessaire d'examiner empiriquement les motivations derrière l'intégration, i.e. pour distinguer le type et non la légitimité de celles-ci. Merci à David Montminy (Université de Montréal) pour cette question de précision très pertinente.

36. L'auteur du présent mémoire explora cette question particulière dans le cadre d'études doctorales débutant à l'été 2019 réalisées à l'Université de Montréal, sous la direction de Molly Kao, du département de philosophie, et de Vincent Larivière, de l'école de Bibliothéconomie.

## Bibliographie

---

- ANDERSEN, Hanne et Susann WAGENKNECHT (2013). « Epistemic dependence in interdisciplinary groups ». In : *Synthese* 190.11, p. 1881-1898. DOI : 10.1007/s11229-012-0172-1.
- APOSTEL, Leo (1972). *Interdisciplinarity Problems of Teaching and Research in Universities*. Organization for Economic Cooperation et Development. 307 p.
- BAAS-BECKING, Lourens Gerhard Marinus (1934). *Geobiologie of inleiding tot de milieukunde*. Den Haag [Netherlands] : W.P. Van Stockum & Zoon N.V. 263 p.
- BAETU, Tudor M. (2011). « Mechanism schemas and the relationship between biological theories ». In : *Causality in the Sciences*. Oxford University Press. DOI : 10.1093/acprof:oso/9780199574131.003.0019.
- BECHTEL, William (1984). « Reconceptualizations and Interfield Connections : The Discovery of the Link between Vitamins and Coenzymes ». In : *Philosophy of Science* 51.2, p. 265-292. DOI : 10.1086/289180.
- (1986). *Integrating Scientific Disciplines*. Springer Netherlands. 360 p.
- (1993). « Integrating sciences by creating new disciplines : The case of cell biology ». In : *Biology & Philosophy* 8.3, p. 277-299. DOI : 10.1007/BF00860430.
- (2006). *Discovering Cell Mechanisms : The Creation of Modern Cell Biology*. Cambridge University Press. 323 p.
- BENZER, Seymour (1957). « The Chemical Basis of Heredity ». In : *A symposium on the Chemical Basis of Heredity*. Johns Hopkins Press. William David McElroy, Bentley Glass, p. 70-93.
- BERGER, Guy (1972). « Opinions and facts ». In : *Interdisciplinarity Problems of Teaching and Research in Universities*. Sous la dir. de Leo APOSTEL. Organization for Economic Cooperation et Development.

- BLUTE, Marion (2010). *Darwinian Sociocultural Evolution : Solutions to Dilemmas in Cultural and Social Theory*. Cambridge University Press. 250 p. DOI : 10.1017/CB09780511804755.
- BOYD, Richard, Philip GASPER et J.D. TROUT (1991). *The Philosophy of Science*. MIT Press. 800 p.
- BRIGANDT, Ingo (2010). « Beyond Reduction and Pluralism : Toward an Epistemology of Explanatory Integration in Biology ». In : *Erkenntnis* 73.3, p. 295-311. DOI : 10.1007/s10670-010-9233-3.
- (2013). « Integration in biology : Philosophical perspectives on the dynamics of interdisciplinarity ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44.4, p. 461-465. DOI : 10.1016/j.shpsc.2013.09.009.
- BRIGANDT, Ingo et Alan C. LOVE (2010). « Evolutionary Novelty and the Evo-Devo Synthesis : Field Notes ». In : *Evolutionary Biology* 37.2, p. 93-99. DOI : 10.1007/s11692-010-9083-6.
- BRISTER, Evelyn (2016). « Disciplinary capture and epistemological obstacles to interdisciplinary research : Lessons from central African conservation disputes ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 56, p. 82-91. DOI : 10.1016/j.shpsc.2015.11.001.
- BUICAN, Denis (1993). *Biognoséologie : évolution et révolution de la connaissance*. Kimé. 183 p.
- BUNGE, Mario (1999). *Dictionary of Philosophy*. Prometheus Books. 316 p.
- CALLEBAUT, Werner (2010). « The Dialectics of Dis/Unity in the Evolutionary Synthesis and Its Extensions ». In : *Evolution. The Extended Synthesis*. Sous la dir. de Massimo PIGLIUCCI et Gerd B. MÜLLER, p. 443-482. DOI : 10.7551/mitpress/9780262513678.003.0017.
- CARNAP, Rudolf (1950). *Logical foundations of probability*. University of Chicago Press. 613 p.
- CAT, Jordi (2017). « The Unity of Science ». In : *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Sous la dir. d'Edward N. ZALTA. Fall 2017. Metaphysics Research Lab, Stanford University.

