



**HAL**  
open science

# Epistémologie constitutive pour les sciences du vivant : sur la catégorie de causalité en biologie

Nicole Perret

► **To cite this version:**

Nicole Perret. Epistémologie constitutive pour les sciences du vivant : sur la catégorie de causalité en biologie. Philosophie. Ecole normale supérieure - ENS PARIS, 2013. Français. NNT: . tel-01404728

**HAL Id: tel-01404728**

**<https://theses.hal.science/tel-01404728v1>**

Submitted on 29 Nov 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License



# Thèse de Doctorat

En vue de l'obtention du grade de

**DOCTEUR  
DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE**

École doctorale transdisciplinaire Lettres/Sciences – 540

Spécialité : philosophie des sciences du vivant

## **ÉPISTÉMOLOGIE CONSTITUTIVE POUR LES SCIENCES DU VIVANT**

Sur la catégorie de causalité en biologie

Présentée et soutenue par

**Nicole PERRET**

Soutenue le 27 juin 2013

Thèse co-dirigée par Giuseppe Longo et Michel Bitbol

Unité de recherche : Cirphles USR 3308

### **Membres du jury :**

Directeurs :	Giuseppe LONGO	CNRS ENS
	Michel BITBOL	CNRS ENS
Rapporteurs :	Jean LASSÈGUE <sup>1</sup>	CNRS EHESS
	Gertrudis VAN DE VIJVER	Ghent University
Examineurs :	Thomas HEAMS	AgroParisTech
	Philippe HUNEMAN	CNRS IHPST
	Michel MORANGE	ENS Paris VI

Numéro identifiant de la Thèse : 79818

---

<sup>1</sup> Rapporteur externe au jury



*À la mémoire de ma grand-mère Lucienne*



## RÉSUMÉ

La téléologie est une forme causale très pertinente en biologie, mais qui peut soulever un problème métaphysique car elle semble introduire un projet dans la nature. De manière générale la biologie s'est consacrée à trouver des moyens théoriques permettant de rabattre l'explication téléologique sur le plan de la causalité efficiente. Ce travail propose d'aborder ce problème par une approche transcendantale au sens kantien, inspirée par l'interprétation de l'école néo-kantienne de Marbourg. Après avoir exposé en détail la perspective transcendantale adoptée, on propose de dissoudre le statut ambigu de la causalité téléologique en prenant en compte la nature transcendantale de la causalité en général. En montrant le rôle de principe régulateur de la causalité en général, et donc aussi de la causalité efficiente en physique, ce travail attribue un statut de principe spécifique, au sens transcendantal et *a priori*, à la téléologie. En puisant dans la définition qu'en donne Kant, mais avec une extension critique, la téléologie est interprétée comme un principe qui permet la détermination d'un ordre spécifique pour la biologie. Ce type spécifique d'ordre est couplé conceptuellement au cadre constitutif de la *criticité étendue*, qui résulte d'une extension des concepts portant sur les systèmes critiques en physique vers les sciences du vivant.

**Mots clés : téléologie, causalité biologique, objectivation, Kant, criticisme, Cassirer.**



## ABSTRACT

Teleology is a very relevant causal form in biology, but it raises a metaphysical problem because it seems to introduce some project in nature. Biologists generally attempt to find some theoretical instruments that allow to assimilate teleological explanation to efficient causation. This thesis addresses this problem through a transcendental approach, in a Kantian sense and is inspired by the neo-kantian interpretation of Marburg school. After a detailed explanation of the transcendental perspective adopted, it is proposed to solve the ambiguous status of teleological causation by taking into account the transcendental nature of causality in general. By showing the role of regulating principle of causation in general, and therefore also of efficient causality in physics, this work ascribes the status of a specific transcendental and *a priori* principle to teleology. Taking inspiration from the Kantian definition of teleology, but with a critical conceptual extension, teleology is interpreted as a principle that allows the determination of a specific order in biology. This specific type of order is coupled with the constitutive frame of extended criticality, which is the result of a conceptual extension from critical phenomena in physics to biological sciences.

**Keywords:** teleology, biological causation, objectivation, Kant, criticism, Cassirer.





Je tiens tout d'abord à remercier mes directeurs de thèse Giuseppe Longo et Michel Bitbol pour avoir dirigé ma thèse avec rigueur et confiance. La richesse de leurs visions, ainsi que la profondeur des discussions m'ont été très précieuses. Mes plus grands remerciements vont à leurs qualités humaines. Ils ont su me guider, me motiver, me secourir parfois.

J'aimerais aussi remercier Gertrudis Van de Vijver, Thomas Heams, Philippe Huneman et Michel Morange pour avoir accepté de participer à mon jury et spécialement le rapporteur Gertrudis Van de Vijver. Je remercie tout particulièrement Jean Lassègue pour avoir accepté d'être rapporteur malgré le fait de ne pas pouvoir participer à la soutenance. Je tiens à lui exprimer ma gratitude pour ses conseils bienveillants et sa gentillesse ainsi que pour les occasions de discussion enrichissantes pendant ces années.

Je voudrais également remercier tous les membres de l'équipe Complexité Information Morphologique avec qui j'ai passé de très bons moments de recherche, de discussion et de détente. Un remerciement spécial va à Matteo Mossio pour avoir véritablement fait la différence dans ma vie de thésarde, par son incommensurable pragmatisme avisé qu'il propage généreusement. La réalisation de cette thèse lui doit beaucoup.

Pour l'aide, le soutien amical, les patientes et minutieuses relectures, les conseils et les corrections, jamais je ne pourrais remercier suffisamment Arnaud Pocheville, Paul Villoutreix, Maël Montévil, Jean-Pierre Llored, Gemma Landi et Fiorenzo Negro.

Mes pensées vont aussi à Renato Pettoello pour m'avoir ouvert l'esprit à l'attitude qu'aujourd'hui est à la base de mes recherches.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance à mes parents pour leur confiance et pour leur soutien inconditionnel depuis toujours. Je remercie également toute ma nombreuse famille et tous mes amis, en France et en Italie, pour leur appui et pour le bonheur qu'ils ont su m'apporter toujours. Ils sont trop nombreux pour que je les cite ici, mais ils se reconnaîtront.

Enfin un remerciement spécial va à Enzo pour sa patience infinie et pour son amour.



## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>15</b>
<b>PREMIÈRE PARTIE - CONSTITUTION D'OBJECTIVITÉ ET CAUSALITÉ.....</b>	<b>27</b>
<b>Chapitre 1 - Le sens et la continuité du criticisme transcendantal.....</b>	<b>29</b>
1.1 Introduction .....	29
1.2 Considérations préliminaires .....	31
1.2.a Kant et la biologie .....	31
1.2.b L'aspect méthodologique du criticisme.....	32
1.2.c Transcendantal et a priori .....	35
1.2.d Kant et la possibilité d'une science biologique .....	39
1.2.e La révolution copernicienne de Kant.....	40
1.3 La synthèse a priori .....	44
1.3.a La logique transcendantale .....	45
1.4 Le statut de l'objet scientifique.....	47
1.4.a Réalismes et empirismes.....	47
1.4.b Transcendantalisme, l'inversion du regard.....	56
1.5 Conclusion.....	60
<b>Chapitre 2 - Abstraction, rupture et construction .....</b>	<b>61</b>
2.1 Introduction.....	61
2.2 Abstraction et rupture.....	66
2.2.a L'illusion du fait établi .....	66
2.2.b La rupture épistémologique et l'obstacle du sens commun.....	69
2.2.c Le processus d'abstraction et de dé-réification.....	70
2.3 Premiers repères : la forme de notre analyse.....	74
2.4 Construction .....	76
2.4.a Le caractère synthétique des mathématiques. ....	78
2.4.b La construction mathématique chez Kant : imagination et schématisme	85
2.5 Conclusion.....	88
<b>Chapitre 3 - La catégorie de causalité .....</b>	<b>91</b>
3.1 Introduction.....	91
3.2 Causalité, déterminisme et indéterminisme – une histoire critique.....	94

3.2.a Déterminisme et prédictibilité.....	95
3.2.b Causalité et imprédictibilité.....	103
3.2.c Causalité, statistique et indéterminisme.....	104
3.3 Conclusion – quelques pistes pour une causalité régulatrice en biologie.....	113
<b>DEUXIÈME PARTIE - RÉDUCTION ET NATURALISATION DE LA TÉLÉOLOGIE.....</b>	<b>115</b>
<b>Chapitre 4 - La réduction de la téléologie : le programme génétique.....</b>	<b>117</b>
4.1 Introduction.....	117
4.2 Le réductionnisme et la téléologie.....	121
4.2.a Le programme génétique.....	122
4.2.b La causalité téléologique immanente .....	128
4.3 La spécificité fonctionnelle et la méthode différentielle .....	131
4.3.a Les gènes du développement spécifiques.....	132
4.4 L'épigénétique et la téléologie.....	136
4.5 Les gènes mécanosensibles .....	139
4.5.a Le rôle de la régulation mécanique.....	140
4.5.b Spécificité fonctionnelle .....	143
4.6 Conclusions.....	144
<b>Chapitre 5 - La téléologie naturalisée : l'analyse des fonctions.....</b>	<b>147</b>
5.1 Introduction.....	147
5.2 La notion de fonction .....	153
5.3 La perspective étiologique .....	155
5.4 La perspective systémique.....	161
5.5 Téléologie et organisation .....	163
5.6 Conclusion .....	164
<b>TROISIÈME PARTIE - PRINCIPE TÉLÉOLOGIQUE ET SINGULARITÉ DU VIVANT.....</b>	<b>167</b>
<b>Chapitre 6 - La logique des êtres vivants : le jugement téléologique .....</b>	<b>169</b>
6.1 Introduction.....	169
6.2 Les choses naturelles comme cause et effet d'elles-mêmes .....	175
6.3 La Critique de la faculté de juger .....	181
6.3.a L'unité de la troisième Critique.....	181

6.3.b Jugement réfléchissant et jugement déterminant.....	183
6.3.c L'antinomie du jugement téléologique .....	184
6.4 La forme des individus et la formations des concepts .....	188
6.4.a Le jugement réfléchissant .....	190
6.4.b La forme et le but du vivant – La perspective d'Aristote.....	192
6.4.c Le renversement critique de la question.....	194
6.5 Causalité et détermination en biologie.....	198
6.6 Conclusion.....	203
<b>Chapitre 7 - La singularité du vivant.....</b>	<b>205</b>
7.1 Introduction.....	205
7.2 Principe d'intelligibilité .....	208
7.2.a Mathématiques synthétiques et a priori .....	208
7.2.b Schématisme transcendantal, principe causal et symétries.....	211
7.2.c Téléologie .....	213
Du côté de l'objet – transformation morphologique.....	215
Du côté de la construction du concept – transformation formelle .....	216
7.3 Criticité étendue.....	217
7.3.a Dualités conceptuelles, généralité et spécificité.....	217
7.3.b Symétries et brisures de symétries.....	219
7.3.c Espace-temps biologique .....	222
7.4 Conclusion.....	224
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>227</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>235</b>
Anticipation, protension et inertie biologique.....	237
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>251</b>



# **INTRODUCTION**





## INTRODUCTION

Ce travail porte sur la causalité téléologique en biologie, et entreprend une enquête sur ce problème en adoptant un point de vue transcendantal au sens kantien. À l'origine de l'intérêt pour le statut de la téléologie en biologie se trouve la constatation d'un usage nébuleux et ambigu de cette forme causale qui reste, par ailleurs, profondément fructueuse dans l'explication du vivant. Il faut tout d'abord préciser dans quel sens on veut l'analyser. La téléologie est souvent définie comme une doctrine philosophique qui enquête sur les *buts* existants dans la nature. Pour cette raison elle représente un danger métaphysique pour un corpus scientifique comme la biologie, parce que présumer une finalité dans la nature revient à admettre l'existence d'un plan et à renoncer, par cela, à une explication scientifique des vivants. Néanmoins, la téléologie est avant tout une forme causale qui se présente historiquement comme une alternative à la causalité mécaniste. Le lien profond entre le discours sur les fins et l'intelligibilité des êtres vivants a toujours inspiré les philosophes. L'aveu de cette proximité remonte jusqu'à Aristote qui trouve tout à fait insuffisante une explication de type efficient et matériel pour comprendre la disposition anatomique des animaux. Seule la cause finale, le « en vue de quoi », peut expliquer le rôle des parties à l'intérieur de la forme globale des êtres vivants (Aristote 2011, 105–107). L'explication de l'organisme n'est pas donnée par la somme des explications mécanistes de ses parties. Seule une logique qui renverse l'accès à l'être vivant, privilégiant le tout par lequel interpréter les parties, porte une lumière pertinente sur la forme organisée. Mais c'est bien, pour Aristote, une logique des fins qui permet de renverser cet accès et de rendre intelligibles les interactions des parties en fonction du tout. La téléologie, d'autre part, possède encore, dans la biologie contemporaine, un pouvoir explicatif très riche. On se sert de la téléologie à chaque fois qu'on explique un certain aspect (comportement, morphologie, organe, structure, traits, etc.) par la prise en compte du rôle, fût-il contingent, qu'il manifeste non seulement dans un système qui le dépasse (organisme, histoire évolutive, individu, espèce, etc.), mais *pour* ce système même. Autrement dit, la différence fondamentale entre une vision de l'organisation en biologie et l'organisation en physique, consiste dans le fait qu'en biologie la pertinence épistémologique

## INTRODUCTION

appartient aux éléments et aux interactions qui permettent (bien que seulement de manière contingente) la conservation, la prolifération, la transformation, l'adaptation, bref, la vie. Le biologiste ne dit-il pas, par exemple, que la *fonction* du cœur est de pomper du sang ? La montée de l'intérêt pour l'organicisme est, également, un témoignage de la pertinence du langage téléologique. La structure logique par laquelle on peut représenter l'organisation du vivant repose, en effet, sur une forme causale de type téléologique, dans la mesure où elle interprète les comportements des parties à travers le regard sur le tout et sur son économie fonctionnelle et structurelle, bien que, encore une fois, contingente. La théorie de l'évolution, enfin, se sert elle-même d'un langage téléologique lorsqu'elle explique l'apparition d'une forme organisée, ou d'un trait, par ses fonctions adaptatives dans son histoire évolutive. Même si la finalité manifestée dans les dynamiques ontogénétiques et phylogénétiques peut être dite tout à fait apparente et contingente, il reste néanmoins fructueux de se servir d'une forme causale alternative au mécanisme pour détecter les relations pertinentes dans ces dynamiques. La simple constatation de la contingence des effets de ces phénomènes d'interaction à plusieurs niveaux, diachroniques ou synchroniques, bien qu'elle libère la biologie de l'idée des fins existant dans la nature, ne revient pas à écarter ce type spécifique de relation causale. En définitive, à chaque fois que la structure causale mécaniste montre son insuffisance dans l'explication des relations pertinentes du vivant, c'est à cette logique de l'organisation, partant du tout pour interpréter les parties, appelée causalité téléologique, que l'explication s'adresse. C'est donc précisément sur ce type de causalité que nous nous proposons d'enquêter.

Bien qu'aucun biologiste serait prêt à accorder une quelconque portée métaphysique au langage des finalités, la façon dont le langage téléologique est utilisé reste ambiguë. Cette ambiguïté a parfois l'effet de fragiliser les théories qui s'en servent. Elle les expose, par exemple, à des manipulations spéculatives autour de métaphysiques créationnistes et de théories du « dessein intelligent », qui abondent, et dont la prétendue scientificité constitue un vrai danger de confusion. D'autre part, les biologistes, bien conscients de cette obscurité de langage et soucieux de le

## INTRODUCTION

*purifier* de toute dérive métaphysique, ont entrepris, par différentes voies, une démarche de *neutralisation* de cet instrument conceptuel si problématique. Tantôt on a essayé de naturaliser la téléologie, par exemple dans le cadre du débat des fonctions (Voir par exemple Ariew, Cummins, et Perlman 2002; Buller 1999; Allen, Berkoff, et Lauder 1998) ou dans la mise en place de modèles de l'organisation (Voir par exemple Gánti 2003; Kauffman 1993; Rosen 1991; Varela, Maturana, et Uribe 1974). Dans ces deux cas on a cherché une solution au problème en essayant de déduire la téléologie à partir d'une théorie construite autour d'une causalité efficiente. Tantôt la causalité téléologique a été réduite aux explications purement physico-chimiques, comme c'est le cas pour le réductionnisme moléculaire, par le biais de métaphores informationnelles liées à la notion de programme génétique (Voir par exemple Jacob 1970; Mayr 1961). Bref, la pertinence et la force explicative de cette structure causale spécifique portée par la téléologie n'échappe pas à la biologie, qui s'en sert à plusieurs niveaux. Toutefois une stabilisation de ce langage ne nous semble pas accomplie. À ce propos, Ruse (1988, 43) en est arrivé à observer que les biologistes n'ont pas la conscience tranquille quant à l'usage du langage téléologique, ce qui les conduit à le dissimuler sous le terme de « téléonomie ». La place de cette forme causale dans l'explication scientifique légitime reste dans ces conditions quelque peu problématique.

De manière générale la philosophie de la biologie s'est consacrée à trouver des moyens théoriques permettant de faire dépendre la téléologie de la causalité efficiente standard, afin de l'*épurer* de toute conséquence métaphysique (Zammito 2006). Ici nous nous proposons d'emprunter un autre chemin. Ce travail, en effet, vise à dissoudre le statut ambigu de la causalité téléologique par une prise en compte de la nature transcendante et constitutive de la causalité en général. Notre approche ne consiste donc pas à légitimer la causalité téléologique en la *normalisant* par rapport à la causalité efficiente, mais plutôt à montrer que la causalité efficiente n'est pas plus *réelle* ou *existante* dans la nature que sa contrepartie téléologique. Bien au contraire, la causalité en général est une catégorie transcendante dont le rôle et le

## INTRODUCTION

fonctionnement seront bien étudiés. Nous mettrons surtout en évidence son activité de guide dans la construction des concepts organisateurs par le biais des mathématiques.

Ce travail se propose de montrer que la causalité téléologique peut être interprétée comme un principe régulateur, au sens transcendantal et *a priori*, qui permet la détermination d'un ordre spécifique pour la biologie. En raison de ce rôle transcendantal, la forme causale de la téléologie ne fait que manifester un principe par lequel on organise les phénomènes et n'implique pas des conclusions métaphysiques sur l'existence de projets internes ou externes à la nature. Afin d'aboutir à ce résultat, cette thèse doit parcourir différentes étapes dans lesquelles on explicitera progressivement ce qu'on veut dire par transcendantal et *a priori* ; ce que c'est qu'un principe régulateur et en quoi consiste la détermination d'un ordre spécifique. En effet, détecter le statut de principe transcendantal de la téléologie ne se réduit pas à mettre la téléologie du côté de la théorie, supposant, par cela, d'avoir trouvé une solution à son caractère problématique. Le vrai enjeu est de montrer son rôle dans la construction des concepts d'ordre spécifiques pour la biologie : espace/temps pertinents, champ causal, etc.

En raison de cette démarche, ce travail s'appuie fortement sur des questionnements proches de la philosophie des sciences générale, et apparemment non spécifiques de la philosophie de la biologie. On s'interrogera, en effet, sur le statut des lois, des objets, des théories et des principes des sciences du vivant. Or, il faut remarquer que la philosophie de la biologie semble s'être progressivement autonomisée par rapport à ce genre de problèmes (Sterelny et Griffiths 1999), considérés comme trop représentatifs du modèle de science par excellence qu'est la physique (Mayr 1969). Il est clair que la biologie pose des questions philosophiques spécifiques, et différentes de celles de la physique. Elle demande à savoir ce qu'est un individu, par exemple, ou ce que l'on entend par « évolution », « adaptation » et « fonction », ou encore quelle est l'unité de base sur laquelle s'exerce la sélection (Pradeu 2011). La philosophie des sciences générale a donc pu paraître inadéquate

## INTRODUCTION

face à cette spécificité évidente des sciences du vivant. Il est par ailleurs important de remarquer que cette autonomie de la philosophie de la biologie s'est développée en opposition à un cadre de la philosophie des sciences éminemment lié à l'empirisme logique (Hull 1977). Néanmoins, les questionnements de la philosophie des sciences ne se réduisent pas au cadre de l'empirisme logique. Il se peut, alors, qu'une autre attitude puisse s'avérer pertinente pour enquêter sur la théorie de la connaissance en biologie. Nous voudrions, en effet, proposer une enquête constitutive au sens transcendantal. Nous pensons que cette attitude ne revient pas à nier l'autonomie des questionnements philosophiques en biologie, mais elle nous semble indispensable comme condition de possibilité de ces questionnements. Comment peut-on, par exemple, s'interroger sur l'individu sans avoir explicité les processus d'individuation ? Ces processus, selon notre perspective, ne se réduisent pas simplement à l'observation immédiate d'une nature toujours devant nous et disponible pour la connaissance. Bien au contraire les choix théoriques, le processus de construction même des théories, co-constituent l'observation et l'individuation, et doivent donc être explicités.

Proposer une recherche au sens transcendantal signifie explorer les conditions de possibilité de la construction théorique en biologie en se posant du côté du sujet. C'est dans ce cadre qu'on découvrira le rôle constructif de la forme causale de la téléologie. Ce sera à partir des problèmes posés par l'objectivation en physique que nous nous interrogerons sur l'objectivation en biologie. Toutefois, ce travail ne vise pas à proposer une réduction des sciences du vivant à la construction théorique de la physique. Bien au contraire, ce sera justement en détectant les profondes différences entre les processus d'élaboration des connaissances en biologie et en physique qu'on proposera un principe constructif spécifique pour la biologie : le principe téléologique.