- COMTE, Auguste (1830). *Cours de philosophie positive*. Bachelier. T. 6.
- CORDES, Moritz et Geo SIEGWART (2019). *Explication*. Internet Encyclopedia of Philosophy.
- CRAVER, Carl F. (2005). « Beyond reduction : mechanisms, multifield integration and the unity of neuroscience ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36.2, p. 373-395. DOI : 10.1016/j.shpsc.2005.03.008.
- (2007). *Explaining the brain : mechanisms and the mosaic unity of neuroscience*. Clarendon Press. 308 p.
- CRAVER, Carl F. et Lindley DARDEN (2001). « Discovering Mechanisms in Neurobiology : The Case of Spatial Memory ». In : *Theory and Method in the Neurosciences*. Sous la dir. de P.K. MACHAMER, R. GRUSH et P. MVLAUGHLIN. University of Pittsburgh Press, p. 112-137.
- (2013). *In search of mechanisms : discoveries across the life sciences*. The University of Chicago Press. 228 p.
- CRAVER, Carl F. et James TABERY (2017). « Mechanisms in Science ». In : *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Sous la dir. d'Edward N. ZALTA. Spring 2017. Metaphysics Research Lab.
- DARDEN, Lindley (1980). « Theory construction in genetics ». In : *Scientific discovery, case studies*. Sous la dir. de Thomas NICKLES. D. Reidel Pub. Co., p. 151-170.
- (1986). « Relations Among Fields in the Evolutionary Synthesis ». In : *Integrating Scientific Disciplines*. Sous la dir. de William BECHTEL. Springer Netherlands, p. 113-123. DOI : 10.1007/978-94-010-9435-1\_6.
- (2005). « Relations among fields : Mendelian, cytological and molecular mechanisms ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36.2, p. 349-371. DOI : 10.1016/j.shpsc.2005.03.007.
- (2006). *Reasoning in Biological Discoveries : Essays on Mechanisms, Interfield Relations, and Anomaly Resolution*. Cambridge University Press. 346 p.
- DARDEN, Lindley et Carl CRAVER (2002). « Strategies in the interfield discovery of the mechanism of protein synthesis ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part*



- C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 33.1, p. 1-28.  
DOI : 10.1016/S1369-8486(01)00021-8.
- DARDEN, Lindley et Nancy MAULL (1977). « Interfield Theories ». In : *Philosophy of Science* 44.1, p. 43-64. DOI : 10.1086/288723.
- DAWKINS, Richard (1976). *The Selfish Gene*. Oxford University Press. 224 p.
- DE GRANDIS, Giovanni (2016). « Practical integration : The art of balancing values, institutions and knowledge – lessons from the History of British Public Health and Town Planning ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 56, p. 92-105. DOI : 10.1016/j.shpsc.2015.10.004.
- DE GRANDIS, Giovanni et Sophia EFSTATHIOU (2016). « Introduction—Grand Challenges and small steps ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 56, p. 39-47. DOI : 10.1016/j.shpsc.2015.11.009.
- DENNETT, Daniel C. (1991). « Real Patterns ». In : *The Journal of Philosophy* 88.1, p. 27-51.
- DOWE, Phil (2000). *Physical causation*. Cambridge University Press. 236 p.
- DRACK, Manfred et David POUVREAU (2015). « On the history of Ludwig von Bertalanffy’s “General Systemology”, and on its relationship to cybernetics – part III : convergences and divergences ». In : *International Journal of General Systems* 44.5, p. 523-571. DOI : 10.1080/03081079.2014.1000642.
- DUPRÉ, John (1993). *The Disorder of Things : Metaphysical Foundations of the Disunity of Science*. Harvard University Press. 308 p.
- EFSTATHIOU, Sophia (2016). « Is it possible to give scientific solutions to Grand Challenges? On the idea of grand challenges for life science research ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 56, p. 48-61. DOI : 10.1016/j.shpsc.2015.10.009.
- FODOR, Jerry A. (1974). « Special sciences (or : The disunity of science as a working hypothesis) ». In : *Synthese* 28.2, p. 97-115.
- FRODEMAN, Robert (2013). « Philosophy dedisciplined ». In : *Synthese* 190.11, p. 1917-1936. DOI : 10.1007/s11229-012-0181-0.
- (2014). *Sustainable Knowledge*. Palgrave Macmillan UK. DOI : 10.1057/9781137303028.