Un travail qui se propose de reconnaître un rôle constructif transcendantal à la téléologie pour la biologie est, bien évidemment, confronté en premier lieu avec l'œuvre de Kant. Si c'est bien le criticisme transcendantal, dans son méthodologique

## INTRODUCTION

explicité par l'école de Marbourg (H. Cohen 2001a), qui inspire et nourrit la démarche entreprise ici, il faut par ailleurs se mesurer avec le statut apparemment paradoxal dans lequel Kant *confine* le principe téléologique. D'un côté le philosophe allemand reconnaît la spécificité des êtres vivants en proposant une magistrale définition de l'organisme comme « cause et effet » de lui-même (Kant 1995, 362), qui inspire encore de nos jours nombre de philosophes de la biologie (Voir par exemple Huneman 2007; Steigerwald 2006a; Van De Vijver 2004). De l'autre côté il semble nier toute dignité scientifique à la possibilité d'une construction théorique légitime autour de ce principe. Son avertissement à ce sujet reste très célèbre :

Il est en effet tout à fait certain que nous ne pouvons même pas connaître de façon suffisante les êtres organisés et leur possibilité interne suivant des principes simplement mécaniques de la nature, bien moins encore nous les expliquer ; et c'est même si certain que l'on peut sans hésiter dire qu'il est absurde pour des êtres humains même simplement de concevoir un tel projet, ou d'espérer que puisse un jour surgir encore un Newton qui rende compréhensible ne serait-ce qu'un brin d'herbe d'après des lois naturelles que nulle intention n'a ordonnées ; bien au contraire faut-il absolument refuser ce savoir aux hommes (Kant 1995, 395)

Kant, par ces mots, nie clairement toute possibilité d'une science mécaniste pour les vivants. Est-ce que, dans le système critique, une autre forme de science serait possible pour les êtres organisés ? Notre travail ne vise pas à résoudre la question de savoir s'il est légitime pour Kant d'élaborer une construction théorique à partir du principe téléologique. Notre regard transcendantal se fonde plutôt sur la perspective d'Ernst Cassirer qui infléchit toute la théorie de la connaissance kantienne pour élargir et libérer l'attitude critique des rigidités liées à son premier système. Cassirer ne se demande pas si pour Kant les géométries non-euclidiennes, la théorie de la relativité ou la mécanique quantique auraient été possibles. Il adopte l'esprit critique, qui consiste à accomplir le geste réflexif de s'interroger sur les conditions de possibilité de l'objectivation, et il produit une analyse transcendantale renouvelée face aux nouveaux défis de la physique. C'est exactement de cette manière que nous nous proposons de procéder dans les sciences du vivant, et c'est cette démarche qui sera exposée en conclusion de ce travail. Nous nous servirons de l'interprétation que Cassirer offre de la *Critique de la faculté de juger*, lieu où le

## INTRODUCTION

principe téléologique est pensé par Kant, pour inspirer notre recherche d'un principe constructif adapté aux sciences du vivant. En conclusion nous détecterons, dans la perspective de Bailly, Longo et Montévil, une démarche théorique qui nous semble manifester précisément les conditions de possibilité exigées par le principe que nous aurons formulé.

Or, l'enquête transcendantale que nous proposons peut paraître abstraite pour une science éminemment empirique comme la biologie. Toutefois, selon notre perspective, l'observation et l'expérience dans les sciences ne peuvent pas progresser sans une théorisation qui guide l'activité de la recherche empirique, laquelle, par ailleurs, produit une contrainte de retour sur les théories. La pensée de Bachelard, autre grand pilier philosophique sur lequel se fonde la perspective de notre travail, peut nous aider à éclaircir ce point :

Quel que soit le point de départ de l'activité scientifique, cette activité ne peut pleinement convaincre qu'en quittant le domaine de base : si elle expérimente, il faut raisonner ; si elle raisonne, il faut expérimenter (Bachelard 1991, 7)

Cette thèse est structurée en trois parties. La première partie est essentiellement consacrée à l'explicitation de la philosophie de fond qui oriente et dirige tout notre travail, ainsi que des instruments théoriques dont on va se servir. Cette première partie se compose de trois chapitres. Dans le premier chapitre nous précisons la perspective transcendantale à partir de l'œuvre critique de Kant. Notre effort est, tout d'abord, celui de la mettre à l'abri des malentendus les plus courants qui en font une référence quelque peu suspecte en philosophie des sciences contemporaine. Cet effort nous amène à reconnaître la différence importante entre l'attitude kantienne, qui s'identifie au criticisme transcendantal, et les résultats kantien qui se concrétisent dans son système spécifiquement pensé pour la mécanique newtonienne. Pour ce faire nous allons nous servir de la perspective du transcendantalisme *relativisé* par Cassirer. Nous évaluerons ensuite l'opportunité d'une attitude transcendantale dans les sciences en la comparant avec d'autres attitudes comme le réalisme, l'empirisme et le naturalisme. Cela afin de montrer que la perspective transcendantale n'est pas un antinaturalisme, bien au contraire. En



## INTRODUCTION

effet, par sa capacité de prendre en compte le sujet dans la constitution d'objectivité, elle échappe au danger d'un dualisme transcendant entre la méthode scientifique et le monde.

Le deuxième chapitre explicite la forme de transcendantalisme dont on va se servir en s'appuyant sur la philosophie d'Ernst Cassirer et sur certains points communs de cette philosophie et de l'épistémologie de Gaston Bachelard. Nous exposons tout particulièrement les notions de rupture épistémologique, d'obstacle du sens commun, d'abstraction et de construction par le biais des mathématiques. Ce chapitre est aussi l'occasion d'approfondir un aspect important de la théorie de la connaissance proposée, qui consiste à reconnaître la nature synthétique, au sens kantien, des mathématiques. Nous établissons les bases d'une épistémologie constitutive en général.

Dans le troisième chapitre nous identifions le rôle de principe *a priori* et régulateur que joue la causalité en général. Cassirer, en effet, dans le cadre de la perspective transcendantale, élargit le statut de la causalité en la tenant pour un principe plus vaste proche d'un principe constitutif kantien : elle y devient une maxime régulatrice qui ne fait rien d'autre que d'exiger une détermination qui correspond à la demande de conformité des phénomènes à une loi. Afin de montrer cet aspect nous proposons un parcours critique autour du principe causal, en examinant les passages théoriques entre la mécanique classique et la mécanique quantique.

Une fois que tous ces éléments théoriques ont été explicités, il devient possible d'entreprendre l'interprétation du principe téléologique kantien comme un principe causal régulateur qui produit une détermination spécifique pour la biologie. Par ailleurs, il convient auparavant de montrer pourquoi il nous semble utile de proposer un rôle transcendantal pour la téléologie en opposition à d'autres conceptions possibles du langage téléologique en biologie. La deuxième partie, composée de deux chapitres, est consacrée à l'analyse de deux alternatives possibles à une téléologie transcendantale : la téléologie réduite et la téléologie naturalisée.

## INTRODUCTION

Dans le quatrième chapitre nous prenons en compte la perspective réductionniste de la biologie moléculaire et nous essayons d'examiner la place occupée par la causalité téléologique dans ce type d'explication du vivant. Par cette analyse nous montrons que ce type de théorisation semble *emboîter* la téléologie dans la matière même, au niveau causal supposé être dominant qu'est le niveau des processus de transcription de l'ADN et de traduction de l'information génétique. La téléologie devient une propriété intrinsèque discrétisée en *fragments* censés avoir un rôle spécifique dans le développement. Nous identifions la méthode expérimentale élémentaire à la base de cette démarche, que nous appelons la « méthode différentielle », et par ailleurs nous détectons des difficultés liées à l'attribution causale en biologie moléculaire. De plus nous observons que le réductionniste lui-même rencontre des difficultés importantes dans l'explication de la complexité du vivant. Il convient de préciser tout de suite que la méthode réductionniste en biologie peut s'avérer parfois nécessaire afin de réduire certains excès de complexité, et pour *choisir* un accès simplifié au vivant. Ce travail n'entend pas nier l'utilité de ce genre de pratique. Ce que nous voulons soumettre à un examen critique est plutôt une *idéologie* réductionniste qui a profondément nourri le cadre théorique initial de la biologie moléculaire et qui consiste à oublier le geste théorique du *choix* d'un accès simplifié au complexe. Cette pratique s'exprime en une vision géocentrique qui dépasse largement la simple méthode.

Dans le cinquième chapitre nous prenons en compte le débat sur les fonctions, parce qu'il s'agit d'un cadre de la philosophie de la biologie où la question de la naturalisation de la téléologie s'est explicitement posée. Nous y examinons quelques perspectives parmi les plus importantes. Ce chapitre permet de montrer que lorsque l'attribution des fonctions renonce entièrement à la perspective téléologique, par exemple dans les perspectives systémiques, elle paye un prix trop lourd au niveau de l'explication qui en ressort fort affaiblie. Au contraire les perspectives qui font un appel explicite au rôle explicatif irréductible de la téléologie, par exemple les théories étiologiques, semblent résoudre beaucoup de problèmes au niveau de l'explication. Par ailleurs, lorsque ces perspectives cherchent à naturaliser la

## INTRODUCTION

téléologie, elles font toujours appel à des structures théoriques portant en elles la forme logique de la causalité téléologique (dynamique évolutive, adaptation, organisation, etc.). La téléologie n'est donc pas naturalisée, parce qu'elle n'est pas déduite de la théorie, mais elle est superposée par la théorie, elle constitue en sous-main le cadre théorique. Cette circonstance justifie d'autant plus notre recherche consistant à donner à la téléologie un statut *a priori*.

La troisième partie, composée de deux chapitres, propose une interprétation spécifique du principe téléologique et essaye d'expliquer son fonctionnement de principe régulateur déterminant. Le sixième chapitre se penche sur la *Critique de la faculté de juger* pour enquêter sur certains aspects épistémologiques spécifiques du jugement téléologique : nous insistons en particulier sur son rôle de jugement capable de remonter du particulier vers l'universel et nous détectons, à l'aide de l'interprétation de Cassirer, une tension de transformation (dans le sens spécifique de passage d'une forme à une autre) exprimée aussi bien du côté de l'objet que du côté de la construction de la règle de représentation de cet objet.

Enfin, dans le dernier chapitre nous proposons d'interpréter cette tension de transformation de la représentation de l'objet par la démarche proposée et développée par Bailly, Longo et Montévil. Notamment nous reconnaissons dans le cadre du concept de criticité étendue, ce mouvement de transformation de la forme représentative par la dynamique des brisures de symétries et du changement des espaces/temps pertinents par rapport au changement des observables.

**PREMIÈRE PARTIE**  
**CONSTITUTION D'OBJECTIVITÉ ET**  
**CAUSALITÉ**



# CHAPITRE 1

## LE SENS ET LA CONTINUITÉ DU CRITICISME TRANSCENDANTAL

### 1.1 Introduction

Dans ce chapitre on se propose de mettre en lumière la perspective du criticisme transcendantal dans son sens élargi d'attitude méthodologique. En effet, on veut, par cette recherche, enquêter sur certaines perspectives biologiques actuelles, à partir d'un point de vue transcendantal. Ensuite, on se proposera de trouver, à l'intérieur de la troisième *Critique*, la formulation adéquate d'un principe de construction pour la biologie. Pour cette raison, il est indispensable d'établir, en premier lieu, ce qu'on entend par perspective transcendantale. Cela afin de clarifier la base philosophique qui guide ce travail. En se référant à l'interprétation néo-kantienne de l'École de Marbourg, on va faire ressortir le sens de l'attitude transcendantale dans le domaine plus vaste de la théorie de la connaissance tout en faisant émerger la pertinence de cette attitude dans l'interrogation actuelle des sciences.

Par ailleurs, avant d'entreprendre ce travail, il est indispensable de mettre à l'abri la théorie kantienne, source et origine de l'attitude critique, des malentendus les plus courants qui en minent le sens profond. Par la suite on essaiera de prendre en compte des attitudes différentes dans le cadre élargi de la théorie de la connaissance. S'interroger autour du statut d'une science, du rôle de ses théories par rapport à ses

vérités et, notamment, du degré de *réalité* de ses objets, constitue un questionnement très ancien dans l'histoire de la philosophie et tout à fait riche d'une très vaste variété de positions différentes. Comme on essayera de le montrer, c'est dans ce débat que la fécondité de l'attitude critique transcendantale se valorise. On se propose, ici, de tracer quelques-unes de ces nombreuses nuances épistémologiques contemporaines pour en saisir les caractéristiques principales. Par l'introduction de ce débat, en guise d'esquisse qui ne peut parvenir à l'exhaustivité dans ces pages, nous nous donnons les instruments nécessaires pour reconnaître, au moins de manière générale, quelle est la tendance dominante à ce propos dans les sciences du vivant. En effet, si la physique, et notamment la mécanique quantique, constituent encore un véritable banc d'essai pour la réflexion autour du statut des théories et du degré de réalité de leurs objets, suscitant par cela des positions antinomiques et des interprétations très différentes (Beller 1999) ; la biologie, en raison de son statut de science fortement empirique, semble plutôt accrochée à une attitude variable entre un réalisme scientifique et un empirisme naturaliste. Dans ce chapitre, l'introduction au problème du statut de l'objet scientifique nous offre, tout d'abord, l'occasion de montrer l'intérêt et la fécondité de la perspective épistémologique adoptée ici. On s'occupera notamment du réalisme et de l'empirisme car il s'agit des attitudes les plus proches des sciences du vivant. Une fois prises en compte ces différentes attitudes par rapport aux objets scientifiques et au statut des théories, on essayera de montrer en quoi le transcendantalisme peut se présenter comme une alternative capable de dissoudre certains problèmes d'ordre métaphysique et épistémologique à un niveau général.

Dans la troisième partie de ce travail l'alternative du transcendantalisme s'adressera plus spécifiquement aux sciences du vivant. Toute la première partie de ce travail est consacrée à la mise en place détaillée des instruments opératoires pour entreprendre cette analyse et pour proposer ensuite un possible principe pour les sciences du vivant cohérent avec notre perspective. Pour établir notre cadre philosophique il est indispensable de partir de certaines considérations sur la théorie

kantienne. Cet effort préliminaire va nous permettre d'établir un point fondant pour l'attitude philosophique qui guide ce travail.

## 1.2 Considérations préliminaires

### 1.2.a Kant et la biologie

Il faut d'abord préciser les raisons de choisir Kant comme point de départ pour un travail qui porte sur la philosophie de la biologie. La référence directe à l'œuvre kantienne en philosophie de la biologie, comme on le verra mieux par la suite de ce travail, est très souvent utilisée. Notamment, c'est à la *Critique de la faculté de juger* que cette littérature s'adresse. Cela parce qu'il s'agit du lieu où le problème de la biologie est abordé à l'intérieur de l'œuvre critique. D'autre part, la définition kantienne d'organisme a beaucoup inspiré certains courants de pensée en philosophie de la biologie. On s'occupera de cette question dans une deuxième partie de ce travail. Bien évidemment, une analyse de la troisième *Critique* sera aussi mise en place ici. Par ailleurs, il est important, tout d'abord, d'élargir la perspective et de clarifier le point de vue transcendantal. Cela parce que on se propose d'entreprendre une analyse des principes transcendantsaux *a priori* pour la biologie et pas seulement de comprendre les considérations kantiennees à ce sujet. On passera donc, tout d'abord, par une clarification de la perspective transcendantale. Cela reviendra à soutenir de deux côtés la structure de notre travail. D'une par on y établira la perspective générale qui guide notre analyse des processus d'objectivation, plus ou moins explicites, pratiqués dans les sciences du vivant. De l'autre côté on parviendra à proposer une interprétation épistémologique des considérations kantiennees sur le vivant. En effet, ce travail préliminaire nous fournira aussi l'instrument pour une mise en perspective du jugement réfléchissant dans le domaine plus vaste du criticisme.



1.2.b L'aspect méthodologique du criticisme

Une deuxième considération préliminaire doit se faire sur le choix d'une interprétation spécifique de la philosophie kantienne. Afin d'éclaircir les enjeux épistémologiques que ce travail se propose, il paraît très important d'explicitier, dès le début, la version interprétative du criticisme sur laquelle s'appuie ce travail de recherche. On se réfère ici à l'interprétation de l'école néo-kantienne de Marbourg. Au fur et à mesure que les contenus de la théorie de la connaissance kantienne seront esquissés, cette perspective viendra se manifester plus précisément. En outre, le deuxième chapitre sera consacré, en partie, à en clarifier les enjeux vis-à-vis des transformations des sciences, notamment par une prise en compte du processus de relativisation des *a priori* kantien mis en place par Ernst Cassirer. Il est néanmoins important de rappeler, tout de suite, le point central autour duquel, avec des voix différentes, l'école néo-criticiste s'est construite. La nouvelle interprétation de la pensée kantienne proposée par Hermann Cohen (2001a) a tout particulièrement insisté sur son contenu méthodologique. D'après cet auteur l'œuvre kantienne est à prendre comme une méthode transcendantale censée expliciter les conditions permettant de comprendre comment une connaissance est possible. Pour l'école de Marbourg, dont Cohen est le père fondateur, le pilier de la philosophie critique de Kant est à chercher dans le problème de la possibilité de la connaissance en général (Cassirer, Cohen, et Natorp 1998; Philonenko 1989). L'entreprise de Cohen de rétablir l'authenticité de la perspective critique, par la production d'une interprétation méthodologique, s'avère et se concrétise dans le résultat d'avoir libéré les structures transcendantales de tous résidus psychologiques (Anderson 2005). Cette perspective, comme on verra ci-après, manifeste le sens profond de l'attitude transcendantale tout en dévoilant sa pertinence pour une interrogation contemporaine sur les sciences. Cela fait de la perspective critique, grâce précisément aux *a priori* compris dans ce sens, un instrument opératoire pour une interpellation des nouveaux concepts scientifiques.

Le choix de commencer par Kant réside, donc, dans l'intérêt d'établir une perspective transcendantale par laquelle aborder, ensuite, une réflexion sur les sciences du vivant. Par ailleurs, comme on l'a dit, plusieurs malentendus font du kantisme une référence suspecte dans les domaines scientifiques. Cela rend encore plus nécessaire de s'attarder un peu attentivement sur sa pensée. Pour ce faire, quelques autres considérations préliminaires sont nécessaires. Comme on l'a dit, c'est à partir du problème de la connaissance qu'on envisage Kant. Ce type de questionnement a fait surgir, dans l'œuvre critique, un corpus systématique de structures *a priori*, ainsi qu'un ensemble de dynamiques régissant ces structures. Or, plusieurs fois, la perspective critique a été assimilée à ce corpus de structures fixées une fois pour toute par Kant. Par ailleurs, il est indispensable de cueillir une différence essentielle entre le résultat kantien et la perspective kantienne. L'un découle de l'autre, mais c'est cette dernière qui constitue le vrai contenu de la *révolution copernicienne* de la connaissance opérée par Kant. Le champ scientifique auquel Kant appliquait le questionnement transcendantal dans la *Critique de la raison pure* était la mécanique newtonienne, avec sa structure géométrique ainsi que ses mathématiques propres. Il est donc bien naturel que le système des facultés et des catégories issu de ce questionnement soit modelé autour de la structure conceptuelle propre de ce corpus scientifique spécifique. Le lien intime de la perspective kantienne avec la mécanique newtonienne a souvent constitué une limite à la compréhension profonde du criticisme comme attitude philosophique. Ainsi, à chaque fois qu'une révolution scientifique s'est produite depuis, provoquant des secousses profondes qui ont ébranlé les fondements de la mécanique newtonienne (tout du moins la possibilité d'unifier tous les phénomènes sous les mêmes principes issus du corpus de la mécanique newtonienne), la déclaration officielle des obsèques du système critique kantien n'a pas tardé. Cela s'est produit à cause de deux facteurs principaux d'incompréhension de l'esprit kantien. Le premier se trouve à un niveau plus superficiel alors que le deuxième touche vraiment le sens le plus profond du criticisme. D'un côté il y a juste une référence à Kant souvent très partielle et indirecte qui n'a fait que contribuer à construire des préjugés sur la structure même

de son système et, par conséquent, sur la signification des conditions *a priori*<sup>2</sup>. Mais, bien plus que ça, il y a en général l'idée, comme on l'a dit, que le criticisme se réduit au système des facultés répertoriées et décrites par l'œuvre kantienne. Ce système est pris en bloc comme un ensemble de propriétés fixes et rigides de la connaissance ; une sorte de dénombrement définitif des structures *a priori*. À chaque fois que ces structures ne collent plus avec les sciences comme elles se présentent aujourd'hui, voilà que le criticisme tout entier est laissé de côté. Or, ce qui est très important de souligner ici c'est que le criticisme ne constitue pas un ensemble immuable de formes *a priori*. Il s'agit plutôt, comme on l'a déjà évoqué, d'une attitude philosophique consistant à s'interroger autour des préconditions de l'expérience. Cela signifie que ses résultats ne sont jamais stabilisés d'une façon définitive. Au contraire la philosophie transcendantale a le devoir de réinterroger sans cesse les concepts scientifiques pour en donner une justification formelle à chaque fois renouvelée (Cassirer 1977). Le criticisme est une théorie de la construction des concepts et de la constitution d'objectivité qui remonte aux conditions conceptuelles des processus scientifiques. Dans ce sens on peut le concevoir comme une justification formelle des concepts scientifiques. Il nécessite une mise en question perpétuelle de ses résultats par un contact direct avec les évolutions scientifiques. Le centre de la philosophie critique, selon la perspective adoptée ici, n'est donc pas à chercher dans son résultat spécifique, structuré par un ensemble rigide de catégories et de formes de l'entendement. Cet ensemble est certainement inapproprié aux structures scientifiques contemporaines et de ce point de vue il se montre vulnérable à toutes sortes de critiques détaillées. Le contenu révolutionnaire de l'œuvre critique est à chercher, plutôt, dans la perspective transcendantale en elle-même : c'est-à-dire, redisons-le, dans l'attitude de s'interroger sur les conditions de possibilité *a priori* qui rendent possible l'expérience des phénomènes.

---

2 On fait référence ici notamment au débat sur l'arithmétisation des mathématiques au cours du XIX<sup>ème</sup> et XX<sup>ème</sup> siècles. À cette occasion le kantisme a été assimilé à un intuitionnisme naïf à cause de véritables fautes d'interprétation, notamment sur les termes *synthétique* et sur le rôle de l'intuition en mathématiques. On reviendra plus en détail sur ce point lorsque on portera ce débat comme exemple pour introduire le rôle des mathématiques dans notre perspective.

1.2.c Transcendantal et *a priori*

Ici, une ultérieure observation s'impose. Il est, en effet, nécessaire de dissoudre encore deux malentendus au sujet des concepts de *transcendantal* et de *a priori*. Une mauvaise compréhension de ceux-ci a, en effet, produit une confusion sur la légitimité et la pertinence de la perspective critique en la soupçonnant d'être absolument spéculative ou simplement désuète par rapport aux transformations scientifiques après la mécanique newtonienne.

Sur le terme *transcendantal* et ses possibles confusions avec le *transcendant* beaucoup a déjà été dit. Il paraît cependant utile ici de revenir rapidement sur la question, puisque dans ce travail il est impératif de pouvoir utiliser sans ambiguïté le mot *transcendantal*. Bien que chez Kant on puisse effectivement trouver la raison d'une confusion entre ces deux concepts, leur différence profonde demeure très claire dans la définition lucide qu'il donne du transcendantalisme à l'intérieur de la *Critique de la raison pure* : « Je nomme *transcendantale* toute connaissance qui s'occupe en général moins d'objets que de notre mode de connaissance des objets, en tant celui-ci doit être possible *a priori*. Un système de tels concepts s'appellerait *philosophie transcendantale* » (Kant 2001, 110). Une philosophie transcendantale s'occupe du *mode* de connaissance des objets. La différence est donc, simplement, la suivante : le terme *transcendant* désigne, selon la tradition métaphysique et théologique, quelque chose qui se trouve au-delà de l'expérience, dans un champ qui dépasse, en quelque sorte, les phénomènes. Le terme *transcendantal*, au sens kantien, est propre à ce qui se trouve antérieurement à l'expérience comme condition de possibilité *a priori* de celle-ci. La philosophie transcendantale a, donc, le rôle de s'interroger sur le procédé de la connaissance en général, répondant à la question de comment celle-ci est-elle possible. Plus précisément, il s'agit de comprendre la possibilité de constitution des objets par l'explicitation de la formation des concepts de ces objets. Ce processus, comme on l'expliquera mieux par la suite, est synthétique et *a priori* et c'est précisément en cela que consiste la nouveauté de l'approche kantienne. La philosophie transcendantale n'est pas une science des objets, elle permet de

comprendre le statut des objets puisqu'elle relève de leur structure conceptuelle et donc formelle. Par ailleurs, elle n'est pas non plus une science des transcendances, car les conditions *a priori* de l'expérience ne se trouvent pas en dehors de celle-ci. Cette distinction préliminaire est fondamentale. Cependant elle ne suffit pas à dissoudre les hésitations qui se sont accumulées contre cette attitude philosophique, et notamment dans le domaine de la philosophie des sciences.

Le deuxième malentendu à dissoudre porte sur le caractère *a priori* des préconditions recherchées. Ce terme, notamment dans le cadre kantien, est souvent assimilé à l'idée d'inné, contribuant à rendre fixes les formes *a priori* de la critique. Cet aspect, toujours fruit d'un malentendu, constitue un empêchement à se servir librement de l'attitude transcendantale sans être emprisonné par la lettre, parce que, si les formes *a priori* sont innées elles sont donc automatiquement rigides, fixes. Elles ne peuvent pas accueillir des structures scientifiques différentes de celles de la mécanique newtonienne. Cela reviendrait à dire, soit que les structures *a priori* de la pensée sont inadéquates à toutes autres constructions théoriques ne reposant pas sur les cadres kantien de l'espace et du temps, soit, et bien plus simplement, que le système kantien se révèle faux à partir, au moins, de la découverte des géométries non-euclidiennes et qu'il doit être abandonné. On ne verrait, en effet, aucun intérêt à expliciter des éventuelles formes *a priori* nouvelles à l'égard des révolutions scientifiques. Au contraire ces révolutions, en niant les principes précédents, nieraient tout simplement l'existence d'un système uniforme de la nature présent dans les formes *a priori*. Comme on l'a dit, il s'agit d'un malentendu. Les formes *a priori* chez Kant sont nécessaires, universelles et *a priori* mais cela ne signifie pas qu'elles sont innées. Il est très important d'éclaircir ce point. La dynamique de la connaissance est décrite par Kant par le biais de facultés et de catégories en interaction avec les phénomènes comme ils se donnent aux intuitions *a priori*. Par ailleurs, ces formes ne sont pas des facultés psychologiques qui accueillent l'expérience. Il n'y a pas vraiment un sujet psychologique séparé d'un objet ontologique. La spontanéité des facultés du sujet, on peut dire plutôt du pôle subjectif

de la relation, ainsi qu'elle est décrite par Kant, est toujours en activité d'unification du divers. Ce processus d'unification, où le pôle sujet et le pôle objet se conforment l'un à l'autre pour donner lieu à une connaissance compréhensible, partageable, féconde et universelle, s'appelle synthèse du divers et peut se passer, comme on le verra, *a posteriori*, si elle opère sur le divers empirique, ou *a priori*, si elle opère sur le divers pur. La synthèse s'articule dans un processus dynamique continu qui n'est pas vraiment séparable en deux entités détachées. Ainsi il n'y a pas de formes *a priori* qui préexistent indépendamment de ce processus à double direction (sujet-objet). La nature au sens formel, c'est-à-dire le concept de la nature, n'est, pour Kant, en aucun cas indépendant de l'expérience et *vice versa*. Lorsque on parle d'une forme *a priori* comme d'une condition antérieure à l'expérience, on ne veut pas dégager une antériorité au sens ontologique comme si elle existait séparément quelque part. L'antériorité n'a pas non plus un sens chronologique, comme s'il y avait un moment donné ou l'on peut reconnaître de façon pure cette forme fixe avant même la mise en place de l'expérience des phénomènes. Il s'agit d'une antériorité qu'on sélectionne pour parler des formes *a priori* comme conditions de l'expérience. Mais ces formes *a priori* ne sont pas non plus tirées simplement de l'expérience. De ce côté de la relation non plus il n'y a pas de possibilité d'existence de l'expérience de façon indépendante de la spontanéité du sujet. On peut considérer que les deux pôles de la relation, dans une perspective transcendantale, se constituent mutuellement. Comme Cohen le constate très lucidement, il y a une différence capitale entre l'opposition *inné/acquis* et la position kantienne (H. Cohen 2001b, 34). L'originalité de la position kantienne, quand bien même non complètement explicite à l'intérieur de l'œuvre critique<sup>3</sup>, manifeste un rapport réciproque de ces deux pôles apparemment opposés qui sont les formes *a priori* et les catégories d'un côté et l'expérience de l'autre. C'est justement contre l'interprétation psychologue des *a priori* que Cohen propose son interprétation de la dynamique transcendantale de la connaissance kantienne. L'établissement de la perspective transcendantale, une fois bien assumée, ne permet pas de considérer les formes *a priori*, ainsi que les catégories, comme des structures

3 Cela notamment si on se limite à une référence à l'*Esthétique transcendantale*.

psychologiques appartenant au sujet de manière transcendante comme l'évoque la notion d'inné. C'est dans ce sens aussi que se précise la différence entre transcendant et transcendantal au sens kantien. La mauvaise compréhension de ce point vient surtout de la tendance à interpréter l'*Esthétique transcendantale* de façon détachée et autonome par rapport à la *Logique transcendantale* et en général à la structure complexe du transcendantalisme<sup>4</sup>. Comprendre la possibilité de cette réciprocité à l'intérieur de l'œuvre kantienne est fondamental pour que le processus de synthèse *a priori* assume pleinement son sens constructif et constitutif<sup>5</sup>. Or, sur la question inné/acquis Kant semble bien ouvrir cet horizon dans sa réponse à Ebehrard. À celui-ci, qui l'accusait de ne rien ajouter à la philosophie leibnizienne par sa théorie des formes *a priori*, Kant réplique :

La *Critique* n'accorde absolument aucune représentation innée par création ou inné<sup>6</sup> ; qu'elles appartiennent à l'intuition ou aux concepts de l'entendement, elle les tient toutes ensemble pour *acquises*. Mais il y a également une acquisition originaire. (Kant 1985, 1351)

Ces observations permettent de jeter une lumière différente sur la signification de la perspective transcendantale. L'acquisition originaire évoque, ou tout de même n'exclut pas, la possibilité d'envisager le type de symétrie entre le sujet et l'objet décrite auparavant. C'est à partir de ces considérations que devient alors pertinent de produire une relativisation des *a priori*. En d'autres termes, c'est seulement par cette perspective que le kantisme peut être pris comme attitude méthodologique. C'est alors tout à fait légitime de reproduire la même attitude

---

4 C'est notamment contre les interprétations psychologues de Tredelenburg et Kuno Fischer que Cohen établit son regard pour sa nouvelle interprétation du kantisme.

5 Comme on verra par la suite, dans la perspective kantienne il est très important de distinguer le processus de construction mathématique du processus de constitution physique (qui passe toujours par les mathématiques). Cette distinction assume un sens d'autant plus important dans notre travail puisqu'on se propose d'établir un principe de construction pour la biologie issu du processus mathématique.

6 La notion d'inné par création provient de la réflexion juridique kantienne et signifie con-généré au moment de la création par un Dieu. Ce qui est très important de remarquer ici c'est que pour Kant les formes *a priori* ne trouvent pas de place dans ces deux caractérisations. Elles ne sont ni con-générées au moment de la création divine, ni innées dans l'être humain. Les seuls aspects qui peuvent, éventuellement, être caractérisés d'innés dans la pensée kantienne sont la réceptivité de la sensibilité et la spontanéité de l'entendement. (Boyer 2001, 64).

transcendantale à l'égard des révolutions scientifiques qui ont suivi la mécanique newtonienne, comme cela a déjà été fait à partir de l'École de Marbourg en passant ensuite par une mise en perspective de la mécanique quantique<sup>7</sup>. Ce travail veut, en effet, contribuer à produire une attitude transcendantale envers des sciences du vivant.

#### 1.2.d Kant et la possibilité d'une science biologique

Une dernière question préliminaire nécessite, à ce point, un éclaircissement. L'énonciation kantienne autour du vivant à l'intérieur de la troisième *Critique* semble nier complètement la possibilité d'une science au sens propre pour les êtres organisés. Cette conviction passe aussi par l'avertissement explicite que Kant même donne sur la possibilité d'une science mécaniste de la biologie :

Il est en effet tout à fait certain que nous ne pouvons même pas connaître de façon suffisantes les êtres organisés et leur possibilité interne suivant des principes simplement mécaniques de la nature, bien moins encore nous les expliquer ; et c'est même si certain que l'on peut sans hésiter dire qu'il est absurde pour des êtres humains même simplement de concevoir un tel projet, ou d'espérer que puisse un jour surgir encore un Newton qui rende compréhensible ne serait-ce qu'un brin d'herbe d'après des lois naturelles que nulle intention n'a ordonnées ; bien au contraire faut-il absolument refuser ce savoir aux hommes (Kant 1995, 395).

Ici Kant est certainement en train de nier toutes possibilités d'une science *mécaniste* pour le vivant. Par ailleurs, dans ce travail, on essaiera de montrer que le jugement réfléchissant, c'est-à-dire le type de jugement par lequel on parle de la nature organisée d'après Kant, a un caractère épistémologique qui représente une alternative très spécifique aux jugements déterminants mécanistes. On reconnaîtra, donc, dans ce jugement, un instrument d'inversion du processus de synthèse qui permet une construction d'un principe d'ordre pour la biologie. Comme déjà précisé, on ne conclura pas que cette construction est possible pour Kant, mais simplement qu'elle est possible dans un cadre transcendantal. On trouvera, à la fin de ce travail, une démarche analogue dans la perspective de Bailly, Longo et Montévil et on

---

7 Pour un recensement des différentes perspectives transcendantales en mécanique quantique on renvoie à (Kauark-Leite 2012).



travaillera sur cette perspective avec le but d'expliciter cette dynamique transcendantale de construction qu'on aura reconnue chez Kant et dont on aura élargi le périmètre grâce aux perspectives de relativisation des *a priori*. Cela nous occupera dans une réflexion sur le rôle des mathématiques, en tant que processus constructif, pour les sciences du vivant. Or, pour cette analyse qu'on va entreprendre à la fin de ce travail, beaucoup de choses doivent être introduites et ce n'est donc pas possible d'en clarifier plus précisément les contours dans ce chapitre introductif. On s'occupera plus diffusément de ce problème par la suite. Le sixième chapitre, notamment, sera entièrement consacré à une analyse de la troisième *Critique* qui, toutefois, ne sera pas proposé dans le but d'offrir une exégèse kantienne, mais afin de produire des instruments opératoires qui nous permettront de forger une dynamique de construction qu'on appliquera aux sciences du vivant. Pour toutes ces raisons, encore une fois, il paraît indispensable de commencer ce travail par la prise en compte de la perspective critique en elle-même.

C'est, donc, cette pensée transcendantale qu'on essaye de mettre en lumière dans les pages qui vont suivre.

#### 1.2.e La révolution copernicienne de Kant

Une interprétation de la genèse de la pensée critique, aussi bien d'un point de vue historique, que à l'intérieur même de la pensée kantienne, demanderait une ample discussion qu'il n'est pas possible d'entreprendre de manière exhaustive ici. Une vaste littérature est à disposition pour cela. Par ailleurs, il est utile de rappeler, ne serait ce que en esquisse, quelques-unes des caractéristiques qui font de la pensée critique une véritable révolution copernicienne, notamment selon la perspective néo-kantienne adoptée ici<sup>8</sup>. Kant a été le philosophe qui, pour la première fois, a introduit une discipline spécifiquement censée interroger la science du côté de ses conditions de possibilité. Il s'agit de la philosophie transcendantale. Cette nouveauté, dans le

---

8 Pour approfondir cette brève esquisse de la pensée kantienne par des interprétations proches de celle adoptée ici on peut renvoyer par exemple à (Longuenesse 1993; Friedman 1992; Puech 1990).

## CHAPITRE 1 LE SENS ET LA CONTINUITÉ DU CRITICISME TRANSCENDANTAL

panorama philosophique de l'époque, venait combler un vide entre deux perspectives majeures dans le domaine des théories de la connaissance : l'empirisme et le rationalisme. C'est donc à l'intérieur de ce contexte philosophique qu'on peut cerner la nouveauté du criticisme.

Il faut, tout d'abord, rappeler une occurrence historique. C'est avec l'apparition des nouveaux corpus théoriques issus de la révolution scientifique du XVII<sup>ème</sup> siècle que la question philosophique autour de la théorie de la connaissance se pose avec une intensité renouvelée. Les révolutions scientifiques de l'âge moderne posent aux philosophes le problème de savoir qu'est-ce qu'un ensemble de propositions sur le monde à caractère universel et nécessaire. Les questions tournent autour de deux grands axes principaux. D'un côté il y a la méthode expérimentale, le savoir empirique, qui élargit son champ d'investigation, tout en posant les premières limites positives au savoir scientifique. Il y a là, en effet, la première renonciation à l'absolu comme principe de la réalité. De l'autre côté, par ailleurs, le rapport de la cause et de l'effet est représenté par des grandeurs mesurables par les mathématiques et manifeste donc son côté rationnel. On trouve, alors, d'une part la raison de l'homme, sa faculté rationnelle, représentée par les mathématiques et de l'autre part l'expérience, c'est-à-dire le pôle du monde et de sa réalité qui se manifeste. Ces deux oppositions se trouvent déjà présentes, au moins comme extrémités d'une tension dynamique de la pensée, à l'esprit des protagonistes des sciences modernes (Banfi 1969). Galilée, père de la méthode expérimentale, valorise la rationalité par laquelle, seule, il est possible d'élever la structure de l'expérience au statut de légalité générale des phénomènes. La méthode expérimentale peut interroger les phénomènes seulement si une rationalité traverse le questionnement. Descartes trouve l'ordre de la rationalité directement dans la structure intime de la nature, transposant, de quelque sorte, le pôle rationnel à l'intérieur du pôle de l'expérience. Newton, par son *Hypotheses non fingo*, se considère un simple observateur qui déduit les lois des phénomènes grâce à la philosophie naturelle. Pour cette raison, la cause de la gravitation n'a pas, d'après lui, à être recherchée par le philosophe de la nature.

Néanmoins, à titre de fondement de la construction mathématique de la gravitation, il introduit les concepts rationnels d'espace et de temps absolus, très loin d'être des observables déduits des phénomènes, mais nécessaires à garantir l'universalité aux lois des mouvements.

La question philosophique se condense, alors, dans la difficulté de comprendre l'étonnante fécondité de l'aventure scientifique moderne, sa capacité de donner une description mathématiquement cohérente des phénomènes. Cela revient à comprendre quel est le rapport entre les mathématiques d'une part, et l'expérience de l'autre, qui, en définitive, renvoient à deux axes plus abstraits du problème : la rationalité du sujet et le monde des phénomènes. Plus généralement, dans l'histoire de la pensée scientifique moderne, le lieu légitime de l'universalité des lois régissant les phénomènes rebondit d'un pôle à l'autre entre le sujet et le monde de l'expérience (Banfi 1969).

Dans ce parcours, il paraît décisif de rappeler le réveil du sommeil dogmatique de Kant, c'est-à-dire la découverte, à partir de la lecture de Hume, du caractère empirique du principe de causalité. Celui-ci ne pouvait plus, dorénavant, être considéré comme un principe analytique tirant de la cause l'effet qui aurait été pré contenu en elle. Or, Hume montrait que, en restant dans le champ de l'expérience, c'était impossible de garantir le caractère d'universalité et de nécessité du principe de causalité. D'après Hume, une telle connexion reposait uniquement sur l'habitude. En d'autres termes, quel que soit le nombre des cas observés de l'occurrence d'un effet suite à un événement, rien n'autorise jamais de lui attribuer aucune nécessité. Cet aspect avait des conséquences sceptiques radicales. En effet, la relation de causalité allait perdre complètement le caractère d'universalité qui assurait légitimité scientifique à toutes connaissances fondées sur elle, à cause du caractère fragmenté de l'expérience, incapable pour elle-même de se poser à fondement nécessaire et universel. La mécanique newtonienne, ainsi que tous les projets de savoir scientifiques, allaient se briser contre cette difficulté de principe, estimant une telle corrélation de dépendance une pure illusion. Or, si on s'est attardé un peu sur le

problème posé par Hume, c'est parce que il permet d'introduire la pensée critique directement par son originalité. En effet, c'est précisément dans la réaction kantienne à cette catastrophe sceptique que se situe sa nouveauté, mettant en œuvre l'attitude fondamentale qui constitue l'axe principal du programme méthodologique de la perspective transcendantale.

La réflexion kantienne part de l'évidence qu'un corpus scientifique existe, tel la mécanique newtonienne, et se compose d'assertions à caractère universel et nécessaire qui parlent des phénomènes. Le problème devient alors celui de comprendre comment peut exister une science nécessaire tout en restant, en même temps, empirique. Kant considère que toute connaissance provient de l'expérience. C'est seulement à partir de celle-ci qu'une réflexion est possible. Par ailleurs, l'expérience n'est pas exhaustive et ne fournit pas directement tout ce qui est nécessaire pour qu'une connaissance se mette en place. Kant, avec Hume, est bien conscient que le principe de causalité ne peut pas être tiré de l'expérience. En revanche, ce principe a bien une valeur dans le corpus scientifique, au même titre que les caractères de nécessité et d'universalité. S'il est clair pour Kant qu'on ne peut pas trouver du côté du pôle de l'expérience un fondement fiable à la structure universelle des assertions scientifiques, il est par ailleurs certain que celui-ci n'est pas le seul pôle protagoniste de la démarche scientifique. C'est ainsi que Kant se tourne vers le pôle du sujet. Les caractères d'universalité et de nécessité n'étant pas dans l'expérience, ils doivent, de quelque manière, appartenir à la pensée. Ils sont, donc, des conditions *a priori*. Mais ces conditions *a priori* ne sont pas non-plus simplement des structures rationnelles indépendantes et psychologiques. C'est dans la dynamique avec l'expérience qu'elles ont un pouvoir fécond. Dans ce sens le principe de causalité, pour Kant, n'est pas non-plus simplement analytique. La question n'est donc plus comment la connaissance s'accorde aux objets, ni comment les objets manifestent leurs propriétés. La question pour Kant devient comment les objets se règlent sur la connaissance à l'intérieur d'une dynamique réciproque. Ce renversement, appelé par Kant même une *révolution copernicienne*, constitue le

caractère principal de la pensée kantienne qui en fait, à juste titre, un programme méthodologique. C'est à partir de ce renversement qu'une perspective transcendantale s'établit. Il s'agit d'un résultat complètement original pour affronter le problème de la connaissance qui se posait à l'époque. La nécessité et l'universalité ne sont plus à chercher dans la nature elle-même, mais dans les structures imposées par la pensée. L'objectivité n'est plus simplement dans le monde, comme une propriété intrinsèque. Elle se constitue de façon spécifique par l'interaction entre la réception des phénomènes et l'acte qui les organise. Cela dans une dynamique de la connaissance articulant, de façon inédite, les deux pôles impliqués : d'un côté le pôle de la *réalité* (de l'expérience, du monde) et de l'autre côté de la rationalité (des mathématiques, bref le pôle du sujet). Cette dynamique s'exprime dans la nouveauté de l'activité de *synthèse a priori*.

### 1.3 La synthèse *a priori*

Expliciter la dynamique de la synthèse *a priori*, ainsi qu'elle est exposée dans la première *Critique*, est, pour les buts de notre travail, une tâche très importante. Une fois établi le processus de synthèse, ce sera en effet possible de regarder à la partie consacrée par Kant à la biologie avec une perspective plus large. Notamment, on aura les instruments pour cerner le sens du jugement réfléchissant à l'intérieur de cette dynamique de la synthèse *a priori*. On reviendra sur cette dynamique dans le deuxième chapitre, lorsque on s'attardera sur la question mathématique chez Kant et chez Cassirer. Le caractère synthétique de cette dynamique provient du fait que les mathématiques, acteurs principaux de ce processus chez Kant, sont, elles aussi, synthétiques. Cet aspect, comme on va le voir, abrite un des malentendus le plus important de la perspective transcendantale : le rôle attribué par Kant à l'intuition dans les mathématiques. Éclaircir ce nœud assume une importance capitale pour ce travail. En effet, notre ambition est de proposer un principe de construction transcendantal *a priori* pour la biologie. Ce principe sera issu du jugement réfléchissant. Or, ce jugement, pour qu'il soit compatible avec la perspective qu'on

s'est donnée, et surtout pour qu'il puisse vraiment être opératoire pour la biologie, doit impérativement être mis en perspective à l'intérieur de cette dynamique de synthèse de construction des concepts (mathématiques) et de constitution des objets (physiques) dont les mathématiques sont un pilier. Cette partie de notre travail n'a donc pas un intérêt philologique, ou de pure exégèse. Elle constitue une condition de possibilité pour parler, après, de principe de construction pour la biologie.

### 1.3.a La logique transcendantale

Comme on l'a vu, la nouveauté de l'approche de la philosophie transcendantale de Kant réside dans la structure dynamique de la connaissance. Celle-ci s'articule entre le *synthétique* et l'*a priori*. Pour comprendre profondément le sens et la portée de l'activité de synthèse *a priori* il est nécessaire de s'adresser à la *Logique transcendantale*, c'est-à-dire le lieu de la *Critique de la raison pure* où principalement s'expriment les objectifs et les résultats les plus originaux du criticisme. Pour comprendre intimement la nature de l'activité de la synthèse à l'intérieur du système critique kantien il est nécessaire de capturer la fonction de la logique transcendantale en opposition avec la logique générale. Cela permet de mettre en lumière la fécondité de l'activité de synthèse par rapport à la simple analyse à l'intérieur du processus de connaissance scientifique.