- FRODEMAN, Robert (2016). « Interdisciplinarity, grand challenges, and the future of knowledge ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 56, p. 108-110. DOI : 10.1016/j.shpsc.2015.11.011.
- FULLER, Steve (2013). « Deviant interdisciplinarity as philosophical practice : prolegomena to deep intellectual history ». In : *Synthese* 190.11, p. 1899-1916. DOI : 10.1007/s11229-012-0208-6.
- GRANTHAM, Todd A. (2004). « Conceptualizing the (Dis)unity of Science\* ». In : *Philosophy of Science* 71.2, p. 133-155. DOI : 10.1086/383008.
- GREENE, Patricia J., Madhu GUPTA et Herbert W. BOYER (1981). « Sequence analysis of the DNA encoding the Eco RI endonuclease and methylase ». In : *Journal of Biological Chemistry* 256.5, p. 2143-2153.
- GRIFFITHS, Paul (2018). « Philosophy of Biology ». In : *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Sous la dir. d'Edward N. ZALTA. Spring 2018. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- GRÜNE-YANOFF, Till (2016). « Interdisciplinary success without integration ». In : *European Journal for Philosophy of Science* 6.3, p. 343-360. DOI : 10.1007/s13194-016-0139-z.
- GRÜNE-YANOFF, Till et Uskali MÄKI (2014). « Introduction : Interdisciplinary model exchanges ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 48, p. 52-59. DOI : 10.1016/j.shpsa.2014.08.001.
- HEMPEL, Carl G. (1966). *Philosophy of natural science*. Prentice-Hall. 116 p.
- HOFFMANN, Michael H. G., Jan C. SCHMIDT et Nancy J. NERSESSIAN (2013). « Philosophy of and as interdisciplinarity ». In : *Synthese* 190.11, p. 1857-1864. DOI : 10.1007/s11229-012-0214-8.
- HOLBROOK, J. Britt (2013). « What is interdisciplinary communication? Reflections on the very idea of disciplinary integration ». In : *Synthese* 190.11, p. 1865-1879. DOI : 10.1007/s11229-012-0179-7.
- HVIDTFELT, Rolf (2018). *The structure of interdisciplinary science*. Palgrave Macmillan. 295 p.
- KIMURA, Motoo (1983). *The neutral theory of molecular evolution*. Cambridge University Press. 367 p.