Kant dans sa première *Critique* définit la logique comme la « science des règles de l'entendement en général » (Kant 2001, 144). La logique générale comprend les lois absolument nécessaires de la pensée à un niveau de complète abstraction des contenus et des objets de la pensée. Il s'agit de la logique traditionnelle aristotélicienne ; une science qui s'adresse à l'immuable structure du savoir et de sa faculté d'analyse des contenus conçus comme des objets donnés à la pensée. À l'intérieur de cette forme de logique la seule opération possible est celle de décomposer les contenus donnés. L'entendement ici, dans son activité d'individuation des conditions de validité de la connaissance, s'adresse uniquement à soi-même. Kant la définit comme une science « brève et aride » (Kant 2001, 145), justement parce

que elle ne s'adresse jamais aux objets et elle n'est donc pas le fondement suffisant à une connaissance féconde. Elle ne fait qu'établir des critères généraux et formels. Ne s'adressant pas aux objets, elle ne peut rien dire sur la conformité des lois avec les objets. Bien évidemment, il s'agit d'un élément très important dans le processus de la connaissance puisque il est vrai que chez Kant cette logique est la *conditio sine qua non* de tous contenus possibles de connaissance. Cependant, la logique générale est complètement insuffisante à établir la façon dont on peut parvenir à des contenus qui s'adressent aux objets de la nature et qui, enfin, parlent de la nature. Or, comme cela est établi par la perspective néo-kantienne, le problème principal du programme du criticisme est celui de savoir comment est-il possible pour l'entendement de produire des connaissances fécondes. C'est à ce propos que la logique transcendantale est introduite. Elle constitue l'instrument qui permet de considérer, non seulement les lois de l'entendement en soi, mais la façon dont elles s'appliquent, c'est-à-dire leur fonction *a priori* dans la détermination des objets. Kant établit déjà, dans cette introduction de la logique transcendantale, une dynamique de la connaissance qui manifeste un mouvement actif de mettre en accord qu'on va essayer d'explorer.

Un premier repère très important à retenir de la perspective kantienne est que la connaissance n'est pas une reproduction passive d'un modèle fixe de l'objet donné. Kant décrit de cette façon ce processus de synthèse : « J'entends alors par synthèse, dans la signification la plus générale, l'action d'ajouter différentes représentations les unes aux autres et de rassembler leur diversité dans une connaissance » (Kant 2001, 161) où l'on voit très clairement que la connaissance est caractérisée comme quelque chose d'actif et d'unificateur par rapport aux représentations. Or, si la connaissance n'est pas passive vers les représentations, c'est-à-dire qu'elle ne provient pas d'une simple observation de celles-ci, cependant elle n'est pas non plus purement déductible à partir des concepts. Dans la première *Critique*, la faculté spontanée de l'entendement ne se limite pas à accueillir le divers en discernant les différents aspects qui le composent. Elle combine et compose en unifiant. Cette activité d'unification s'exprime dans le caractère de *mettre en accord* que l'activité de synthèse manifeste. La synthèse est absolument prioritaire par rapport à l'analyse.

C'est dans ce sens qu'on peut lire : « (...) là où l'entendement n'a auparavant introduit aucune liaison, il ne peut non plus rien dissocier (...) » (Kant 2001, 197)

Par cette première introduction à la perspective kantienne, nous avons esquissé les caractéristiques principales du transcendantalisme. On reviendra plus en détail sur la doctrine de Kant, et notamment sur la question des mathématiques, dans le deuxième chapitre de ce travail lors de l'examen de la position de Cassirer. Cette analyse nous permettra de mettre en lumière un processus dynamique dont on se servira ensuite pour notre construction d'un principe pour les sciences du vivant. Ici nous essayons de montrer dans quel sens le transcendantalisme peut se porter comme une perspective alternative au réalisme et à l'empirisme de façon générale. Pour ce faire on va aborder quelques-uns des thèmes principaux du débat plus général dans la théorie de la connaissance.

#### **1.4 Le statut de l'objet scientifique**

Le but de cette partie est de montrer les avantages de la position transcendantale dans le domaine plus vaste de la réflexion épistémologique par l'introduction des autres perspectives plus courantes en philosophie des sciences et notamment dans les sciences du vivant. On va ici prendre en compte le réalisme et l'empirisme. Ces deux regards, traditionnellement en opposition, vont manifester des points communs ainsi que des difficultés proches qu'on reconduira, avec quelques précisions, à une attitude plus générale de naturalisme. Ce sera précisément en opposition à certaines dérives métaphysiques de cette attitude qu'on proposera le transcendantalisme.

##### **1.4.a Réalismes et empirismes**

Le réalisme scientifique se décline en plusieurs formes différentes qu'on ne peut pas prendre en compte de façon complète ici (On renvoie à Harré 1986), mais il est tout de même possible de détecter un cœur philosophique assez stable parmi les différentes tonalités de cette position. On peut le qualifier comme une attitude



épistémique positive envers les théories et les modèles scientifiques demandant une adhésion à la vérité des aspects du monde qui en émergent ( Chakravartty 2011). Le degré de correspondance entre vérité des théories et réalité des entités se nuance en fonction des positions adoptées par les défenseurs de cette perspective. Si l'on se tient à la définition générale qui en donne, en s'y opposant, Van Fraassen (1980, 8), le réaliste scientifique s'engage à soutenir que les théories scientifiques sont vraies, que les entités dont elles parlent existent dans la nature et que donc, en fin de compte, le rôle des théories scientifique est celui de donner une représentation exacte du monde tel qu'il est. Une attitude apparemment plus souple peut être trouvée, par exemple, dans la philosophie de Popper (1989) selon qui l'avancement de la démarche scientifique se rapproche d'un processus d'*approximation* croissant à la vérité. Ici on dénote une fracture de la correspondance *vérité – réalité* en faveur d'un déchargement de la vérité vers un mouvement d'approximation à celle-ci. Cependant, le second terme de la relation reste une ontologie des entités vers laquelle tend la théorie. On peut, alors, retenir un point central de l'attitude réaliste et c'est l'idée selon laquelle les théories scientifiques donnent une description vraie, ou approximativement vraie, d'un monde intégralement indépendant des théories elles-mêmes, par un mouvement de convergence à la vérité (Laudan 1981, 20). À première vue, ce type de réalisme évoque certainement une version scientifique du sens commun selon lequel il y a un monde à l'extérieur du sujet qui est régi par des dynamiques absolument indépendantes des actions des sujets. Cependant, le réalisme scientifique fait plus que ça, car, en donnant de la réalité consistante aux objets scientifiques non observables, il ajoute des *morceaux* de réalité qui ne sont pas directement accessibles à la perception. Traces de ces entités et preuves indirectes de leur existence seraient les phénomènes observables ainsi que leurs comportements détectables et prévisibles. L'atomisme ancien de Démocrite représente un premier exemple de cette attitude philosophique. Les entités atomiques ne sont pas directement accessibles, mais il est nécessaire que leur existence soit réelle et de nature matérielle. La conséquence d'une réfutation de ces entités est, dans la perspective réaliste, une perte de validité de la théorie qui les admet. La question, très

présente dans le débat philosophique en physique (Bitbol 1998), peut être transposée à la génétique et à la biologie moléculaire, les deux supposant des entités non directement accessibles, les séquences de gènes par exemple, mais indispensables au maintien du corpus théorique même qui les suppose. La perspective du réalisme scientifique pose deux types de problèmes généralement reprochés par les empiristes. Le premier problème est d'ordre métaphysique. Il s'agit de l'engagement ontologique accordé aux entités non observables. Celui-ci, reproché par les empiristes, n'est pas justifiable car ces entités sont juste supposées mais pas directement accessibles et donc, jamais vraiment vérifiables. Le deuxième porte sur le mouvement historique des théories et a donc un caractère plus spécifiquement épistémologique. En effet, comme on va voir, parfois avec les transformations des cadres conceptuels au cours de l'histoire, la stabilité de la réalité enquêtée est perdue. Par ailleurs, ces deux difficultés sont intimement liées. En effet, la perte de consistance scientifique d'un corpus de lois, jugées dépassées et substituées par d'autres paradigmes ou programmes de recherches, a souvent porté avec elle la perte d'un certain nombre d'entités ressortissant de ces théories. Autrement dit, avec les transformations historiques des cadres théoriques, de nombreuses entités non-observables doivent être abandonnées. Cela manifeste le caractère non permanent et stable d'entités censées au contraire exister dans la nature. La question de l'ontologie des non-observables est, en effet, complètement liée aux dynamiques historiques des théories. À cet obstacle, la perspective réaliste réplique en opposant l'idée que c'est seulement dans un état de maturité des sciences que les théories peuvent consolider une correspondance de plus en plus proches entre vérité et réalité et que une certaine stabilité structurelle existe dans le passage historique d'une théorie à une autre (Worrall 1989). Cela signifie que, malgré les possibles révolutions des cadres scientifiques, théorisées par exemple par la théorie des paradigmes de Kuhn (2008) une structure de la relation entre vérité de la théorie et réalité de l'entité se garderait dans le temps par le fait que les deux structures (théories et entités) se transforment ensemble de façon cohérente. À cet argument en faveur de la perspective réaliste, s'ajoute l'idée selon laquelle seul le réalisme expliquerait le

succès empirique des théories sans devoir recourir à une sorte de miracle (Putnam 1995). Cependant, l'idée de maturité des sciences est une notion vague et semble plutôt renvoyer à un présent où les théories actuelles auraient manifesté une réussite empirique lui permettant de persister jusqu'à nos jours. Cela revient à la définition initiale de Van Fraassen (1980, 8). Celle-ci spécifie, en effet, que le réaliste scientifique demande aux sciences *de son époque* d'être vraies et correspondantes à la réalité. Or, on pourrait croire que le succès empirique des théories en détermine la survie, garantissant leur validité et par conséquent la réalité des entités ressortissantes. Autrement dit, la théorie en question, en raison de sa réussite empirique, montrerait sa validité tout en affirmant la pertinence de la réponse empirique par la réalité des entités impliquées. Les deux pôles de la démarche, d'un côté la théorie et de l'autre les réponses du monde aux bonnes sollicitations empiriques, se soutiendraient réciproquement. Par ailleurs, comme l'histoire des sciences le montre, certaines théories ont produit des réponses empiriques très performantes par rapport aux problèmes de leur époque, tout en perdant, ensuite, une valeur explicative en raison d'un changement de cadre théorique. Kuhn (2008) observe qu'en raison de cela il n'est pas légitime de reconnaître des vérités externes aux théories. Les vérités doivent, donc, en faire partie constitutive. À ce sujet Laudan (1987) qui se situe de quelque sorte comme un prolongement critique de la pensée de Kuhn et de Lakatos, établit une liste, connue comme *la liste de Laudan*, consacrée à répertorier ce genre de phénomènes de glissement de la correspondance entre théories et entités. Un exemple très connu de la perte d'une entité non-observable, engendrant la conséquente perte des théories autour de celle-ci, est celui de l'éther. La physique de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle recherchait les propriétés de l'éther électromagnétique car celui-ci était censé influencer les mouvements des corps par sa densité, sa vitesse et son élasticité. Ce domaine de recherche fut, par ailleurs, substitué par la relativité restreinte qui allait effacer ce problème des questions de la physique (Laudan 1987, 101). On voit là à quel point la dimension historique des théories scientifiques pose un problème au cadre réaliste. En effet, le réalisme scientifique, en adhérant à une permanence ontologique de ses

objets, voudrait y faire correspondre une stabilité, où au moins une convergence à la stabilité, de ses théories. Or, sous cet aspect, la distinction classique entre réalisme et empirisme se brise contre la même difficulté. L'empiriste, voulant généralement se limiter aux données issues de l'expérience directe, *aux faits bruts*, dénonce chez le réaliste précisément cet engagement ontologique vers les objets non-observables ressortissant de ses théories. Le réaliste, en revanche, considère que les instruments et les pratiques des sciences ont proprement le rôle de faire émerger ces entités cachées. L'empiriste, par ailleurs, avec sa notion de *fait*, n'est pas complètement immunisé du problème exposé par Laudan. Cela puisque le développement historique des théories montre, aussi, à quel point ce qui pouvait être considéré un fait peut perdre de consistance empirique avec un changement de perspective. Toujours dans la liste de Laudan on trouve un certain nombre de recherches réputées expérimentales et dont les faits à expliquer reposaient sur des présupposés ontologiques éclipsés ensuite. Il paraît intéressant ici, afin d'éclaircir ce point et de montrer dans quelle mesure ce débat peut être tout à fait pertinent pour les sciences du vivant, d'en proposer deux exemples portant sur la biologie. Laudan observe que :

Les biologistes du début du XIX<sup>ème</sup> siècle, convaincus de l'existence de la génération spontanée, considéraient que c'était un problème empirique de montrer comment de la viande exposée au soleil pouvait se transformer en asticots, ou encore comment les sucs gastriques pouvaient se transformer en vers solitaires. Pendant des siècles, la théorie médicale s'est efforcée d'expliquer le « fait » que les saignées guérissaient certaines maladies (Laudan 1987, 36).

La difficulté mise en lumière par Laudan se déploie sur plusieurs niveaux et ne représente pas un défi que pour le réaliste. À un premier abord il y a là le problème métaphysique dénoncé auparavant. Les entités censées être des propriétés du monde *révélées* par le processus convergent des sciences vers la vérité, montrent leur caractère de structures ontologiques dépendantes de ce processus. Cependant, la notion de fait se montre aussi problématique. À ce sujet l'avertissement de Claude Bernard, souvent considéré comme le représentant d'un empirisme classique, paraît très pertinent. Bernard, en effet, considère lui-même que la notion de fait est quelque chose de non complètement autonome du raisonnement :

## CHAPITRE 1 LE SENS ET LA CONTINUITÉ DU CRITICISME TRANSCENDANTAL

Je pense que la croyance aveugle dans le fait qui prétend faire taire la raison est aussi dangereuse pour les sciences expérimentales que les croyances de sentiment ou de foi qui, elles aussi, imposent silence à la raison. [...] Un fait n'est rien par lui-même, il ne vaut que par l'idée qui s'y rattache ou par la preuve qu'il fournit (Bernard 1984, 88).

L'opposition même entre fait observable et non-observable, loin d'être stable, manifeste une fluidité qu'il faut prendre en compte. En effet, il s'agit d'explicitier différents niveaux de cristallisation de ce qu'on peut rigoureusement appeler un observable. Tout d'abord, l'observation des phénomènes en science est toujours filtrée par des instruments<sup>9</sup>. Il s'agit alors de définir à quel degré de la démarche se stabilise la limite entre un phénomène directement observable et un phénomène appréhendé par le biais d'un certain nombre de caractéristiques renvoyant à sa présence. De plus, la neutralité authentique de l'observation par rapport aux pré-concepts qui la structurent est souvent difficile à argumenter et le fait semble déjà s'articuler avec un certain nombre de conditions non immédiates et directes. À ce sujet, l'introduction de l'empirisme constructif de Van Fraassen ainsi que les arguments de ses critiques, vient à l'aide afin d'éclaircir la problématique. Cela parce que la question se déploie proprement autour de la légitimité d'accorder un degré ontologique à quelque chose en s'autorisant, par cela, de l'appeler un observable.

Van Fraassen (1980, 12) soutient que le but de la science est la pertinence empirique. Une théorie peut être considérée empiriquement adéquate si ce qu'elle dit au sujet des choses observables et des événements dans le monde, est vrai. En d'autres termes, cette approche produit un affaiblissement du degré de croyance à l'égard des non-observables, réclamant d'attribuer de la validité aux théories uniquement dans la mesure où elles décrivent des phénomènes observables. Il s'agit d'une sorte de suspension de croyance autour de l'existence éventuelle des non-observables. Or, ce que les réalistes lui reprochent est précisément que les critères permettant d'appeler quelque chose un *observable* ne sont pas stables et que, de toute manière, ne sont pas suffisants à autoriser une croyance, pas plus que ceux liés aux

---

9 Cela au moins à partir de l'introduction de l'optique dans les pratiques d'observation scientifique, mais si on regarde l'exemple de l'astronomie moderne on peut certainement considérer déjà les mathématiques comme des instruments d'observation des phénomènes célestes, parfois interprétées comme des pratiques faisant *émerger* des phénomènes éventuellement cachés.

non-observables (Churchland 1985; Contessa 2006). Churchland (1985, 35) observe, par exemple, que dans l'histoire des sciences il est certainement vrai qu'on a dû renoncer à certaines entités non-observables comme l'éther ou le phlogistique, mais on a aussi abandonné des observables tels les sorcières et les sphères des étoiles. Puisqu'il est difficile d'établir un niveau observable pur et direct, celui-ci ne peut pas constituer un critère fiable à l'attribution d'une ontologie. Ou alors, si cette ontologie est légitime, il n'y a pas de raisons de ne pas l'étendre au niveau des non-observables. Or, si ce genre d'observations des réalistes représentent bien un problème pour l'empirisme classique, qui s'accroche au fait brut, il faut quand même remarquer que l'empirisme constructif s'en met de quelque manière à l'abri. Cela parce qu'il n'est pas complètement légitime de détecter dans l'empirisme constructif une attribution d'ontologies aux observables. Le fait même de considérer de façon constructive la structure théorique des observables en rend plus souple la catégorisation mettant à l'abri d'une véritable ontologie. La question réside dans la connexion entre observable et existant. Pour Van Fraassen cette connexion ne peut pas être de l'ordre ontologique. Plus précisément, pour lui il n'y a pas nécessairement cette connexion et la vérité des théories est suspendue à l'explication des observables indépendamment de leur ontologie. Pour essayer de briser cette correspondance il prend l'exemple des licornes qui, tout en étant des observables, n'existent pas. D'autre part, la thèse de l'empirisme classique selon laquelle seul ce qui est observable est existant est rejetée par Van Fraassen (1980, 19) comme trop anthropocentrique. Il reste par ailleurs intéressant d'accueillir les critiques des réalistes comme des critiques générales à la possibilité de définir un observable, d'isoler un fait de toutes déterminations renvoyant à lui, ou le supposant. Cela rend problématique la limite même entre observables et non-observables ; entre faits bruts et entités cachées. On peut alors détecter une instabilité nécessaire des contours et des limites de ce qu'on est autorisé à tenir pour l'objet de la science. Le réaliste scientifique, par son adhésion à la réalité d'entités non-observables, ainsi que l'empiriste, par son accrochement au fait, sont confrontés à la même difficulté. Il s'agit du flottement de degré et de sens de leurs piliers réciproques. Cela, comme on va le voir, se produit en raison de la dépendance,

aussi bien des entités non-observables que des faits, aux structures historiques et symboliques des théories. À ce genre de problèmes on va essayer de répondre par le transcendantalisme qui est le choix épistémologique sur lequel se structure ce travail. Cette perspective, comme on va le montrer, a la capacité de surmonter les problèmes esquissés auparavant par le fait qu'elle explicite les structures de la dépendance entre les objets et les théories jusqu'à assumer l'opération de construction des objets mise en place par les sujets. Par ailleurs, avant d'introduire l'alternative du transcendantalisme on considère significatif de faire un pas en arrière afin de mettre en lumière une attitude plus générale qui, de quelque manière, se trouve partagée aussi bien par le réalisme que par l'empirisme. En effet, ces deux perspectives sont bien opposées sur le plan épistémologique. Cette opposition s'exprime principalement, comme on l'a dit, par des choix radicalement différents des objets légitimes de la science. D'un côté, pour l'empiriste, il est correct de s'arrêter aux faits. De l'autre côté le réaliste va jusqu'aux bouts de ses théories accordant un engagement ontologique aux entités qui en ressortent. Par ailleurs, cette opposition se nuance autour d'une attitude commune et partagée. Il s'agit de l'idée que le monde est, de quelque manière, présent aux sciences ; qu'il se laisse découvrir de manière accessible par sa caractéristique d'être là, en face des sujets. Cette attitude s'encadre dans une vision qui absorbe ce présumé commun du réalisme et de l'empirisme et qui se déploie dans un regard philosophique plus large. Il s'agit du naturalisme.

On ne peut certainement pas réduire le mot naturalisme à un simple courant de pensée, car la vastité philosophique qu'il évoque fait de sorte que ses contours ne se laissent pas définir aisément. Ici on se propose, plutôt de reconnaître certains présumés qui émergent lorsque en philosophie des sciences on s'appuie sur cette attitude pour justifier différentes approches. Notamment, on peut souvent observer, derrière la prétention de naturalisme, un effort de se mettre à l'abri de toutes dérives métaphysiques dans la formulation d'une théorie. En effet, le principe fondamental du naturalisme est celui selon lequel il ne faut pas chercher au-delà de la nature ses propres causes. Cela veut dire qu'une clôture causale est présente dans la nature et

qu'il n'est donc pas légitime d'évoquer des transcendances pour expliquer les phénomènes. Or, à première vue, cette perspective paraît tout à fait raisonnable, voire essentielle et nécessaire, pour tout corpus scientifique fécond. Par ailleurs, il vaut la peine d'en mettre en lumière certains aspects problématiques. Une précision est nécessaire à ce point de notre discours. L'intérêt de mettre en discussion un certain type de naturalisme n'a nulle part dans ce travail le but de proposer des perspectives alternatives liées à quelques transcendances. Autrement dit, si on considère que c'est indispensable de prendre en compte certaines difficultés liées à la perspective naturaliste, ce n'est jamais pour ajouter des causes externes à la nature, mais bien au contraire, pour reconduire le concept même de nature, ainsi que celui de matière qui en dérive, à leurs conditions de possibilité qui se trouvent du côté du sujet et de ses pratiques (scientifiques) en interaction avec son objet d'investigation. Or, on pourrait, par cela, accuser cette tentative de vouloir sortir le sujet de la nature finissant par tomber dans un idéalisme total. On va prendre en compte cette difficulté en expliquant que c'est plutôt l'attitude naturaliste naïve qui tend à détacher le sujet de la nature en lui attribuant une place privilégiée d'observateur externe et donnant, par cela, un caractère, de quelque sorte, transcendant aux théories scientifiques. Autrement dit, cette attitude détache la méthode scientifique du monde en la rendant elle-même surnaturelle. On pourrait s'interroger, à ce sujet, comme le faisait Bachelard : « Comment aussi prétendre saisir un moi simple et dépouillé, en dehors même de son action essentielle dans la connaissance objective ? » (Bachelard 1991, 14)

Le fait de vouloir prendre en compte, en l'explicitant, la manière par laquelle se forment les concepts même de nature et de matière, comme le propose notre perspective épistémologique, permet, au contraire, une intégration du sujet dans la nature. Cela car de cette façon on tient compte du fait que le sujet se trouve toujours aussi dans ce qu'il appelle nature.

Comme on l'a dit, aussi bien le réalisme que l'empirisme, partagent quelques aspects du naturalisme. Il est clair que la notion même de naturalisme est très ample



et on pourrait certainement discuter ce rapprochement du réalisme au naturalisme. Par exemple, on pourrait considérer l'introduction d'entités non-observables comme des causes externes à la nature contrevenant au principe fondamental du naturalisme. Mais il s'agit là d'une discussion qui dépasse largement les intérêts de ce travail. Ici on détecte des présupposés communs entre empirisme et réalisme qu'on conduit au naturalisme dans la mesure où ces deux perspectives embrassent l'idée qu'un monde bien déterminé se trouve au-delà de la méthode scientifique dont il est indépendant. En effet, d'un côté, les deux supposent un monde externe et indépendant du sujet, qui reste donc stable en vue de toutes actions que le sujet peut entreprendre afin d'en investiguer les propriétés. De l'autre côté, et par conséquent, ces deux perspectives séparent la méthode scientifique et la nature en les opposant dans un dualisme dissimulé. Or, ce dualisme se trouve en ouverte contradiction avec la nécessité de clôture causale postulée auparavant. Cela parce que la clôture causale, à son tour, impose de laisser tomber tous les dualismes par rapport à la nature afin de n'inclure aucun élément transcendant à la nature même. Autrement dit, la séparation entre monde et sujet scientifique, entraînée par la stabilité supposées au monde qui se laisse investiguer, peut être interprétée comme une introduction d'un élément externe à la nature. Or, ce problème pourrait paraître loin du principe du naturalisme, car ce principe impose que ne soient pas trouvées des causes externes à la nature, mais pas nécessairement un observateur neutre. Par ailleurs, comme on va le voir, après la mécanique quantique il paraît nécessaire de prendre en compte le rôle causal du sujet par rapport à la nature enquêtée. On essaye ici de montrer que le sujet est toujours déterminant par rapport à la construction des objets scientifiques ; la mécanique quantique a simplement explicité de façon irréversible cette dépendance.

#### 1.4.b Transcendantalisme, l'inversion du regard.

On vient de prendre en compte les plus importantes perspectives épistémologiques liées à un présupposé de naturalisme : l'empirisme et le réalisme. Nous avons montré, par quelques exemples, qu'au cours de l'histoire des sciences aussi bien des entités non observables, que des supposés *faits bruts*, ont manifesté

leur fluidité et leur instabilité par rapport aux changements des cadres théoriques. En somme, ils se sont montrés comme des modèles structurés et non fixes. Cette difficulté nécessite d'être prise en compte en explicitant le fait que, comme le montrait déjà Kuhn, les vérités ne peuvent pas être trouvées par delà des théories. Elles semblent en faire partie constitutive. La perspective historique nous paraît très efficace pour mettre en lumière les difficultés d'une adhésion à une ontologie du monde et la nécessité de prendre en compte les actions, conceptuelles et pratiques, des sujets scientifiques par rapport à la construction des objets. Il devient alors indispensable d'explicitier ces activités. Il s'agit précisément ici d'assumer une attitude transcendantale. Le regard critique est « une méthode qui consiste à retourner l'attention ; initialement captivée par l'objet de l'investigation, vers les règles limitatives de cette même investigation » (Bitbol 1998, 58). Il s'agit, précisément, d'une inversion du regard qui va des objets à leurs conditions de possibilité *a priori*. Selon les mots de Cassirer :

Le regard doit donc quitter le produit pour se retourner vers la fonction de la connaissance théorique et vers sa légalité distinctive, seule clé qui puisse nous ouvrir la « vérité des choses » ; il doit se diriger sur la modalité de l'acte d'ouverture et non plus exclusivement sur le champ ainsi ouvert. (Cassirer 1972, III:18)

Cette perspective épistémologique prend en compte le fait qu'une objectivité des lois de la nature n'existe pas, déjà, dans la nature elle-même. Il s'agit d'une objectivité qu'on construit par la pratique conceptuelle d'abstraction que la science met en place. Cela signifie que l'objet scientifique n'est pas quelque chose de donné directement à la perception, sa configuration dépend plutôt de la façon dont on le constitue par des instruments conceptuels utilisés pour le cerner. Cette perspective renonce à l'ontologie de l'objet scientifique et se tourne vers le processus par lequel cet objet est construit et, éventuellement, *ontologisé* ensuite. Elle provient de la philosophie kantienne, mais elle n'est pas nécessairement et strictement kantienne. Comme on a essayé de le montrer, l'explicitation des structures formelles *a priori* et des conceptualisations opératoires n'est pas à prendre pour établie une fois pour toute par l'œuvre critique de Kant. Le philosophe allemand a, en premier, inauguré une

démarche qui est celle de la mise en perspective des objets à la lumière de leur conditions de possibilités *a priori*. Les structures qui sont ressorties pour la première fois de cette analyse étaient adaptées à la mécanique Newtonienne. Elles ne représentent plus un repère fiable pour l'interprétation des conditions formelles et conceptuelles des modèles et des objets. Par ailleurs, la démarche en elle-même se montre sans cesse adaptable aux processus scientifiques dans la mesure où elle consiste à sortir de ces modèles d'objets, qui ont été ontologisés, pour en expliciter les conditions constructives et constitutives *a priori*. Cette attitude permet de répondre au problème des flottements historiques des objets scientifiques (entités non observables ou faits bruts) ainsi qu'aux changements correspondant des programmes de recherche. Comme le montre Bitbol (2000; 1998) dans le sillage de Cassirer, il est possible d'interpréter les révolutions de la physique comme des retours aux explicitations des structures transcendantales : des mouvements réflexifs vers les corpus théoriques et vers leurs limites plutôt que vers les objets. Cela est normalement suivi, comme on va le voir plus dans le détail par la suite, d'un processus de dé-réification des objets et d'abstraction de l'intuition de plus en plus fine. Une fois qu'une nouvelle objectivité est constituée, elle se stabilise souvent au point de se rendre disponible aux sujets à nouveau de façon ontologique et *réelle*, comme si elle avait toujours été là en attente des bonnes sollicitations scientifiques qui puissent la dévoiler. L'oubli des processus d'explicitation est fréquent dans l'histoire de la physique. Ce retour à l'ontologie, ce processus, qui a pu se maintenir récursif, de faire *comme si* ce n'était pas nécessaire de prendre en compte l'analyse des formes *a priori* de l'expérience, semble se briser contre la mécanique quantique. Kant en premier n'hésite pas à considérer la mécanique newtonienne comme parfaitement cohérente sans pour cela que ce soit nécessaire d'en situer les présupposés (notamment l'espace et le temps) à l'intérieur des sujets comme conditions antérieures à l'expérience des phénomènes. La théorie de la relativité, comme le montre Cassirer par la reconnaissance des moments transcendants qui la constituent, peut aussi retomber dans la croyance à l'ontologie sans perte de cohérence. Pour la mécanique quantique cette possibilité de retour à l'ontologie

semble, d'après Bitbol par exemple, se nier par principe. Avec la mécanique quantique identifier les structures *a priori* ne peut plus être une réflexion autonome à la démarche scientifique :

Car ici, les physiciens les plus lucides ne peuvent plus éviter de soupçonner que les modèles heuristiques qu'ils emploient ne sont peut-être rien d'autre que des projections fragmentaires et à validité limitée des normes régulatrices de sous-classes de leurs activités. Mettre au jour la trame des présuppositions, de la classe entière d'activités expérimentales au sujet desquelles leur théorie-cadre fournit des prédictions, montrer comment des modèles partiels peuvent en être dérivés, c'est alors donner forme à leur soupçon et favoriser du même coup la conversion de leur regard. (Bitbol 1998, 65)

Ce travail ne s'occupe pas de mécanique quantique, même si l'exemple de cette science aide à renforcer le choix épistémologique néo-kantien. Mais, la biologie comment se situe-t-elle par rapport à cette question ? Est-elle une science dont l'explicitation des principes transcendants forme une réflexion indépendante des pratiques scientifiques et qui se limite à en clarifier le processus historique face aux révolutions des cadres théoriques, comme semblaient l'être la mécanique newtonienne et la théorie de la relativité ? Ou bien ce genre d'explicitation en biologie a-t-il un rôle constitutif dans la construction même des corpus théoriques et des modèles, comme cela arrive, d'après Bitbol, en mécanique quantique ? Ce travail, en proposant une analyse transcendantale des pratiques conceptuelles des sciences du vivant, essaye de montrer qu'elle peut avoir un rôle constitutif profond qui se déploie sur deux versants. En premier lieu, comme on le montrera, elle permet aux sciences du vivant de se libérer de l'ontologie de la nature, très difficile à transformer par abstractions fines jusqu'à l'abandonner dans un contexte empirique fort comme dans la biologie. On découvrira l'utilité et la fécondité de ce processus dans la mesure où on montrera que pour la biologie s'émanciper de l'ontologie signifie surtout se libérer une fois pour toute d'un physicalisme systématique qui se présente comme un piège théorique et qui nécessite d'être surmonté. En deuxième lieu, un aspect très important revient à montrer l'intérêt d'explicitier la boucle entre le sujet connaissant et l'objet connu en biologie. Il s'agit du fait, très simple, que l'objet des sciences du vivant est, lui aussi, son propre sujet. On essayera de maintenir cet aspect comme un fond

évoque et philosophiquement nourrissant des processus théoriques qui guident ce travail.

### **1.5 Conclusion**

Dans ce chapitre introductif nous avons pris en compte les éléments de la perspective transcendantale qui nous permettent de la considérer comme une attitude tout à fait libre vis-à-vis de la perspective strictement kantienne ainsi que performante dans l'analyse de la démarche scientifique. Nous avons également montré la pertinence d'un regard transcendantal en science. Ce point constitue un pilier sur lequel notre travail s'appuie. Dans le chapitre suivant nous allons spécifier les points centraux que nous voulons rendre opératoires de cette perspective. Il s'agit des processus d'abstraction et de dé-réification ; de la notion de relation, en opposition à l'attribution de propriétés intrinsèques et des processus d'explicitation des structures formelles. Pour clarifier tous ces outils théoriques nous allons notamment nous servir dans le chapitre suivant de la philosophie d'Ernst Cassirer et de certains points qu'elle a en commun avec l'épistémologie de Gaston Bachelard.

## CHAPITRE 2

### ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

#### 2.1 Introduction

Ce chapitre franchit un pas supplémentaire par rapport aux considérations générales abordées dans le chapitre précédent car il précise la forme du transcendantalisme qui sera mise en œuvre dans ce travail. Notre perspective s'appuie sur certains développements proposés par Ernst Cassirer et notamment son interprétation, originale et profonde, du criticisme. Cassirer a souligné, avec force, la souplesse et la fluidité d'adaptation de la méthode kantienne aux problèmes épistémologiques posés par les sciences qui lui étaient contemporaines. Les géométries non-euclidiennes, le logicisme ainsi que les nouveaux cadres de la physique (la théorie de la relativité et la mécanique quantique), loin de constituer un obstacle définitif pour la philosophie critique, ont offert à Cassirer l'occasion de la mettre à l'œuvre de façon pratique tout en ouvrant son domaine d'application. Sa démarche théorique représente, en effet, la première grande construction post-kantienne d'un système transcendantal et critique en dialogue avec les sciences de son époque et, surtout, non strictement kantien. La grande nouveauté mise en place par Cassirer est celle d'assumer la philosophie transcendantale comme une méthode et de produire, à partir de cette perspective, un nouvel ensemble de structures  $a$

*priori*. À l'instar de Kant inspiré par la physique de Newton, c'est à partir de la rencontre directe avec les sciences de son époque que Cassirer explicite les conditions de possibilité de l'expérience telles qu'elles ont été renouvelées à son époque. C'est, donc, par l'analyse profonde des transformations théoriques qu'il élabore sa philosophie des concepts et des formes symboliques<sup>10</sup>.

Nous aurons aussi, dans cette première partie du chapitre, l'occasion de nourrir notre réflexion par la prise en compte de certains points communs entre la philosophie de Cassirer et l'épistémologie de Bachelard qui vont dans le sens de notre construction théorique. Ce rapprochement contribuera non seulement à souligner mais aussi à renforcer la structure de notre enquête philosophique<sup>11</sup>. Tout d'abord nous voudrions souligner une analogie préliminaire entre ces deux figures. Elle se trouve dans leur méthode d'analyse des sciences et dans la façon dont ils conçoivent l'intérêt de se servir de la philosophie, notamment de la philosophie kantienne. Or, cette première approche peut bien paraître suspecte. Cela parce que Bachelard lui-même n'aurait certainement pas été kantien, selon ses propres déclarations. Nous pensons, cependant, que son éloignement explicite de Kant n'empêche pas de le rapprocher de l'attitude critique émancipée de Kant par les perspectives néo-kantiennes. Bachelard même, nous le verrons, montre une sensibilité à la possibilité de nuancer le criticisme. Considérer cette possibilité signifie aussi considérer que les systèmes philosophiques ne sont pas nécessairement cristallisés dans l'histoire de la philosophie. Certes, leur période historique joue un rôle constitutif dans leur

---

10 Le système philosophique de Cassirer ne se limite pas aux problèmes de la science. La philosophie des formes symboliques s'étend, en effet, à toute la culture. Ici nous nous occupons notamment des questions liées aux sciences.

11 Sur la possibilité que ces deux auteurs se soient *rencontrés* par la lecture réciproque de leurs travaux, il n'y a que des hypothèses. Il faut, de plus, observer que, bien qu'il soit possible de trouver des convergences épistémologiques entre Cassirer et Bachelard, il y a aussi un certain nombre de différences profondes. À ce propos, nous renvoyons à des travaux plus détaillés (Janz 2000; Sandkühler 1994). Dans notre travail, mettre en place une analogie entre Cassirer et Bachelard n'a pas le but de contribuer au débat autour de leur réception réciproque, ni de proposer une lecture de leurs travaux sous une lumière comparatiste. Nous voulons simplement renforcer la perspective de notre analyse. Pour bien fonder les points forts et opératoires de cette perspective, nous nous référerons à ces deux auteurs car, selon nous, ils partagent, sous des formes différentes, les mêmes éléments théoriques que ceux que nous mettrons en avant.

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

naissance, mais les idées philosophiques y sont fluides, et en permanence remaniées. Elles ne sont pas pensées une fois pour toute. Il paraît ici intéressant de reprendre un passage tiré des avant-propos de l'œuvre *La philosophie du non* de Bachelard, qui manifeste de manière plus générale cette liberté philosophique :

Aux philosophes, nous réclamons le droit de nous servir d'éléments philosophiques détachés des systèmes où ils ont pris naissance. La force philosophique d'un système est quelquefois concentrée dans une fonction particulière. Pourquoi hésiter à proposer cette fonction particulière à la pensée scientifique qui a tant besoin de principes d'information philosophiques ? Y a-t-il sacrilège, par exemple, à prendre un appareil épistémologique aussi merveilleux que la catégorie kantienne et à en démontrer l'intérêt pour l'organisation de la pensée scientifique ? (Bachelard 1988, 11–12)

Nous remarquons, dans cette énonciation de méthode, une attitude particulière qui consiste à libérer les concepts philosophiques de leurs structures systématiques. Cela afin de s'en servir de façon opératoire face aux problèmes nouveaux qui ne pouvaient nécessairement pas s'ouvrir aux horizons des philosophies dont ces concepts étaient issus. Giulio Preti, dans sa présentation à la traduction italienne de l'œuvre *Substance et fonction* (Cassirer 1973, VI–VII), reconnaît à Cassirer cette même liberté féconde de se servir du criticisme et de le mettre en dialogue avec les sciences face aux nouveaux défis que celles-ci ouvrent. À ce sujet, on trouve encore un point de rencontre très important chez Bachelard qui consiste, plus précisément, dans l'intérêt de produire une extension de la philosophie kantienne dans un sens très proche de la perspective néo-criticiste. Bachelard, face à la crise de la physique et des mathématiques du XX<sup>ème</sup> siècle, propose une position philosophique qui donne à la *raison* le rôle positif de provoquer des crises comme Kant, par sa philosophie critique, l'avait déjà envisagé. Dans ce contexte, il considère que :

Nous devons alors accéder à un kantisme ouvert, à un kantisme fonctionnel, à un non-kantisme, dans le style même où l'on parle d'une géométrie non-euclidienne. C'est, je crois, le plus bel hommage qu'on puisse faire à la philosophie kantienne en prouvant, par cette extension, qu'elle est susceptible d'une traduction moderne pour passer de la structure à la fonction » (Bachelard 1972, 27–28)



Le parallèle entre une philosophie non-kantienne et les géométries non-euclidiennes nous paraît une image particulièrement explicative de l'attitude que l'on cherche à faire ressortir ici, pour s'en servir. Les géométries non-euclidiennes ne représentent point une négation de la géométrie en général. Bien au contraire, elles se posent comme des extensions, de sorte que les principes originaires peuvent subir des transformations par dilatation. Comme le dit Bachelard lui-même :

La géométrie non-euclidienne n'est pas faite pour contredire la géométrie euclidienne. Elle est plutôt une sorte de facteur adjoint qui permet la totalisation, l'achèvement de la pensée géométrique, l'absorption dans une pangéométrie. Constituée en bordure de la géométrie euclidienne, la géométrie non-euclidienne dessine du dehors, avec une lumineuse précision, les limites de l'ancienne pensée. (Bachelard 1991, 12)

De cette manière, comme le montrait le programme d'Erlangen<sup>12</sup>, la géométrie euclidienne devient une des possibilités d'une géométrie bien plus étendue. Par la suite de ce travail, nous aurons l'occasion de revenir sur la question des géométries non-euclidiennes. Nous souhaitons seulement, à ce stade de notre travail, souligner la comparaison proposée par Bachelard. En effet, l'idée d'une extension de la perspective kantienne qui fonde notre travail va exactement dans ce sens. L'ensemble des structures *a priori* mis en exergue par Kant à propos de la mécanique newtonienne devient une des possibilités d'un système plus vaste de structures *a priori*. Ainsi, comme les géométries non-euclidiennes ont été possibles à partir de l'incompatibilité de la géométrie euclidienne à l'égard des extensions scientifiques, un criticisme non-kantien ouvre son horizon de pensée à partir d'une incompatibilité du criticisme kantien avec les révolutions scientifiques.

Or, cette première analogie entre Cassirer et Bachelard ne constitue qu'un point de départ ; un horizon commun qui nous permet de mieux apprécier l'outil fondamental de l'analyse des sciences de ces deux auteurs. Nous allons, donc, expliciter des dynamiques théoriques esquissées par Cassirer dans son analyse des

---

12 Le programme d'Erlangen, de Félix Klein (1991), proposait une interprétation généralisée de la géométrie, où les différentes branches s'y positionnent selon une certaine classe de transformation. C'est par cette extension que la géométrie euclidienne se retrouve être une des possibilités de la géométrie. On renvoie à (Russo 1969).

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

processus scientifiques. Notamment, nous nous adressons au processus d'abstraction qui se réalise dans les sciences. Il s'agit d'un processus qui va d'un réalisme naïf, accroché à une correspondance entre les objets du monde et les théories humaines, à un niveau symbolique de plus en plus subtile, où les structures symboliques et conceptuelles prennent la place constitutive qui appartenait aux substances ontologiques. Cassirer explicite les conditions *a priori* des structures du discours scientifique, en identifiant un mouvement d'abstraction<sup>13</sup>. Comme nous le verrons, les dynamiques de ce processus d'abstraction, se retrouvent, pour certains aspects, présentes dans les travaux de Bachelard. Sa philosophie souligne un mouvement de rupture nécessaire avec l'expérience commune, typique de la construction scientifique. Le rapprochement de ces deux points vient renforcer notre instrument d'analyse. En effet, dans la deuxième partie de ce travail, nous regarderons au problème de la téléologie aussi par ces instruments d'abstraction et de rupture, notamment dans le cadre du réductionnisme.

Comme nous l'avons déjà rappelé, suite à cette analyse nous nous proposons aussi de mettre en place un principe de construction pour la biologie. Dans la deuxième partie de ce chapitre nous allons, donc, esquisser les instruments théoriques qui nous permettront de mener à bien cette tâche par la suite. Ces instruments sont issus de la fonction symbolique et représentative que Cassirer attribue aux mathématiques sur le fond de la théorie kantienne. Il sera, donc, nécessaire de s'attarder un peu sur certains nœuds théoriques de la perspective kantienne. On mettra notamment en lumière le rôle du schématisme transcendantal et sa fonction dans la construction des concepts mathématiques.

---

13 C'est encore par ce mouvement d'abstraction qu'il produit le passage, dans sa propre philosophie, à partir des concepts jusqu'aux formes symboliques, des mathématiques au langage, de la connaissance à la culture. On observe, en passant, que le caractère méthodologique et opératoire de la perspective critique se manifeste aussi dans le fait de constituer le moteur d'extension même de son propre corpus philosophique. Dans la production théorique de Kant, la méthode critique est l'agent même de l'évolution et de la dilatation du questionnement. Pareillement, nous observons chez Cassirer que la méthode même du recul vers le processus d'abstraction produit une extension interne à sa philosophie.

## 2.2 Abstraction et rupture

### 2.2.a L'illusion du fait établi

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, la notion de *fait* constitue le pilier auquel s'accroche la perspective empiriste *dure*. Or, nous avons aussi montré que cette notion est loin d'être stable et rencontre certaines difficultés, notamment à l'égard du caractère historique des sciences. Les problèmes se présentent aussi lorsque nous considérons les différents niveaux d'observation. L'attitude réaliste, comme nous avons essayé de montrer, présente le même type de problèmes auxquels s'ajoute un engagement ontologique tout à fait inadéquat à prendre en compte ces difficultés car il cristallise davantage l'idée d'un monde accessible, stable et reproduit par la connaissance<sup>14</sup>. À ce sujet, une constante de la pensée de Cassirer est la mise en discussion permanente de l'illusion que les faits établis, ainsi que les *vérités* scientifiques, sont accessibles de façon directe et immédiate :

Il n'existe pas de faits « nus », pas de réalité qui soit vérifiable autrement qu'en tenant compte de processus conceptuels bien précis et en s'aidant de ceux-ci. Toute constatation de fait n'est possible que dans un cadre de jugement bien déterminé, qui dépend lui-même de certaines conditions logiques. Dans cette mesure, « apparaître » et « valoir » ne constituent pas deux domaines que l'on pourrait d'une certaine façon séparer dans l'espace et entre lesquels courrait une frontière fixe. Ce sont plutôt des moments qui appartiennent corrélativement l'un à l'autre et qui ne constituent le fond et l'arrière fond de toute connaissance que dans cette complémentarité. (Cassirer 1991b, 93)

Le sensualisme et l'empirisme naïf ne peuvent plus, d'après Cassirer, constituer un paradigme valide dans la démarche de formation des théories. Le développement même de la physique a mis en cause la simple possibilité d'une correspondance passive entre les faits et les théories. La théorie de la connaissance appliquée à la physique moderne représente déjà, pour l'auteur, l'occasion de montrer que la conception réaliste des sciences est faible et problématique. Celle-ci s'appuie en effet sur l'idée que la théorie scientifique est une reproduction fidèle et directe de la réalité. Cassirer voit dans la doctrine kantienne le premier point de fracture de

---

14 Voir chapitre 1.

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

cette conception naïve de la science. La doctrine critique est, en effet, la première à voir le piège de la théorie de la correspondance entre représentation et objet en reconnaissant que celle-ci conduit à l'attribution de symboles conceptuels à des substances en-soi. Une science libérée du concept de substance est celle qui se retourne vers l'activité de la connaissance et prend en compte sa structure conceptuelle telle une fonction du savoir. En ce sens, un passage du concept de substance au concept de fonction est accompli, car aucune correspondance directe entre la réalité en-soi et la théorie n'est exigée (Cassirer 1977). La seule correspondance légitime est représentée par le rapport exhaustif entre les concepts et l'intuition empirique de telle manière que les conditions *a priori* de l'entendement soient retrouvées correctement dans le niveau empirique. C'est uniquement en ce sens qu'il devient possible d'atteindre l'objectivité (Cassirer 1993, 130). Cela signifie que les objets des sciences empiriques doivent se référer aux objets de l'expérience selon des règles qui ne sont pas établies par les objets même, mais conformément aux concepts. Cassirer reproche aux courants empiristes et positivistes du XIX<sup>ème</sup> siècle d'avoir complètement méconnu cet aspect. En effet ceux-ci se sont contentés de la simple donnée en lui attribuant de l'objectivité de façon immédiate par une correspondance illégitime de la théorie à la chose en soi transcendante, tout en pensant que les règles de l'objectivité viennent directement des objets. Cassirer partage avec Goethe la conviction que : « tout fait est déjà théorie » (Cassirer 1972, III:452). La reconnaissance que le fait brut est toujours porteur d'une orientation théorique, représente vraiment une assomption constante de la philosophie de Cassirer. Les données sont déjà des signes qui renvoient à quelque chose de plus complexe et abstrait. Pour que les sciences de la nature sortent du préjugé selon lequel les théories représentent des correspondances directes de la réalité en-soi, il est nécessaire de mettre en place une attitude critique : c'est-à-dire de se tourner vers ce processus d'abstraction pour l'explicitier et en extraire les règles et conditions de l'objectivité dans tel ou tel cadre d'étude.