- KINCAID, Harold (1990). « Molecular Biology and the Unity of Science ». In : *Philosophy of Science* 57.4, p. 575-593. DOI : 10.1086/289580.
- (1997). *Individualism and the Unity of Science : Essays on Reduction, Explanation, and the Special Sciences*. Rowman & Littlefield. 165 p.
- KITCHER, Philip (1982). « Genes ». In : *The British Journal for the Philosophy of Science* 33.4, p. 337-359.
- (1984). « 1953 and all That. A Tale of Two Sciences ». In : *The Philosophical Review* 93.3, p. 335. DOI : 10.2307/2184541.
- (1999). « Unification as a Regulative Ideal ». In : *Perspectives on Science* 7.3, p. 337-348. DOI : 10.1162/posc.1999.7.3.337.
- KLEIN, Julie Thompson (1990). *Interdisciplinarity : history, theory, and practice*. Wayne State University Press. 331 p.
- (1996). *Crossing Boundaries : Knowledge, Disciplinarity, and Interdisciplinarity*. University Press of Virginia. 281 p.
- (2005). *Humanities, culture, and interdisciplinarity : the changing American academy*. State University of New York Press. 267 p.
- (2016). « Conceptual clarification for Grand Challenges ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 56, p. 106-107. DOI : 10.1016/j.shpsc.2015.11.010.
- (2017). « Typologies of Interdisciplinarity : The Boundary Work of Definition ». In : *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity*. Sous la dir. de Robert FRODEMAN. 2<sup>e</sup> éd. T. 1. Oxford University Press. DOI : 10.1093/oxfordhb/9780198733522.013.3.
- KROHS, Ulrich et Werner CALLEBAUT (2007). « Data without models merging with models without data ». In : *Systems Biology*. Elsevier, p. 181-213. DOI : 10.1016/B978-044452085-2/50011-5.
- LARIVIÈRE, Vincent, Cassidy R SUGIMOTO et Sophie CHISOGNE (2018). *Mesurer la science*. Les Presses de l'Université de Montréal. 171 p.
- LEONELLI, Sabina (2013). « Integrating data to acquire new knowledge : Three modes of integration in plant science ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44.4, p. 503-514. DOI : 10.1016/j.shpsc.2013.03.020.

- LEONELLI, Sabina (2016). *Data-centric biology : a philosophical study*. The University of Chicago Press. 275 p.
- LOVE, Alan C. et Gary L. LUGAR (2013). « Dimensions of integration in interdisciplinary explanations of the origin of evolutionary novelty ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44.4, p. 537-550. DOI : 10.1016/j.shpsc.2013.09.008.
- MACHAMER, Peter, Lindley DARDEN et Carl F. CRAVER (2000). « Thinking about Mechanisms ». In : *Philosophy of Science* 67.1, p. 1-25. DOI : 10.1086/392759.
- MÄKI, Uskali (2016). « Philosophy of interdisciplinarity. What ? Why ? How ? » In : *European Journal for Philosophy of Science* 6.3, p. 327-342. DOI : 10.1007/s13194-016-0162-0.
- MAULL, Nancy L. (1977). « Unifying science without reduction ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 8.2, p. 143-162. DOI : 10.1016/0039-3681(77)90012-7.
- MITCHELL, Sandra D (2002). « Integrative Pluralism ». In : *Biology & Philosophy* 17, p. 55-70.
- (2004). « Why integrative pluralism ? » In : *E :CO* 6.1, p. 81.
- (2003). *Biological Complexity and Integrative Pluralism*. Cambridge University Press. 262 p. DOI : 10.1017/CB09780511802683.
- MITCHELL, Sandra D et Michael R DIETRICH (2006). « Integration without Unification : An Argument for Pluralism in the Biological Sciences. » In : *The American Naturalist* 168, p. 7.
- MORAN, Joe (2010). *Interdisciplinarity*. 2nd ed. Routledge. 205 p.
- MORGAN, Mary S. et Till GRÜNE-YANOFF (2013). « Modeling Practices in the Social and Human Sciences. An Interdisciplinary Exchange ». In : *Perspectives on Science* 21.2, p. 143-156. DOI : 10.1162/POSC\_a\_00089.
- NAGEL, Ernest (1961). *The structure of science : problems in the logic of scientific explanation*. 2e. Harcourt, Brace & World. 618 p.
- NATHAN, Marco J. (2015). « Unificatory Explanation ». In : *The British Journal for the Philosophy of Science*. DOI : 10.1093/bjps/axv022.
- NEWELL, William (2007). « Decision Making in Interdisciplinary Studies ». In : *Handbook of Decision Making*. Sous la dir. de Göktug MORÇÖL. CRC Press, p. 245-264. DOI : 10.1201/9781420016918.ch13.

- O'MALLEY, Maureen A. (2013). « When integration fails : Prokaryote phylogeny and the tree of life ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44.4, p. 551-562. DOI : 10.1016/j.shpsc.2012.10.003.
- O'MALLEY, Maureen A. et Orkun S. SOYER (2012). « The roles of integration in molecular systems biology ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 43.1, p. 58-68. DOI : 10.1016/j.shpsc.2011.10.006.
- O'MALLEY, Maureen A., Orkun S. SOYER et Mark L. SIEGAL (2015). « A Philosophical Perspective on Evolutionary Systems Biology ». In : *Biological Theory* 10.1, p. 6-17. DOI : 10.1007/s13752-015-0202-6.
- O'ROURKE, Michael et Stephen J. CROWLEY (2013). « Philosophical intervention and cross-disciplinary science : the story of the Toolbox Project ». In : *Synthese* 190.11, p. 1937-1954. DOI : 10.1007/s11229-012-0175-y.
- O'ROURKE, Michael, Stephen CROWLEY et Chad GONNERMAN (2016). « On the nature of cross-disciplinary integration : A philosophical framework ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 56, p. 62-70. DOI : 10.1016/j.shpsc.2015.10.003.
- OPPENHEIM, Paul et Hilary PUTNAM (1958). « Unity of Science as a Working Hypothesis ». In : *Concepts, Theories, and the Mind-Body Problem*. Sous la dir. d'Herbert FEIGL, Michael SCRIVEN et Grover MAXWELL. T. 2. University of Minnesota Press, p. 3-36.
- PLUTYNSKI, Anya (2013). « Cancer and the goals of integration ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44.4, p. 466-476. DOI : 10.1016/j.shpsc.2013.03.019.
- POTOCHNIK, Angela (2010). « Explanatory Independence and Epistemic Interdependence : A Case Study of the Optimality Approach ». In : *The British Journal for the Philosophy of Science* 61.1, p. 213-233. DOI : 10.1093/bjps/axp022.
- (2011). « A Neurathian Conception of the Unity of Science ». In : *Erkenntnis* 74.3, p. 305-319. DOI : 10.1007/s10670-010-9228-0.
- (2017). *Idealization and the Aims of Science*. University of Chicago Press. 288 p.

- POUVREAU, David (2013). « Une histoire de la "systémologie générale" de Ludwig von Bertalanffy - Généalogie, genèse, actualisation et postérité d'un projet herméneutique ». Thèse de doct. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS). 1140 p.
- (2014). « On the history of Ludwig von Bertalanffy's "General systemology", and on its relationship to cybernetics - Part II : Contexts and developments of the systemological hermeneutics instigated by von Bertalanffy ». In : *International Journal of General Systems* 43.2, p. 172-245. DOI : 10.1080/03081079.2014.883743.
- POUVREAU, David et Manfred DRACK (2007). « On the history of Ludwig von Bertalanffy's "General Systemology", and on its relationship to cybernetics : Part I : elements on the origins and genesis of Ludwig von Bertalanffy's "General Systemology" ». In : *International Journal of General Systems* 36.3, p. 281-337. DOI : 10.1080/03081070601127961.
- PRADEU, Thomas (2017). « Thirty years of Biology & Philosophy : philosophy of which biology ? » In : *Biology & Philosophy* 32.2, p. 149-167. DOI : 10.1007/s10539-016-9558-7.
- PSILLOS, Stathis (2012). « What is General Philosophy of Science ? » In : *Journal for General Philosophy of Science* 43.1, p. 93-103. DOI : 10.1007/s10838-012-9182-4.
- (2014). « Having Science in View : General Philosophy of Science and Its Significance ». In : *The Oxford Handbook of Philosophy of Science*. Sous la dir. de Paul HUMPHREYS. Oxford University Press. DOI : 10.1093/oxfordhb/9780199368815.013.7.
- REPKO, Allen F. (2006). « Disciplining interdisciplinarity : The case for textbooks ». In : *Issues in integrative studies* 24, p. 112-142.
- (2007). « Integrating Interdisciplinarity : How the Theories of Common Ground and Cognitive Interdisciplinarity Are Informing the Debate on Interdisciplinary Integration ». In : *Issues in integrative studies* 25, p. 1-31.
- REPKO, Allen F. et Rick SZOSTAK (2016). *Interdisciplinary Research : Process and Theory*. SAGE Publications. 425 p.
- RICE, Collin (2015). « Moving Beyond Causes : Optimality Models and Scientific Explanation : Moving Beyond Causes ». In : *Noûs* 49.3, p. 589-615. DOI : 10.1111/nous.12042.
- ROSENBERG, Alexander (1994). *Instrumental Biology, Or The Disunity of Science*. University of Chicago Press. 204 p.