Ce point de départ est entièrement présent dans les présupposées de l'épistémologie de Bachelard. Le sensualisme qui « prétend recevoir directement ses leçons d'un *donné* clair, net, sûr, constant, toujours offert à un esprit toujours ouvert » (Bachelard 1993, 23) représente, d'après Bachelard, une philosophie fragile et simpliste qui nécessite d'être surmontée. L'expérience primaire est, d'ailleurs, connotée comme le premier obstacle épistémologique contre lequel, comme nous le verrons plus en détail, la science doit se construire. La dynamique de la science, alors, n'est pas, pour Bachelard non plus, celle d'une reproduction passive du monde. La science n'a pas à décrire le monde, mais elle doit le construire (Bachelard 2000).

Ce premier point de repère partagé nous indique, donc, que le processus scientifique consiste à se détacher du sens commun, du fait établi, de l'expérience primaire. Cela se retrouve aussi dans la considération commune selon laquelle la mesure, même dans le sens le plus général de l'observation, ne représente jamais un accès simple aux phénomènes. Bien au contraire, elle est déjà porteuse d'une rationalité qui est un choix théorique. Comme le remarque Cassirer : « À toute mesure objective, il faut adjoindre, en quelque sorte, un indice subjectif déterminé qui permet de désigner ses conditions particulières » (Cassirer 2000, 37). Par cela est montré le caractère non neutre de la mesure. Pour le dire avec Bachelard : « Il faut réfléchir pour mesurer et non pas mesurer pour réfléchir » (Bachelard 1993, 213).

Cassirer et Bachelard ne sont certainement pas les seuls philosophes qui, en s'adressant aux sciences contemporaines et notamment à la physique, ont établi et développé ce point de départ<sup>15</sup>. Par ailleurs, l'intérêt de se *limiter* à ces deux auteurs

---

15 À ce sujet, il suffit, par exemple, de remarquer que Cassirer s'adresse souvent à la philosophie de Pierre Duhem pour montrer la proximité de leurs perspectives autour de l'activité symbolique des sciences. On pourrait aussi mentionner Poincaré, dont le travail se situe dans un horizon très proche. De quelques manières, toutes ces philosophies nourrissent la perspective de ce travail sans pour autant prendre une place primaire. En effet, comme nous l'avons déjà rappelé, le but de la deuxième partie de notre thèse est de développer le même type d'analyse à certaines pratiques des sciences du vivant. De plus, il faut remarquer que toutes ces perspectives sont issues de la physique alors que, dans notre cas, ce sera la biologie que nous interrogerons. Il nous paraît, en ce sens, que les approches historiques de Cassirer et de Bachelard se prêtent mieux à produire un élargissement du questionnement, sous certaines conditions qui seront établies dans le chapitre suivant. Cela car chez eux une véritable dynamique de la théorie de la connaissance se met en place. C'est pourquoi nous ne voulons pas trop insister sur le problème en soi de la construction

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

est de pouvoir se servir de la démarche qu'ils ont mise en place pour l'analyse ponctuelle des processus des sciences à partir de ces considérations plus générales. Ces deux perspectives, sensiblement différentes entre elles et qui décrivent une dynamique de détachement de la science du sens commun, nous semblent, d'une certaine façon, complémentaires. L'une est caractérisée par la notion d'abstraction, l'autre par la notion de rupture.

### 2.2.b La rupture épistémologique et l'obstacle du sens commun

Dans l'épistémologie de Bachelard, la notion de rupture épistémologique est centrale. Elle se déploie en plusieurs aspects et étapes qui décrivent les passages et révolutions de la science par un fond de discontinuité permanente. Les processus internes à la science même se produisent par des ruptures. Ce processus s'accompagne, dans la philosophie de Bachelard (1993, 13), de la notion d'obstacle épistémologique. Or, il y a un type de rupture en particulier, lié à son obstacle spécifique, qui nous intéresse ici. De quelque manière il représente le type plus radical de la rupture épistémologique car, d'après Bachelard, il détermine le moment même de la naissance de la pensée scientifique. Il s'agit de la rupture avec le sens commun dont l'expérience première représente l'obstacle. La science n'est jamais un prolongement du sens commun. Celui-ci est un noyau qui accompagne toute l'épistémologie de Bachelard :

Il nous a toujours semblé de plus en plus évident, au cours de nos études, que l'esprit scientifique contemporain ne pouvait pas être mis en continuité avec le simple bon sens, que ce nouvel esprit scientifique représentait un jeu plus risqué, qu'il formulait des thèses qui, de prime abord, peuvent heurter le sens commun. Nous croyons, en effet, que le progrès scientifique manifeste toujours une rupture, de perpétuelles ruptures, entre connaissance commune et connaissance scientifique, dès qu'on aborde une science évoluée, une science qui, du fait même de ces ruptures, porte la marque de la modernité. (Bachelard 2007, 207)

L'obstacle de l'expérience première est, donc, à surmonter par un éloignement critique de celle-ci. L'observation scientifique est une observation

---

scientifique, mais plutôt acquérir ces instruments qui nous permettrons ensuite d'interroger la biologie de la même façon.

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

polémique qui doute de l'expérience première (Bachelard 1993, 24). L'idée que la science puisse se construire sur la base de l'image que l'expérience première nous offre est une pure illusion, car l'objet de la science est une reconstruction intégrale de cette image première. Les intuitions provenant de ces images du monde sont chimériques et absolument pauvres par rapport à la finesse du processus scientifique après la rupture avec ces images. Cela, pour Bachelard, est vrai pour toutes les sciences, et reste particulièrement manifeste dans le cadre des sciences contemporaines, notamment la physique. La notion de corpuscule, par exemple, renverrait, sans une rupture avec le sens commun, à un petit corps, alors qu'elle représente une structure de la pensée (Bachelard 1951). L'esprit scientifique se forme en opposition avec les images naturelles :

Une science qui accepte les images est, plus que toute autre, victime des métaphores. Aussi l'esprit scientifique doit-il sans cesse lutter contre les images, contre les analogies, contre les métaphores (Bachelard 1993, 38)

Nous allons maintenant prendre en compte certains aspects analogues de la philosophie de Cassirer, notamment liés au processus d'abstraction légitime que la science met en place pour s'éloigner du réel.

### 2.2.c Le processus d'abstraction et de dé-réification

Cassirer (1977), dans l'œuvre *Substance et fonction : éléments pour une théorie du concept*, élabore deux pôles théoriques : le concept de substance et le concept de fonction. Par le passage du premier au second de ces axes, il interprète la dissolution progressive de la conception simple de la connaissance. Le premier concept, celui de substance, est celui qui agit lorsque la science est conçue comme une reproduction dans la conscience d'une réalité présente dans la nature et indépendante de nous. Le deuxième concept se met en place lorsque le processus scientifique, par un acte réflexif, se tourne vers la fonction exercée par les concepts dans la construction des objets. Cassirer (2004a, I:289–322) montre le passage d'une conception substantialiste à une fonctionnelle de la connaissance à l'intérieur de

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

naissance de la science moderne et en particulier d'une opération théorique très particulière effectuée par Galilée. Le premier pas franchi par Galilée vers la structure moderne de la science est celui de rompre avec la conception de la connaissance aristotélicienne. Cela parce qu'il abandonne l'idée que les concepts se forment à partir d'un lien direct avec la matière et avec l'expérience. Le concept commence par ne plus se trouver sur le même plan que les phénomènes empiriques. Ici Cassirer reconnaît la première rupture avec l'ancienne notion d'abstraction de provenance aristotélicienne. Celle-ci se fonde sur la capacité de l'esprit d'isoler les caractéristiques *essentiels* des choses parmi la multiplicité des aspects. L'abstraction de type aristotélien, en d'autres termes, permet la subsomption des qualités qui permettent de caractériser une chose comme appartenant à une catégorie plus générale. Le concept universel obtenu par ce processus devient une forme réelle qui établit une correspondance parfaite entre processus logique et réalité ontologique (Cassirer 1977, 14). Le concept est donc, ici, le reflet de la substance. Le passage accompli par Galilée consiste à définir la forme du concept non pas par l'ontologie mais par les mathématiques (Cassirer 2004a, I:289). La tournure mathématique de Galilée permet à Cassirer de montrer le premier grand passage d'un concept de substance à un concept de fonction. Or, il est nécessaire de préciser un aspect afin de ne pas tomber dans un malentendu de rationalisme pur. Le fait que les mathématiques jouent un rôle constructif dans la formation des concepts pour les sciences de la nature n'est pas à confondre avec l'idée que les sciences seraient purement rationnelles et analytiques. Comme on va le voir dans les paragraphes suivants, cela dépend du fait que les mathématiques ont un caractère synthétique très important qui permet le lien entre la nature et le concept, c'est-à-dire ce qui fonde le concept de la nature. Cet aspect nous permet d'observer, comme nous l'avons déjà signalé à propos de Bachelard, qu'une épistémologie de ce genre se situe dans une position très féconde : elle est en effet à mi-chemin entre un empirisme et un rationalisme. Elle les dépasse tous les deux et bâtit, par ailleurs, un pont objectif entre ces pôles d'accès au monde. Pour revenir au processus du passage des concepts de substance aux concepts de fonction décrit par Cassirer, nous avons remarqué à



quel type d'abstraction le premier de ces concepts correspond. Le deuxième, le concept de fonction, s'établit lorsque la fonction du concept consiste à donner leur forme aux objets. Autrement dit, les données sensibles doivent, d'après Cassirer, subir une véritable transformation qui ne peut pas se limiter à une simple généralisation. C'est en ça que Cassirer expose un nouveau type d'abstraction. Une science montre sa maturité par le niveau atteint par son détachement des données sensibles et par le degré de leur transformation. Mais en quoi consiste cette transformation et selon quelles règles pouvons-nous la dire « objective » ? Un phénomène, afin de devenir un objet de la science, doit, tout d'abord, perdre toutes déterminations immédiatement tirées de l'expérience. Cassirer prend l'exemple du concept moderne d'énergie. Celui-ci serait absolument incompréhensible si nous restions attachés à un type d'abstraction traditionnellement attribué à Aristote. Nous serions amenés à rendre substantielle l'énergie, ce qui non seulement correspond à une prise de position métaphysique lourde de conséquences, mais qui, de surcroît, cache complètement le sens fonctionnel du concept d'énergie, ainsi que, par exemple, ceux des concepts d'éther et d'atome dans cette conception scientifique (Cassirer 1977, 221). Le concept scientifique représente, en effet, la « limite » de l'objet scientifique au sens où il se pose comme le symbole de l'ensemble des possibles relations de l'objet étudié avec les contextes dans lesquels il se trouve analysé. En d'autres termes, le concept scientifique est une délimitation, une détermination de l'objet scientifique ; il en expose les limites et contours en clarifiant les possibilités fonctionnelles au sein de l'édifice scientifique exploré. Les concepts se forment par un mouvement en opposition avec les simples données du sensualisme. Cassirer dénote une rupture nécessaire avec la supposée réalité des réalistes et des empiristes, en faveur de la construction d'une règle limitative qui énonce les possibilités quantitatives des relations constituant les objets. Un processus de dé-réification des objets est alors amorcé, ces derniers n'appartenant plus à une nature supposée préexistante, mais sont symbolisés par la science dans un réseau relationnel constituant les lois à l'intérieur desquelles ces objets sont pensés et prennent sens les uns par rapport aux autres. La perte consistante du réel n'est pas un éloignement de la

nature, mais représente plutôt, pourrions-nous dire, une émancipation de la science qui se libère de la substance. Pour cela, une progressive dé-réification se produit jusqu'à retrouver un ensemble de symboles *purifiés* des propriétés supposées intrinsèques aux objets de la nature. Étant donné que les objets scientifiques ne sont pas déjà présents dans la nature, mais qu'ils sont construits par l'application de concepts à une diversité de représentations, il est inutile de vouloir représenter la réalité extérieure par l'expression de la substance des objets. Autrement dit, il n'est pas possible de chercher des invariants à l'intérieur des objets comme s'ils étaient des propriétés intrinsèques, puisque c'est par le repérage même de ces invariants qu'on construit l'objet scientifique. Une description par propriétés intrinsèques des objets scientifiques entraînerait un engagement ontologique de correspondance rigide entre objectivité et réalité. La configuration des régularités et des invariances est plutôt établie par le repérage des relations stables *entre représentations*, et c'est donc par les relations, et non pas par les propriétés intrinsèques, que les objets scientifiques doivent être décrits pour que le corpus des lois d'une théorie scientifique puisse être fécond. C'est, donc, une possibilité de relations qui détermine un objet : « Au lieu de prélever des parties quelconques sur la multiplicité qui nous est offerte, nous engendrons, pour les éléments qui la composent, une relation univoque définie par la prégnance d'une loi » (Cassirer 1977, 32). Ce qui est très important de remarquer est que l'objet scientifique ainsi constitué, ou conceptualisé, se libère complètement des caractéristiques de la substance, comme par exemple celle d'avoir en soi des propriétés permanentes, et se précise par son rôle de point relationnel d'une fonction entre termes à l'intérieur d'une loi.

Or, les mathématiques jouent un rôle très important dans ce processus de conceptualisation pour les sciences. Nous allons essayer d'explicitier ce rôle pour la construction des concepts. Cela nous permettra de fonder notre principe de construction pour la biologie dans la dernière partie de ce travail. En effet, comme nous le verrons, le principe que nous proposons s'installe dans une dynamique spécifique que les mathématiques jouent dans les sciences de la nature y compris, par

une extension que nous préciserons ensuite, aux sciences du vivant. Par ailleurs il convient d'abord d'extraire quelques uns des repères les plus importants de cette brève discussion autour de la rupture chez Bachelard et de l'abstraction chez Cassirer.

### 2.3 Premiers repères : la forme de notre analyse

Nous avons pris en considération des aspects que nous trouvons très proches de la pensée de Cassirer et de l'épistémologie de Bachelard. Cela afin de faire émerger les aspects centraux dans ce que nous voulons appeler une analyse transcendantale<sup>16</sup> des processus scientifiques. Il s'agit notamment de la nécessité, pour les sciences, de produire un mouvement critique en opposition au sens commun, au fait brut et à la réalité ontologique des objets scientifiques. Il en émerge un caractère constructif des processus théoriques. Bien évidemment, cela a été notamment pensé dans le contexte de la physique. Les sciences du vivant, par leur caractère fortement empirique ne sont pas non plus immunisées vis-à-vis de ce type de problème. Bien au contraire c'est en raison de ce caractère empirique qu'elles se trouvent encore plus exposées aux pièges liés à l'obstacle de l'expérience première. Grâce à la prise en compte des analyses des sciences de Cassirer et de Bachelard, nous avons identifié des points qui nous permettent d'établir une sorte de mesure du niveau de finesse d'abstraction atteint par une science. Ces points se manifestent dans le degré d'éloignement qu'elle montre par rapport à l'ontologie de son objet et à l'illusion du fait établi. Plus une science est accrochée à une correspondance entre faits et théories, dans la mesure où elle conçoit la théorie comme une reproduction fidèle des réalités de ses objets, plus elle produit un type de généralisation proche de l'abstraction aristotélicienne. Elle se limite donc à déterminer un certain nombre de

---

16 Bien qu'il ne paraît, d'un point de vue historiographique, pas tout à fait légitime d'assimiler la pensée de Bachelard à une pensée transcendantale, et que cela pourrait certainement affaiblir notre construction, nous rappelons que ce n'est pas notre but ici de discuter ce point. Tout ce que l'on se propose de faire ressortir par ce discours est un ensemble d'éléments qui reviennent à construire des instruments pour une analyse opératoire. Nous appelons cette analyse, comme nous l'avons explicité dans le premier chapitre de ce travail, transcendantale, car nous voulons nous interroger autour des conditions de possibilité de certaines structures scientifiques mises en place par les sciences du vivant.

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

propriétés intrinsèques aux objets qui se généralisent en une classe et à établir des différences spécifiques. Ces propriétés, comme nous le verrons, vont être *matérialisées*, c'est-à-dire qu'elles vont être fixées à la matière comme des caractéristiques immuables et substantielles de celle-ci. Nous reconnâtrons notamment dans le réductionnisme que ce processus *emboîte* la causalité téléologique comme si elle était une propriété même de la matière. Au contraire, plus une science se met en opposition critique de l'expérience première et, donc, de la notion de fait, plus elle s'approche de sa structure constructive. Cela signifie que cette science peut prendre en considération la *fonction organisatrice* des concepts qui constituent les objets qu'elle a pour mission d'étudier. Cela n'entraînera plus une généralisation de type aristotélicien, mais de type fonctionnel. Dans cette structure scientifique, ce ne sont plus les propriétés intrinsèques qui constituent le corpus théorique, mais les relations conceptuelles. Autrement dit, une science mûre est une science qui produit un ensemble critique d'opérations à partir de ce qui lui paraît être son objet initial. Ces opérations passent par un éloignement de l'image de cet objet ainsi que par un abandon de sa réalité, pour aboutir à un corpus théorique qui explicite l'ensemble des relations organisatrices des concepts constituant les objets.

Or, il est encore nécessaire de montrer un peu plus dans le détail comment, suite à un détachement critique des objets, une construction par relation se met en place. Nous proposons ici un premier ensemble d'observations sur le rôle que les mathématiques exercent dans ce processus. Dans la troisième partie de ce travail, le rôle des mathématiques en biologie sera plus détaillé. Cependant, puisque nous voulons faire l'effort d'absorber les sciences du vivant dans un horizon plus large de théorie de la connaissance, il est d'abord nécessaire d'explicitier ce rôle d'une façon plus générale.

## 2.4 Construction

Nous avons établi des points nous permettant de reconnaître la rupture des sciences avec l'expérience première. Nous allons maintenant expliciter le processus de construction. Ce processus, dans notre perspective, se fait par les mathématiques. C'est, en effet, les mathématiques qui, en produisant des concepts, offrent des instruments pour interpréter la nature, aussi bien physique que biologique. Or, pour bien comprendre le rôle que nous essayons de proposer pour les mathématiques en biologie, il est indispensable d'en reconnaître la valeur synthétique. Pour ce faire, nous avons encore besoin de nous adresser à Kant par l'interprétation et l'extension qu'en propose Cassirer. Plus précisément, nous devons nous tourner vers la fonction symbolique et représentative que Cassirer attribue aux mathématiques sur le fond de la théorie kantienne. C'est donc par une brève introduction du noyau théorique de celle-ci qu'on va devoir ouvrir cette section consacrée à expliciter le processus constructif par le biais des mathématiques. La spécificité de la doctrine mathématique de Kant réside dans son caractère synthétique. Dans le chapitre précédent nous avons esquissé le rôle de la synthèse comme ce processus capable de déterminer *a priori* les objets par une dynamique de composition et d'unification qui se concrétise dans l'activité de *mettre en accord*. Comme nous l'avons dit, les mathématiques jouent un rôle important dans cette dynamique. Or, précisément en raison de son caractère synthétique, la doctrine kantienne des mathématiques s'est inscrite en faux contre le logicisme et le processus d'arithmétisation des mathématiques. Il convient ici de comprendre les raisons qui ont produit cette opposition. Cela parce que ce contexte est l'occasion pour Cassirer d'élaborer une première extension du criticisme tout en conservant le fondement synthétique des mathématiques kantienne. Autrement dit, Cassirer fait tourner la doctrine kantienne autour de son pilier pour la mettre en relation avec les nouveaux problèmes qui se présentent aux mathématiques de son époque.

Entre la deuxième moitié du XIX<sup>ème</sup> et le début du XX<sup>ème</sup> siècle se

développent les géométries non-euclidiennes<sup>17</sup>. Cela provoque une réflexion théorique autour des fondements des mathématiques. La notion d'espace, suite à la crise de la géométrie euclidienne comme seule construction spatiale possible, n'est, en effet, plus suffisante pour se poser comme fondement conceptuel rigoureux de l'arithmétique. À côté de ce mouvement se développe la formalisation de la logique mathématique. À partir de la moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle se fait de plus en plus évidente l'exigence de donner une formulation de la logique par le biais des mathématiques avec le but de déterminer un langage symbolique rigoureux grâce auquel disparaissent les ambiguïtés du langage commun<sup>18</sup>. Dans ce climat, un programme de rénovation des fondements se met en place. Le problème principal, comme nous l'avons esquissé, vient de l'impossibilité d'établir une correspondance stable entre un concept intuitif de l'espace et l'abstraction mathématique. Celle-ci, tout du moins, semble bien être la conséquence théorique du développement des géométries non-euclidiennes. La recherche de principes semble donc devoir s'adresser uniquement à des structures purement analytiques ne s'appuyant aucunement sur la sensibilité empirique. La notion de nombre, en raison de sa nature apparemment simple et analytique, prend ici un poids considérable. C'est à partir de 1870 que le principal défi, afin d'assurer aux mathématiques un fondement enfin rigoureux et stable, va petit à petit correspondre au problème de réduire les nombres réels aux rationnels. Cela dans le but d'assurer une formalisation complète à la droite (une droite réelle qui remplisse les *vides* de la droite rationnelle) complètement détachée de l'intuition spatiale de la droite *dessinée* sur un plan dans l'espace<sup>19</sup>. Le but consiste à détacher et

17 Les premières réflexions autour du cinquième postulat d'Euclide, dont l'impossibilité d'être démontré donne lieu aux géométries non-euclidiennes, date de bien avant cette période. Par ailleurs, c'est à cette époque que des corpus géométriques complets et alternatifs se développent pour la première fois. Pour un parcours historique et philosophique sur le développement des géométries non-euclidiennes voir (Daudonnet et Fischer 2009).