- ROUGHGARDEN, Joan (2009). *The Genial Gene : Deconstructing Darwinian Selfishness*. University of California Press. 255 p.
- ROUGHGARDEN, Joan, Meeko OISHI et Erol AKÇAY (2006). « Reproductive Social Behavior : Cooperative Games to Replace Sexual Selection ». In : *Science* 311, p. 965-969. DOI : 10.1126/science.1110105.
- SALMON, Wesley C. (1984). *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. Princeton University Press. 321 p.
- SCHMIDT, Jan C. (2008). « Towards a philosophy of interdisciplinarity : An attempt to provide a classification and clarification ». In : *Poiesis & Praxis* 5.1, p. 53-69. DOI : 10.1007/s10202-007-0037-8.
- (2011). « What is a problem? : On problem-oriented interdisciplinarity ». In : *Poiesis & Praxis* 7.4, p. 249-274. DOI : 10.1007/s10202-011-0091-0.
- SMART, John Jamieson Carswell (1959). « Can biology be an exact science? » In : *Synthese* 11.4, p. 359-368. DOI : 10.1007/BF00486197.
- SMITH, David Livingstone, éd. (2016). *How Biology Shapes Philosophy : New Foundations for Naturalism*. Cambridge University Press. 351 p. DOI : 10.1017/9781107295490.
- SMITH, John Maynard (1982). *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge University Press. 234 p.
- SMITH, Thomas M. et Robert L. SMITH (2012). *Elements of Ecology*. 8th. Benjamin Cummings. 704 p.
- SOBER, Elliott (2006). *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*. MIT Press. 612 p.
- SOYER, Orkun S., éd. (2012). *Evolutionary systems biology*. 751. Springer. 455 p.
- SOYER, Orkun S. et Maureen A. O'MALLEY (2013). « Evolutionary systems biology : What it is and why it matters : Prospects & Overviews ». In : *BioEssays* 35.8, p. 696-705. DOI : 10.1002/bies.201300029.
- STREVEN, Michael (2008). *Depth : An Account of Scientific Explanation*. Harvard University Press. 536 p.
- SZOSTAK, Rick (2002). « How to Do Interdisciplinarity : Integrating the Debate ». In : *Issues in integrative studies* 20, p. 103-122.

- SZOSTAK, Rick, Claudio GNOLI et María LÓPEZ-HUERTAS (2016). *Interdisciplinary Knowledge Organization*. Springer International Publishing. 227 p. DOI : 10.1007/978-3-319-30148-8.
- TAKAHASHI, Mariko, Hiroyuki ARITA, Mariko HIRAIWA-HASEGAWA et Toshikazu HASEGAWA (2008). « Peahens do not prefer peacocks with more elaborate trains ». In : *Animal Behaviour* 75.4, p. 1209-1219. DOI : 10.1016/j.anbehav.2007.10.004.
- THORÉN, Henrik et Line BREIAN (2016). « Stepping stone or stumbling block? Mode 2 knowledge production in sustainability science ». In : *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 56, p. 71-81. DOI : 10.1016/j.shpsc.2015.11.002.
- TUANA, Nancy (2013). « Embedding philosophers in the practices of science : bringing humanities to the sciences ». In : *Synthese* 190.11, p. 1955-1973. DOI : 10.1007/s11229-012-0171-2.
- VAN DER STEEN, Wim J. (1990). « Interdisciplinary integration in biology? An overview ». In : *Acta Biotheoretica* 38.1, p. 23-36. DOI : 10.1007/BF00047271.
- (1993). « Towards disciplinary disintegration in biology ». In : *Biology & Philosophy* 8.3, p. 259-275. DOI : 10.1007/BF00860429.
- VAN DER STEEN, Wim J. et Paul J. THUNG (1988). *Faces of Medicine*. Kluwer. 236 p.
- VANDENBROECK, Ir Philippe, Dr Jo GOOSSENS et Marshall CLEMENS (2007). *Tackling Obesities : Future Choices — Obesity System Atlas*. Government Office for Science of United Kingdom, p. 46.
- VERNANT, Denis (2001). *Introduction à la logique standard*. Flammarion. 447 p.
- WEISBERG, Michael, Samir OKASHA et Uskali MÄKI (2011). « Modeling in biology and economics ». In : *Biology & Philosophy* 26.5, p. 613-615. DOI : 10.1007/s10539-011-9271-5.
- WHITEHEAD, Alfred North et Bertrand RUSSELL (1925). *Principia mathematica*. 2nd ed.. University Press. 674 p.
- WOODWARD, James (2003). *Making Things Happen : A Theory of Causal Explanation*. Oxford University Press. 410 p.



# Annexe A

---

## Formalisation de la proposition de O'MALLEY et SOYER (2012)

Les trois types d'intégration proposés par O'MALLEY et SOYER (2012)<sup>1</sup> (définitions 28, 28, 30 et 31) partagent comme structure commune le fait de viser un objectif, i.e. la réponse à une question ou à un groupe de questions. Ainsi, la structure générale de l'intégration (Int) chez ceux-ci peut être exprimée formellement comme la relation suivante :

**Définition 35 : Intégration =  $\text{Df}$**

$$\text{Int}(x, y) = \left| \begin{array}{l} x = \{\textit{explanandum}\}, y = \{\phi_1, \dots, \phi_n\} \\ \{\phi_1, \dots, \phi_n\} \in \{\textit{champ}_1, \dots, \textit{champ}_n\} \\ \textit{champ}_1 \neq \dots \neq \textit{champ}_n \end{array} \right.$$

Où

- (1) L'*explanandum* est une question ou un ensemble de questions, interne ou externe aux champs impliqués<sup>2</sup>;
- (2) L'ensemble d'éléments conceptuels  $\{\phi_1, \dots, \phi_n\}$  réfère à un ou plusieurs éléments d'un ou plusieurs *champs de recherche* tels que définis par DARDEN et MAULL (1977) (définition 24);
- (3) Les éléments conceptuels  $\{\phi_1, \dots, \phi_n\}$  mobilisés proviennent de champs de recherche différents.

---

1. La synthèse explicative n'étant qu'une variante de l'intégration explicative.

2. Une formalisation fidèle de la proposition situerait l'*explanandum* dans l'un des champs impliqués. Or, comme aucune restriction explicite sur ce point n'est rapportée dans O'MALLEY et SOYER (2012) et que l'objectif du présent mémoire est d'accommoder les cas d'interdisciplinarité où la notion de *grands défis* est omniprésente, i.e. *explanandum* pouvant être qualifié d'externe aux champs de recherche impliqués (voir la collection spéciale sur le sujet en sciences du vivant comportant les articles suivants : BRISTER (2016), DE GRANDIS (2016), DE GRANDIS et EFSTATHIOU (2016), EFSTATHIOU (2016), FRODEMAN (2016), KLEIN (2016), O'ROURKE, CROWLEY et GONNERMAN (2016) et THORÉN et BREIAN (2016)), cette généralisation est incluse.