18 La pensée Leibnizienne a connu un intérêt renouvelé dans ce contexte. Tout particulièrement elle a inspiré la pensée mathématique de Couturat, Frege et Russel en raison de la distinction, opérée par Leibniz, entre vérité de raison et vérité de fait ainsi que en raison de la conception relationnelle de l'espace. Ces notions paraient à ces auteurs anticiper le processus de logification des mathématiques.

19 À ce sujet les constructions mathématiques de Dedekind et de Cantor constituent les résultats plus importants. L'ensemble des nombres entiers est ouvert par rapport à l'opération de la division. Cela veut dire que le quotient peut ne pas se trouver inclus dans cet ensemble. Cela donne lieu à

affranchir le nombre de toute association empirique ou sensible. Ce processus prend le chemin d'une autonomisation des catégories de nombre en interdépendance constructive l'une avec l'autre. Or, à l'intérieur de ce débat, la perspective kantienne, selon laquelle les formes *a priori* de l'intuition pure d'espace et de temps avait un rôle dans la construction respectivement de la géométrie et du nombre, a bien pu paraître absolument inadéquate. Par ailleurs, certains éléments de la doctrine kantienne ont connu une interprétation fondée sur des malentendus. Cela, souvent, à cause d'une référence partielle et incomplète à l'œuvre critique qui a réduit la pensée kantienne à un simple sensualisme. Les éléments suspects de la doctrine kantienne autour des mathématiques sont représentés notamment par le caractère synthétique, le processus de construction et le recours à l'intuition. Ces trois éléments ont été, à l'époque, remis à leur sens authentique dans le processus de synthèse, qui permet d'en cueillir la complexité, par l'intervention dans le débat de Cassirer (1907)<sup>20</sup>.

### 2.4.a Le caractère synthétique des mathématiques.

C'est dans l'introduction à la *Critique de la raison pure* que Kant présente la distinction entre connaissance *a posteriori* et connaissance *a priori*, ainsi que celle entre jugement *synthétique* et jugement *analytique*. La première distinction, rappelons-la, se fonde sur le rôle que l'expérience sensible joue dans la décision de la valeur de vérité d'un contenu épistémique. Les vérifications *a priori* se font sans faire appel à l'expérience sensible. La deuxième distinction porte, à l'opposé, sur le différent rapport entre le sujet et le prédicat à l'intérieur du jugement. Si le prédicat est contenu dans le sujet, on est en présence d'un jugement analytique. À l'opposé, on a un jugement synthétique lorsque le prédicat n'est pas contenu dans le sujet. Dans les jugements synthétiques, la connexion entre sujet et prédicat n'est pas pensée par identité et ils ne se limitent donc pas à expliciter un caractère. Ils ajoutent des informations et pour cette raison ils portent un poids épistémologique. Or, ces deux

---

l'introduction des rationnels (du latin *ratio* veut justement dire rapport). Or, de la même manière les processus infinis des séries convergentes et des successions des rationnels peuvent ne pas se traduire en nombres rationnels. Cela donne lieu à l'introduction des nombres réels. Voir (Dedekind 2008; Cantor 1990).

<sup>20</sup> Une traduction en français se trouve dans (Barot 2009).

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

distinctions se combinent en donnant lieu, comme cela est très bien connu, à différents types de jugement selon leur forme et leur valeur. La vérité des jugements synthétiques *a posteriori* sera justifiée à travers l'expérience sensible et celle des jugements analytiques *a priori* simplement à travers la logique formelle, comme nous l'avons déjà souligné. D'après Kant, dans aucun de ces deux cas il n'est possible d'inclure les assertions mathématiques. Celles-ci ne peuvent pas trouver une justification à travers l'expérience, puisqu'elles doivent être à caractère universel et apodictique. Par ailleurs, elles ne peuvent pas non plus résulter directement de la logique formelle. Cela parce qu' autrement elles seraient tautologiques et vidées de tout contenu épistémique. C'est donc les jugements synthétiques *a priori* qui fondent la structure des mathématiques. Ceux-ci sont, à la fois, féconds grâce à leur caractère synthétique, et universels, grâce au fait d'être *a priori*. Tous les jugements mathématiques sont, donc, synthétiques. L'exemple le plus important proposé par Kant, et en même temps le plus controversé, est la fameuse assertion selon laquelle le jugement «  $7 + 5 = 12$  » est synthétique et *a priori*. Il vaut ici la peine de citer en entier l'argumentation de Kant. En effet, celle-ci a vraiment constitué un des points les plus contestés et, comme nous tenterons de le montrer, les plus mal compris de sa pensée mathématique, en exposant, en outre, à une mauvaise interprétation toute la dynamique de synthèse *a priori*.

[...] si l'on regarde de plus près, on trouve que le concept de la somme de 7 et de 5 ne contient rien de plus que la réunion de deux nombres en un seul ce par quoi l'on ne pense aucunement quel est ce nombre unique que les ressemblent tous les deux. Le concept de 12 n'est en aucune manière déjà pensé du fait que je pense simplement cette réunion de 7 et de 5, et je peux bien décomposer analytiquement aussi loin qu'on voudra mon concept d'une telle somme possible : je n'y rencontrerai pourtant pas le nombre 12. Il faut sortir de ce concept en s'aidant de l'intuition qui correspond à l'un des deux, par exemple ses cinq doigts ou (comme Segner dans son arithmétique) cinq points, et ainsi ajouter l'une après l'autre les unités du cinq donné dans l'intuition au concept du 7. (Kant 2001, 104)

Kant justifie le caractère synthétique de toutes les propositions de l'arithmétique par le fait que ce n'est jamais possible d'expliciter le prédicat à partir simplement de l'analyse du sujet. Afin de sortir du concept, il est nécessaire de faire



appel à l'intuition. Pour Kant, cela devient encore plus évident lorsqu'on prend des chiffres très élevés. Il observe en effet, que dans ces cas, il n'est pas du tout possible de trouver une somme simplement par l'analyse des concepts des nombres impliqués dans l'opération. Frege (1969, 129), en référence directe avec ce passage, soutient en revanche que c'est exactement quand on prend en compte des chiffres très élevés que le caractère synthétique est complètement nié. Autrement dit, pour Frege cet exemple kantien peut marcher pourvu qu'on reste sur des nombres assez petits, alors que dans le cas où il faudrait calculer la somme de nombres très grands, l'intuition ne peut plus rien. Ici on voit bien que le sens kantien de l'intuition est complètement manqué. En effet, dans le passage cité auparavant, ce recours à l'intuition semble pouvoir se réduire à la pratique de compter par les doigts de la main, ou par l'image des points. Effectivement il y a là des éléments pour interpréter la perspective kantienne de façon purement sensualiste et empirique. Mais l'appel à l'intuition pure chez Kant répond d'un processus plus complexe qui ne se laisse pas réduire simplement aux doigts d'une main. L'*Esthétique transcendantale* a souvent été considérée comme le lieu de la pensée kantienne où la philosophie des mathématiques est explicitée. Comme cela est très bien connu, cette première partie de la *Doctrine transcendantale des éléments* s'occupe d'établir toutes les formes *a priori* de la sensibilité, c'est-à-dire l'espace et le temps. L'espace, forme *a priori* du sens externe, exprime l'ordre de la coexistence possible des choses : leur disposition l'une à côté de l'autre. Le temps, forme *a priori* du sens interne, exprime l'ordre de la succession temporelle de nos états d'âme. Par ailleurs, puisque c'est seulement par le sens interne que les données du sens externe nous sont accessibles, le temps se présente indirectement comme la forme du sens externe. Autrement dit, le temps est la façon universelle par laquelle nous percevons tous les objets. Pour chacune des formes *a priori* Kant fait suivre un couple d'argumentations soutenant le caractère d'*a priori*. La deuxième de ces argumentations, l'exposition transcendantale, contient des considérations épistémologiques sur les mathématiques directement liées aux observations précédentes. Il s'agit de la caractérisation de la géométrie comme une science qui détermine synthétiquement et *a priori* les propriétés de formes géométriques par

l'intuition pure de l'espace. La représentation de l'espace doit, d'après Kant, nécessairement être une intuition, puisque à partir d'un simple concept ce n'est pas possible de dériver des propositions qui le dépassent. Par ailleurs, explique Kant, une telle intuition doit aussi s'établir *a priori*. Cela veut dire qu'elle se met en place avant la perception d'un objet. Il s'agit donc d'une intuition pure. Autrement dit, les propositions fondamentales de la géométrie ne peuvent être réduites analytiquement à des propositions identiques, contrairement à celles qui constituent la logique formelle. Par le même processus, l'arithmétique détermine synthétiquement et *a priori* les propriétés des séries des nombres par l'intuition pure du temps. Cette intuition, comme celle de l'espace en géométrie, n'a pas une nature empirique puisqu'elle a lieu avant la perception même des objets. Ces intuitions n'étant pas empiriques, elles doivent avoir lieu dans le sujet. Elles constituent les conditions de possibilité de la détermination des objets, puisqu'elles les précèdent, au sens transcendantal que nous avons rappelé. Il s'agit, explique Kant, d'une disposition formelle du sujet à être modifié par la représentation d'un objet. Par ailleurs, une fois ce malentendu instauré, toute l'*Esthétique transcendantale* a subi une distorsion interprétative à cause de ça. Frege (1969), Russel (2000), et Couturat (1893) observent, de façon sensiblement différente entre eux, mais gardant une perspective commune, que le problème réside précisément dans la définition kantienne des termes *analytique et synthétique*. La critique se concentre sur le fait que, tout d'abord, ces deux termes peuvent être appliqués seulement aux jugements affirmatifs universaux. En outre, la conception d'inclusion de l'objet dans le sujet n'exprime pas la nature des inférences logiques et se limite à une logique ancienne, Aristotélicienne. La logique, affirme Frege, se compose d'inférences qui, au contraire, à partir de certaines définitions composent des concepts nouveaux<sup>21</sup>. Ici, Frege accuse implicitement la perspective kantienne d'être psychologue. C'est dans ce sens qu'il propose une nouvelle distinction pour les termes *d'analytique* et de

---

21 On pourrait observer que la logique de Frege, dans ce sens, est plus proche de la logique aristotélicienne dans la mesure où étant conçue comme indépendante de la pensée, elle ne peut que décrire des règles fixes auxquelles la pensée doit s'uniformiser.

*synthétique* tout en conservant la distinction entre *a priori* et *a posteriori*. D'après Frege (1969, 139), la première distinction kantienne serait en mesure d'expliciter la façon par laquelle une vérité est obtenue et non pas la valeur légitime d'une telle vérité. On voit ici un des malentendus plus courant autour de la perspective kantienne. Il s'agit de l'accusation de psychologisme. Comme nous avons tenté de l'expliciter dans les considérations préliminaires du chapitre précédent, la perspective critique se pose, en quelque sorte, entre ces deux questionnements explicités par Frege, c'est-à-dire comment on parvient à une vérité et quelle est la valeur d'une telle vérité. Elle ne se demande pas comment on obtient une vérité, mais, plus en amont, comment une vérité est construite. Autrement dit, quelles sont les conditions de possibilité *a priori* par lesquelles il devient possible de parler d'une vérité. Dans la conception de Frege, il devient difficile d'envisager cette sorte de moyen terme entre ces deux attitudes parce que toute la théorisation mathématique et logique de Frege s'appuie sur un platonisme mathématique selon lequel les vérités de la logique sont réelles dans le sens qu'elles sont indépendantes de la raison humaine, tout comme les nombres le seraient aussi bien<sup>22</sup>. On comprend bien que dans ce cadre, il est impossible d'envisager une attitude différente envers des entités logiques que celle de les découvrir, où d'expliciter comment on les a découvertes. Dans cette limitation du cadre, il devient clair alors que le questionnement kantien, à l'origine de sa distinction du synthétique et de l'analytique, risque d'être caractérisé de psychologisme en l'assimilant simplement à la question qui consiste à interroger comment nous parvenons à un type de vérité<sup>23</sup>. Or, s'il est certainement vrai que la caractérisation de la logique générale kantienne manifeste une structure aristotélicienne limitée aux jugements de prédication universaux affirmatifs, il est tout de même intéressant de remarquer qu'à côté de celle-ci il introduit une logique

---

22 On caractérise de « platonisme mathématique », cette perspective car elle s'inspire à la théorie platonicienne des idées, cependant il s'agit plus simplement d'un réalisme mathématique de la même forme de l'attitude réaliste esquissée dans le chapitre précédent.

23 Il faut ici remarquer que l'accusation de psychologisme à la perspective critique est encore très courante et souvent, notamment dans les domaines scientifiques, le questionnement transcendantal est confondu avec une interrogation simplement autour de l'attitude du sujet envers les théories et les lois qu'il découvre.

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

transcendantale qui est spécifiquement pensée pour ajouter de la fécondité au processus logique et formel de la connaissance. La formalisation est bien une exigence kantienne aussi, mais elle ne se limite pas à une réduction à des concepts analytiques déjà établis. Au contraire elle exige un côté synthétique justement pour *remplir* ces concepts. La formalisation prend ici vraiment le sens de donner forme aux concepts, par une détermination du divers (empirique dans le cas de la physique et pur dans le cas des mathématiques) qui, effectivement, permet de composer, comme le veut Frege, des concepts nouveaux.

Or, si la correspondance de la géométrie à l'espace semble bien représenter un point stable de la pensée kantienne, on ne peut pas dire la même chose pour la relation du temps avec les arithmétiques. Par ailleurs, afin de faire face à cette difficulté, il est indispensable de tenir compte du fait que les arithmétiques ne sont pas des sciences vraiment axiomatiques et le caractère synthétique de leurs jugements est plus directement connecté à la nature constructive de cette science (Micheli 1998). Un autre point très controversé de la perspective mathématique kantienne est constituée par son caractère constructif. Le processus constructif des mathématiques est formulé par Kant, comme cela est bien connu, en opposition avec le processus de la philosophie :

La connaissance *philosophique* est la connaissance *rationnelle* par concepts, la connaissance *mathématique* est la *connaissance rationnelle par construction des concepts*. Mais *construire* un concept signifie le présenter *a priori* dans l'intuition qui lui correspond. (Kant 2001, 604)

Encore une fois, le sens de cette construction a été interprété de façon empirique. Cela aussi en raison d'un choix de mots ambigus qui renvoient à un langage pratique et technique. Or, la construction mathématique est du type schématique, issue de la doctrine de schématisme transcendantal et elle se clarifie à partir de la relation avec la faculté de l'imagination productrice et le schématisme. Par contre, l'imagination productrice a été, elle aussi, considérée juste comme une activité mnémonique ou capable de reproduire des images. À cela s'ajoute le fait que Kant se sert de termes comme *dessiner* ou *tracer* qui, encore une fois, renvoient à

une signification matérielle, technique, de l'activité constructive des mathématiques. Le cas de la géométrie, dans ce sens, est vraiment représentatif et notamment le processus, décrit par Kant, que le géomètre met en place afin de parvenir à la connaissance du rapport de la somme des angles d'un triangle avec l'angle droit. La pure réflexion d'un philosophe autour du concept de triangle ne peut point porter à une connaissance des rapports subsistants, par ailleurs, observe Kant :

Que dès lors, le géomètre prenne en charge cette question. Il commence d'emblée par construire un triangle. Puisqu'il sait que deux angles droits ont ensemble exactement la même valeur que tous les angles adjacents susceptibles d'être tracés à partir d'un point sur une ligne droite, il prolonge un côté de son triangle et obtient deux angles adjacents qui ensemble sont égaux à deux droits. Il divise alors l'angle externe de ce triangle en tirant une ligne qui soit parallèle au côté opposé du triangle, et il voit qu'il en résulte ici un angle externe adjacent qui est égal à un angle interne, etc. Il parvient de cette façon, en enchaînant les raisonnements, toujours guidé par l'intuition, à une solution de la question qui est pleinement évidente et en même temps universelle. (Kant 2001, 605–606)

L'intérêt de reprendre entièrement ce passage vient du fait qu'ici les aspects controversés sont nombreux. Tout d'abord, comme on l'a signalé auparavant, on y trouve un large emploi de mots tels *tracer* et *prolonger*. De telles expressions nourrissent l'idée selon laquelle ce processus de démonstration se réduirait à une pratique de dessin sur du papier, ou encore à la construction matérielle d'un objet, dans ce cas le triangle.

Ces éléments ont contribué à exiger un abandon de la perspective kantienne. En effet, si l'on prend la signification la plus simple et commune de ces expressions, il est clair qu'elles renvoient à une pratique matérielle, technique, et par cela empirique, de la démonstration. Pourtant, comme on va le clarifier ci-après, celui-ci n'est pas le sens le plus authentique de la pensée kantienne.

L'intérêt de clarifier la signification du processus de synthèse *a priori* au niveau de la construction des concepts, c'est-à-dire donc au niveau de la dynamique des mathématiques, réside dans la volonté de reconnaître une démarche analogue à l'intérieur du jugement réfléchissant. Celle-ci, une fois reconnue, non seulement nous permettra de rétablir dignité de science aux jugements sur les êtres vivants à l'intérieur d'un point de vue transcendantal, mais nous donnera surtout les éléments

pour en expliciter l'activité très spécifique. En effet, comme nous l'avons déjà esquissé, nous sommes convaincu que le processus de synthèse *a priori* propre pour le vivant se rapproche plus de la construction mathématique que de l'objectivation physique. Cela, comme nous le verrons dans la troisième partie de ce travail, en raison du caractère singulier de l'objet vivant pour lequel il est nécessaire de présenter une règle de construction du concept. Cette perspective nous portera à réfléchir autour des liens entre mathématiques et biologie et notamment à partir des processus de la géométrie.

### 2.4.b La construction mathématique chez Kant : imagination et schématisation

Objet d'enquête à l'intérieur de *l'Analytique transcendantale* est la définition de l'origine de la validité objective des connaissances *a priori* qui sont propres à l'entendement. La déduction transcendantale des catégories est confiée à *l'Analytique des concepts*<sup>24</sup>. Ici, Kant montre comment les objets de l'expérience ne pourraient pas se donner comme objets de l'expérience s'ils ne pouvaient pas être pensés par la structure des catégories. Or, le problème de la façon dont ces catégories sont effectivement appliquées aux phénomènes est abordé à l'intérieur de *l'Analytique des principes* par la doctrine du schématisation. Kant introduit un moyen terme entre l'entendement et les objets de la sensibilité. Ce moyen terme doit être d'un côté homogène avec la catégorie, mais de l'autre il doit se conformer au phénomène. Cette représentation intermédiaire doit être, donc, d'un côté pure, c'est-à-dire non sensible. Par ailleurs, elle doit être de l'autre côté aussi sensible. Kant introduit le schéma transcendantal qui est la « (...) représentation d'une méthode générale de l'imagination pour procurer à un concept son image » (Kant 2001, 226). Il s'agit, en d'autres termes, d'une représentation générale, comme la catégorie, et temporelle comme le contenu de l'expérience. L'entendement, en effet, exerce son action sur le temps par des schémas transcendantsaux qui correspondent aux catégories à travers une faculté que Kant appelle l'imagination productrice. L'imagination pour Kant est

---

24 Il paraît non superflu de rappeler ici que le terme *déduction* chez Kant n'a pas le sens scientifique de dérivation, mais plutôt celui juridique de justification ou légitimation.

le pouvoir de produire un objet, même lorsque celui-ci n'est pas présent dans l'intuition. Plus précisément il s'agit d'une activité spontanée capable de déterminer *a priori* la sensibilité en correspondance avec les catégories. L'imagination productrice est, alors, la faculté de produire *a priori* les conditions de possibilité de l'intuition sensible. Elle représente l'élément qui garantit, à l'intérieur de la philosophie kantienne, l'intermédiaire entre l'intuition sensible et son élaboration par les concepts.

La nature constructive des mathématiques est intimement liée avec ce processus de synthèse spécifique. Comme on l'a dit, l'appréhension empirique adresse son activité de composition vers le divers empirique. À côté de celui-ci il y a le divers pur, c'est-à-dire les formes *a priori* de l'intuition : l'espace et le temps. Or, à l'intérieur de *l'Esthétique transcendantale* l'examen de ces formes *a priori* est restreinte à leur fonction de condition de possibilité de l'intuition externe. Par ailleurs, dans le cadre kantien, les mathématiques, et notamment la géométrie, ne peuvent pas s'occuper de l'espace comme une forme de l'intuition indéterminée. Elles doivent pouvoir accueillir un espace qui soit, de quelque manière, donné comme un objet du divers pur. Pour que l'espace et le temps deviennent ce genre spécifique d'objet, il est nécessaire qu'une fonction intervienne afin d'opérer des *limitations déterminantes*. Cette fonction est la synthèse figurée. Elle s'adresse au divers pur avec le même rôle de composition et détermination de l'appréhension empirique vers le divers empirique. Le produit de cette synthèse est la figure géométrique. C'est en explicitant ce processus que se clarifient tous les termes d'inspiration empirique rencontrés auparavant, comme celui de dessiner dans la pensée, de décrire trois lignes verticales afin de comprendre les dimensions spatiales. On comprend, de cette façon, qu'il ne s'agit pas d'une activité empirique ou pratique, mais d'un acte déterminant de la pensée, véhiculé par cette fonction figurative de la synthèse. Autrement dit, cette fonction opère une détermination sur les conditions de l'intuition. Les objets des mathématiques ne sont pas, pour Kant, l'espace et le temps uniques et absolus. L'opération que la synthèse effectue, exprimée dans l'acte de tracer et de dessiner, est une fonction de composition qui produit des objets

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

déterminés. L'imagination productrice, en s'adressant au divers pur, opère des limitations par cette activité de composition. À ce sujet, il est intéressant d'observer que Kant, dans une note, décrit ce processus par le biais du mouvement :

Le mouvement d'un objet dans l'espace ne relève pas d'une science pure, et par conséquent pas non plus de la géométrie, parce qu'on ne peut pas connaître *a priori* que quelque chose est mobile, mais seulement par l'intermédiaire de l'expérience. Mais le mouvement, comme description d'un espace, est un acte pur de la synthèse successive du divers dans l'intuition externe en général par l'imagination productrice et relève, non seulement de la géométrie, mais même de la philosophie transcendante. (Kant 2001, 211–212)

On voit bien le caractère de production déterminante de la description. En effet ce n'est pas par le mouvement externe, et indépendant de la pensée d'un objet dans l'espace, dès lors que nous avons une description. C'est par le mouvement produit par la pensée, à travers un acte pur de synthèse, qu'un processus de détermination se met en place. Construire un concept, répétons-le, signifie : « le présenter *a priori* dans l'intuition qui lui correspond » (Kant 2001, 604). Cela signifie que l'intuition, qui est une représentation singulière, doit pouvoir se transformer en un objet garantissant l'universalité de la démonstration. Cette transformation est opérée par la synthèse figurée qui produit une image par une limitation du divers pur. Cette image, encore de caractère singulier, représente l'universalité de la démonstration par la règle de construction qu'elle expose. On peut alors comprendre qu'exposer *a priori* une intuition correspondante au concept signifie exposer la méthode par laquelle on produit cette image. L'importance du rôle de la règle de construction découle de la nature schématique du processus. En effet, ce processus est ultérieurement éclairci dans la doctrine du schématisme transcendantal. Le schéma est la règle de construction et c'est en ça qu'il est différent de l'image. La nature constructive, loin de ressembler à une production pratique ou technique de quelques objets singuliers, se configure alors comme l'activité de détermination *a priori* de la possibilité de la pensée de produire des objets en conformité avec les concepts ainsi qu'avec l'intuition pure. La nature de cette construction est donc



transcendantale.