Celles-ci vont, par contre, différer sur les éléments mobilisés, e.g. méthodes, *data*, modèles explicatifs, et sur la façon dont ceux-ci le sont, e.g. itération, nettoyage, articulation dans un cadre théorique. Ainsi, la structure des différents types d'intégration ( $Int_{metho}$ ,  $Int_{data}$  et  $Int_{exp}$ ) peut être exprimée formellement comme des modifications de la formalisation générale introduite plus haut :

**Définition 36 : Intégration méthodologique =  $Df$**

$$Int_{metho}(x, y) = \left| \begin{array}{l} x = \{explanandum\}, y = \{methodi\} \\ \{methodi\} \in \{champ_1, \dots, champ_n\} \end{array} \right.$$

Où

- (1) L'*explanandum* est une question ou un ensemble de questions, interne ou externe aux champs impliqués<sup>3</sup>;
- (2) L'ensemble des *methodi* réfère à un ou plusieurs méthodes ou méthodologies d'un ou plusieurs *champs de recherche* tel que définis par DARDEN et MAULL (1977) (définition 24);
- (3) Les *methodi* mobilisés peuvent provenir du même champ de recherche, contrairement aux autres types d'intégration, permettant ainsi d'inclure les processus itératifs suivant O'MALLEY et SOYER (2012).

**Définition 37 : Intégration des *data* =  $Df$**

$$Int_{data}(x, y) = \left| \begin{array}{l} x = \{explanandum\}, y = \{data^*\} \\ data^* = (\delta, z) | \delta = operation, z = \{data\} \\ \{data\} \in \{champ_1, \dots, champ_n\} \\ champ_1 \neq \dots \neq champ_n \end{array} \right.$$

Où

- (1) L'*explanandum* est une question ou un ensemble de questions, interne ou externe aux champs impliqués<sup>4</sup>;
- (2) L'ensemble des *data\** réfère à un ensemble de *data*, d'un ou plusieurs *champs de recherche* tel que définis par DARDEN et MAULL (1977) (définition 24), auquel a été appliqué une opération  $\delta$  (e.g théorisation et modélisation, quantification précise, développement de procédures de standardisation, de nettoyage, d'élaboration d'interfaces);
- (3) Les *data* mobilisés proviennent de champs de recherche différents.

---

3. Voir note de bas de page 2.

4. Voir note de bas de page 2.

**Définition 38 : Intégration explicative =  $\text{Df}$**

$$Int_{exp}(x, y) = \left| \begin{array}{l} x = \{explanandum\}, y = \{explanantia^*\} \\ explanantia^* = (\sigma, z) | \sigma = cadre, z = \{explanantia\} \\ \{explanantia\} \in \{champ_1, \dots, champ_n\} \\ champ_1 \neq \dots \neq champ_n \end{array} \right.$$

Où

- (1) L'*explanandum* est une question ou un ensemble de questions, interne ou externe aux champs impliqués<sup>5</sup> ;
- (2) L'ensemble d'*explanantia\** réfère à un ensemble d'*explanantia*, d'un ou plusieurs *champs de recherche* tel que définis par DARDEN et MAULL (1977) (définition 24), mobilisés au sein d'un cadre  $\sigma$  permettant d'*articuler* les modèles explicatifs ;
- (3) Les *explanantia* mobilisés proviennent de champs de recherche différents.

**Définition 39 : Synthèse explicative =  $\text{Df}$**

$$Synt_{exp}(x, y) = \left| \begin{array}{l} x = \{explanandum\}, y = \{explanantia^*\} \\ explanantia^* = (\Sigma, z) | \Sigma = unification, z = \{explanantia\} \\ \{explanantia\} \in \{champ_1, \dots, champ_n\} \\ champ_1 \neq \dots \neq champ_n \end{array} \right.$$

Où

- (1) L'*explanandum* est une question ou un ensemble de questions, interne ou externe aux champs impliqués<sup>6</sup> ;
- (2) L'ensemble d'*explanantia\** réfère à un ensemble d'*explanantia*, d'un ou plusieurs *champs de recherche* tel que définis par DARDEN et MAULL (1977) (définition 24), mobilisés au sein d'un cadre  $\Sigma$  permettant d'*unifier* les modèles explicatifs ;
- (3) Les *explanantia* mobilisés proviennent de champs de recherche différents.

---

5. Voir note de bas de page 2.

6. Voir note de bas de page 2.