Comme nous l'avons vu auparavant, la nature synthétique de la géométrie posait moins de problèmes aux logiciens critiques de la perspective kantienne et les observations se sont surtout concentrées sur la nature de l'arithmétique. Or, cette tolérance manifeste un élément d'incompréhension supplémentaire de la position kantienne. En effet, on comprend maintenant que le processus permettant la construction des figures géométriques est le même pour la construction algébrique. Les opérations algébriques opèrent la détermination des quantités en général. Il s'agit d'un processus de construction symbolique qui a la même fonction que la construction ostensive de la géométrie. Pour revenir à l'exemple «  $7 + 5 = 12$  » selon cette perspective il n'est pas possible de parvenir au nombre 12 uniquement par l'analyse des concepts de 7 et de 5 puisque ceux-ci n'ont pas encore été mis en rapport avec leur détermination dans l'intuition et pour cette raison leur contenu n'est pas encore compréhensible. Autrement dit, lorsque on prend analytiquement les concepts de 7 et de 5, leur processus de construction n'est pas encore exhibé dans l'intuition par la détermination de la quantité en général et sans l'exhibition de la règle de construction il n'est pas possible d'avoir un contenu déterminé.

### 2.5 Conclusion

Comme nous l'avons dit, Cassirer s'intéresse aux problèmes des mathématiques à l'intérieur du débat sur les fondements esquissé auparavant. La doctrine kantienne lui semble contenir des éléments absolument pertinents, telle sa valeur de processus synthétique et *a priori*. En revanche certains éléments nécessitent une extension. En ce sens, la démarche de Cassirer consiste à produire une réflexion à partir des éléments pilier de la perspective kantienne, mais en réponse aux nouveaux défis scientifiques. Selon Cassirer les principes *a priori* n'ont plus un sens absolu, comme cela était chez Kant, mais uniquement une valeur relative. Cela veut dire que la nécessité et l'universalité censées caractériser les propositions mathématiques, sont soumises à certaines conditions présupposées. Cet aspect a une

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

importance capitale notamment face au développement des géométries non-euclidiennes. De cette manière, les propositions de la géométrie euclidienne ont encore une valeur nécessaire et universelle, mais seulement à l'intérieur de leur propre système axiomatique. Les mathématiques sont aussi synthétiques, comme le théorisait Kant, et par ailleurs l'intuition pure n'est plus acceptée comme une source de la connaissance. Ici nous repérons un passage très important produit par l'école de Marbourg sur la pensée kantienne et qui consiste à interpréter la doctrine de l'espace et du temps dans un sens conceptuel. Ces deux éléments ne sont plus des formes absolues de l'intuition, mais des pures relations conceptuelles, susceptibles, elles aussi, d'être produites par la construction des concepts. Or, grâce à ces deux extensions capitales, la question de savoir comment les mathématiques organisent les sciences de la nature peut être posée. En effet, celui-ci est l'enjeu majeur d'avoir introduit un tel discours sur les mathématiques. Les sciences de la nature, comme nous l'avons vu, ne sont pas des descriptions simples des objets sensibles. Elles ont plutôt le rôle d'établir un ensemble de relations stables et invariantes. Dans la conception selon laquelle l'objet même des sciences de la nature est de type structural, il est donc structuré par les concepts qui le cernent, et les mathématiques jouent précisément le rôle de construire et d'organiser ces concepts. Elles se posent comme l'ensemble relatif des conditions constructives des concepts spécifiques pour les sciences.

Nous pouvons ici commencer à percevoir les fils conducteurs qui nous amèneront à la thèse fondamentale de ce travail selon laquelle les mathématiques organisent la structure des sciences de la nature par la construction des concepts qui, une fois appliqués, constituent les objets des sciences. Les conditions relatives à l'intérieur desquelles les mathématiques construisent des concepts pertinents dépendent des sciences particulières. Cela veut dire que pour la biologie, les mathématiques peuvent construire un ensemble de conditions conceptuelles applicables sous certaines conditions. Ce que nous voulons montrer est que, notamment, les mathématiques peuvent construire un nouveau champ causal

## CHAPITRE 2 ABSTRACTION, RUPTURE ET CONSTRUCTION

spécifique pour la biologie selon les règles du principe téléologique que nous détecterons. Pour ce faire, nous avons besoin, maintenant, d'aborder la question du principe de causalité en général. Dans le chapitre suivant, nous allons expliciter le rôle constitutif que la causalité a dans la structure des sciences, toujours dans un discours de théorie de la connaissance plus général. Par la prise en compte de la perspective de Cassirer nous allons opérer une extension du principe causal transcendantal jusqu'à en reconnaître la valeur de principe régulateur.

## CHAPITRE 3

### LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

#### 3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons prendre en compte un élément plus spécifique de notre analyse. Il s'agit de la catégorie de causalité dont nous allons ici tracer les contours. Le choix d'utiliser la causalité comme instrument de notre enquête transcendantale sur la biologie se trouve justifié par deux raisons principales. Premièrement, il s'agit d'un élément très pertinent dans le questionnement biologique. Dans plusieurs champs d'investigation des sciences du vivant le problème de la causalité représente un point crucial et délicat de la théorisation ainsi que de l'enquête pratique. Dans les chapitres suivants nous montrerons que la biologie doit rendre compte d'un type de causalité qui présente une difficulté scientifique par son écart vis-à-vis du type de la causalité efficiente. Il s'agit de la forme téléologique de la causalité. Donner une description téléologique signifie qu'un certain aspect (comportement, morphologie, organe, structure, traits...) peut être interprété comme ayant un but dans un système qui le dépasse. En d'autres termes, cela signifie expliquer quelque chose par ses effets (Allen 2009). Ce type d'explication pose un problème d'ordre métaphysique parce qu'il inclut une sorte de projet pour rendre compte de la causalité.

Le domaine où cette question se pose de façon explicite en biologie est l'analyse des fonctions (Voir par exemple Ariew, Cummins, et Perlman 2002; Buller

1999; Allen, Berkoff, et Lauder 1998). Comme on verra mieux dans les chapitres suivants, le large usage d'un langage causal téléologique dans ce contexte a poussé à une exigence de *neutraliser* la téléologie en l'immunisant de sa connotation métaphysique pour s'aligner sur la vocation principalement naturaliste de la biologie (Bedau 1993). Cela est fait notamment par différentes tentatives de naturalisation de l'aspect téléologique. Nous verrons plus dans le détail les multiples perspectives ainsi que les problèmes liés au concept de téléologie naturelle dans la deuxième partie de ce travail.

L'analyse de fonctions n'est pas le seul domaine en biologie où la question de la causalité téléologique se pose. La biologie moléculaire représente aussi un champ où le problème s'est, dans une certaine mesure, imposé sans être complètement surmonté (Duchesneau 1997, 39). Il suffit de se tenir aux affirmations de Monod (1970, 25), selon qui la téléonomie est une notion à reconnaître comme essentielle à la définition des vivants, pour se convaincre que celle-ci est un aspect central. Nous essayerons d'explorer, dans les chapitres suivants, dans quelle mesure certains procédés théoriques du réductionnisme de la biologie moléculaire ont pour but, plus au moins explicite, de réduire cette causalité téléologique aux composants élémentaires du vivant. Nous prendrons en compte notamment l'idée du programme génétique et de l'information. L'association entre téléologie et programme est, d'ailleurs, évoqué par François Jacob dans sa phrase très célèbre : « Longtemps le biologiste s'est trouvé devant la téléologie comme auprès d'une femme dont il ne peut se passer, mais en compagnie de qui il ne veut pas être vu en public. À cette liaison cachée, le concept de programme donne maintenant un statut légal » (Jacob 1970, 17).

Nous mettrons en évidence le fait que ce problème est aussi strictement connecté avec l'interprétation de l'organisation du vivant. Toute la deuxième partie de notre travail sera consacrée à l'analyse de différentes manifestations de ces questions et à la discussion des solutions qui ont été proposées par ces perspectives. Nous remarquerons que les différents processus de *neutralisation* de la téléologie, mis en

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

place afin de rendre métaphysiquement inoffensif ce concept, partagent la volonté de rendre compatible ce type spécifique de causalité avec une causalité efficiente déterministe. Nous détecterons en ça une confusion dans la compréhension du concept de causalité, souvent superposé à celui de déterminisme au sens de la physique classique et, de ce fait, recherché comme une propriété relationnelle entre des objets biologiques. Enfin, comme nous l'avons annoncé, dans la dernière partie de ce travail, nous mettrons en place, grâce à l'introduction de certains travaux qui vont dans le sens d'une réorganisation des principes de constitution pour la biologie<sup>25</sup>, une réflexion portant sur le rôle déterminant possible pour ce type spécifique de causalité que nous avons évoquée. Par ailleurs, notre examen sera efficace seulement s'il s'établit, de façon solide, dans une perspective transcendantale ainsi que nous l'avons esquissé dans les chapitres précédents. En effet, notre but est de produire une réflexion au niveau de la théorie de la connaissance en biologie. Pour cette raison nous avons besoin de préciser ultérieurement notre cheminement par la prise en compte de la perspective transcendantale sur la causalité.

Voici, donc, émerger la deuxième raison qui justifie notre choix. La catégorie de causalité est un élément très important dans le processus de constitution d'objectivité grâce à son rôle consistant à lier le divers des perceptions en une expérience par la mise en ordre de la succession des phénomènes (Bitbol 2000, 217). À ce titre, elle représente un instrument privilégié pour dévoiler les structures constitutives des objets scientifiques. Le but de ce chapitre est celui de mettre en lumière les liens qui existent entre la catégorie de causalité et la constitution de l'objet scientifique. C'est seulement à partir de cet éclaircissement qu'il sera possible de s'en servir comme instrument dégageant le type d'objectivation mis en place par les différentes perspectives que nous prendrons en compte dans les sciences du vivant. En effet, nous allons essayer de dégager un sens du principe de causalité qui s'éloigne de toute caractérisation semblable à celle d'une propriété des objets, ou des systèmes. Cela veut dire que nous n'allons pas parler d'objets préexistants dans la

---

<sup>25</sup> Nous nous adresserons tout particulièrement aux travaux de Bailly, Longo et Montévil.

nature, dont la relation causale entre les uns et les autres serait une relation intrinsèque. Bien au contraire, nous allons ici essayer de mettre en lumière comment l'application du principe de causalité contribue à la constitution des objets scientifiques. Ce principe demeure, donc, dans le champ du transcendantal dans la mesure où il a le rôle d'objectiver les phénomènes par l'exhibition d'une règle relationnelle de constitution entre les concepts et les objets.

Afin de mettre en place ce projet de donner les contours transcendantsaux de la catégorie de causalité, nous avons encore besoin de nous adresser à la physique. Nous voudrions rappeler une considération faite en introduction de ce travail, parce que nous tenons celle-ci pour un point philosophique très important. Il est donc indispensable que cet aspect soit bien clair. Le fait de s'adresser à la philosophie de la physique ne revient pas à nier l'autonomie de la réflexion en philosophie de la biologie qui, comme nous l'avons dit, s'est en quelque sorte éloignée des thèmes classiques de la philosophie des sciences (Sterelny et Griffiths 1999; voir aussi Pradeu 2011). L'intérêt est plutôt de produire une réflexion plus large, qui se place au niveau de la théorie de la connaissance et des concepts. Cela afin de dévoiler ses principes constitutifs et d'en proposer des pistes dans une perspective transcendantale. C'est uniquement en relation avec les autres constructions scientifiques, croyons-nous, que ce but peut être atteint. De plus, la physique est le domaine où la question de la causalité au sens transcendantal s'est posée en premier, donnant des directions de pensée dont on va s'inspirer pour réfléchir à la causalité en biologie.

### **3.2 Causalité, déterminisme et indéterminisme – une histoire critique**

Afin de nous donner les instruments pour bien comprendre la participation de la causalité dans le processus d'objectivation en général, nous allons maintenant évoquer des moments significatifs de ce principe dans l'histoire de la physique. Nous prendrons notamment en compte, de manière à peine esquissée, mais avec une

attitude critique utile pour établir un point de repère, les grands passages théoriques que la physique a vécu entre déterminisme et indéterminisme. Ce parcours en survol nous permet d'éclaircir le rapport entre causalité et déterminisme, parfois superposé en biologie. En effet, jeter un regard sur la question de la causalité, notamment en mécanique quantique, est intéressant pour ce travail parce que il permet d'introduire la possibilité de détacher le principe de causalité du cadre déterministe classique ainsi que de sa traditionnelle ambition prédictive. Nous allons ici nous servir encore des réflexions produites par Cassirer et Bachelard autour de ce problème, parce que celles-ci nous permettent de poser la question vraiment dans le cadre par lequel nous souhaitons ensuite interroger la biologie<sup>26</sup>.

#### 3.2.a Déterminisme et prédictibilité

Les sciences modernes, lors de leur naissance, héritent un cadre de pensée très ancien et en même temps très puissant : l'idée que la nature est intrinsèquement conforme à un ordre nécessaire. En effet, dès son tout début, la pensée grecque admet cette nécessité sous-jacente aux phénomènes, tout en exprimant une différence dans le type de causalité invoqué pour rendre compte de cette nécessité des choses. D'un côté on fait appel à une causalité de l'ordre substantiel, et donc finale, explicitant la *forme essentielle* des choses. C'est le cas par exemple des idées platoniciennes ainsi que des causalités formelle et finale d'Aristote<sup>27</sup>. L'alternative est une causalité de l'ordre mécanique permettant de comprendre la succession nécessaire entre les causes et leurs effets. On en a un exemple dans la pensée atomiste de Démocrite selon qui le mouvement des atomes est subordonné à une nécessité mécaniste<sup>28</sup>. À l'intérieur de

---

26 Nous avons déjà eu occasion de remarquer la proximité de ces deux perspectives, notamment dans l'intérêt de notre travail. Ce choix, encore une fois, va donc renforcer les instruments d'analyse par une explicitation additionnelle du rôle des concepts de déterminisme et d'indéterminisme dans l'objectivation.

27 Pour une étude critique de la nature explicative des causes par rapport au principe de nécessité chez Platon et Aristote voir par exemple (Roux 2004). Il faut ici préciser qu'Aristote s'intéresse des notions de hasard et de fortune (Aristote 2003). Cela a certainement un rôle important dans l'introduction du concept d'indéterminé qui va influencer tout le délicat équilibre entre déterminisme et indéterminisme de la pensée occidentale, notamment sur le plan moral. On renvoie ici à (Dudley 2012).

28 On reste ici sur une caractérisation très simple, alors que la question chez Démocrite est bien plus



ce cadre d'une nature nécessairement ordonnée, les sciences modernes sont bâties autour d'un geste théorique qui consiste à choisir les causes mécanistes en dépit des causes substantielles comme instruments valides de connaissance et d'explication. Ce premier acte de mécanisme et de matérialisme, où on remarque une réduction de la notion de la cause à son seul sens efficient (Duflo 1996, 22), représente une véritable révolution de la pensée par rapport à la notion de causalité du Moyen Âge, d'inspiration platonicienne, où la cause première du monde est entièrement absorbée dans le théologique<sup>29</sup>. Par ailleurs, le cadre déterministe et l'idée que le monde soit régi par des lois nécessaires, restent inchangés. À l'époque moderne, en effet, cette nécessité intrinsèque au monde se fond avec l'image essentiellement mathématique de la nature. Ce processus est profondément inspiré par la métaphysique rationaliste de Leibniz selon qui le monde est intrinsèquement mathématique. Une mathématisation de l'univers se met en place sous l'égide d'une profonde ambition de pouvoir connaître une réalité structurée selon des rapports déterminés qui

---

complexe, notamment au sujet du rapport entre nécessité et hasard. Sur ce point on renvoie à (Salem 1996).

29 L'émancipation que l'attitude naturaliste met en place, contre la métaphysique de la scolastique, se définit notamment par la position de limites et séparations nettes entre domaines. Les sciences modernes devaient, ainsi et dorénavant, se constituer seulement dans le domaine de la matière organisée de manière mécaniste, par le repérage des causes régulières et stables et de leurs effets. Par ce choix, la construction même des cadres scientifiques se rendait possible par le fait de se mettre, en un certain sens, à l'abri de toutes implications métaphysiques liées aux dogmes de l'hégémonie de l'église. Il est important, nous pensons, de souligner cet aspect lorsqu'on se pose la question du matérialisme et du mécanisme. Tout en voulant être critique vers une conception naïve et réaliste de ces éléments conceptuels il est à notre avis indispensable d'en reconnaître la valeur historiquement féconde, condition même de la possibilité de la naissance des sciences modernes. Autrement dit, le naturalisme fort qui engagea Copernic et Galilée, par exemple, à la volonté d'expliquer ce monde « écrit en langage mathématique » (Galilée 1979, 141) est à considérer un moteur constituant de la naissance de la pensée scientifique. Un témoignage de l'importance de ce réalisme naturaliste comme étincelle de développement des sciences, est, peut être, à trouver dans la thèse opposée. Le théologien Osiander, dans sa préface à l'œuvre de Copernic *Des révolutions des orbés célestes*, en proposait une interprétation visant à en caractériser les contenus comme de pures hypothèses mathématiques. Ainsi conseillait de faire le cardinal Bellarmine à Galilée. Ces interprétations fonctionnelles et instrumentalistes des théories étaient envisagées comme précautions vers l'admission de *faits* qui auraient profondément heurté les dogmes de l'église. Il faut certainement reconnaître la profondeur d'Osiander et de Bellarmine dans cette véritable opération d'abstraction instrumentaliste mise en place pour sauver les nouveaux cadres. Sur ce point il paraît intéressant de renvoyer à un classique de l'histoire de la physique (Duhem 2004). Par ailleurs, c'est plutôt la force bouleversante du naturalisme réaliste, qui s'oppose au symbolisme métaphysique, à constituer le vrai moteur de la révolution scientifique.

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

correspondent parfaitement aux rapports mathématiques. Ceux-ci représentent l'instrument suprême pour porter à la lumière l'ordre sous-jacent aux phénomènes.

Dans ce cadre la notion de causalité, ainsi que le déterminisme, ne sont alors que la parfaite expression de cette identité entre nature et mathématiques. En même temps, le succès de l'application des mathématiques au monde ne fait que confirmer que la nature est simple et toujours régulièrement ordonnée. Ce déterminisme intrinsèque des lois mécaniques va, petit à petit, s'étendre à toutes cultures scientifiques. S'instaure, ainsi, non seulement un modèle prédictif de la connaissance par le principe de causalité, mais une correspondance directe et rigide entre principe de causalité et pouvoir prédictif. Autrement dit, les deux concepts se superposent réciproquement. Le véritable apogée de cette forme de déterminisme est exprimé par le très célèbre démon de Laplace<sup>30</sup> :

Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé serait présent à ses yeux. L'esprit humain offre, dans la perfection qu'il a su donner à l'Astronomie, une faible esquisse de cette intelligence. (Laplace 1921, 3)

Il est intéressant de remarquer que cet emblème du déterminisme se trouve exprimé dans une œuvre autour du calcul des probabilités. Il est clair qu'une cristallisation de la pensée de Laplace autour d'un déterminisme naïf est certainement impropre. Il suffit de considérer qu'il est à l'origine de l'approche statistique et probabiliste de la physique (Bru 1986). Cependant, ce qui paraît par principe dichotomique et opposé, en réalité se constitue mutuellement dans un jeu conceptuel entre cause et hasard qui ne fait que souder l'alliance entre causalité et prédictibilité. En effet, la notion probabiliste de Laplace émerge de la considération d'une faiblesse intrinsèque à la connaissance humaine, exprimée dans l'impossibilité d'accéder à une mesure complète des phénomènes. Cela est, cependant, fondé sur une parfaite

---

30 Laplace est bien conscient qu'ils existent des cas aléatoires dans les évolutions des systèmes, mais il considère que ceux-ci sont des conditions assez spéciales et rares en nature. Le cadre profondément déterministe et prédictif reste l'horizon prédominant de la pensée de Laplace.

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

structure déterministe de la nature où la causalité gouverne tous rapports. Le calcul des probabilités vient à l'aide car il permet de fondre un certain nombre d'imprécisions de la mesure dans l'expression d'un comportement approximé qui conserve une stabilité. Autrement dit, la prédictibilité du comportement de la nature est *sauvé* par la reconnaissance d'une incapacité de le mesurer avec une précision suffisante. Le calcul des probabilités n'est, alors, qu'un instrument correctif de cette insuffisance humaine, capable, d'un côté de maintenir une possibilité prédictive et de l'autre de confirmer la nature causalement déterminée et prédictible des phénomènes. La causalité et la prédiction restent deux côtés indissolubles du même principe déterministe.

La question du principe de causalité et de sa légitimité universelle et nécessaire, comme nous l'avons vu, était déjà le grand problème autour duquel l'attitude critique de Kant s'était mise en place. Les objections de Hume allaient mettre définitivement en échec la notion classique de principe causal. Celui-ci ne pouvait plus se fonder sur la déductibilité des effets à partir de leurs causes par la voie rationnelle. Autrement dit, la cause ne pouvait jamais plus correspondre à la *raison* d'une chose. Seule l'expérience pouvait détecter des régularités d'occurrence entre phénomènes, sans pour cela pouvoir élever cette intuition empirique à un degré d'universalité quelconque. À cette question Kant répondait par sa révolution copernicienne qui consistait à replacer le principe de causalité à l'intérieur du sujet en lui reconnaissant son rôle de principe de constitution déterminante. Bien évidemment, ce principe allait encore être associé au déterminisme classique et à la prédiction. N'oublions pas que le système des conditions *a priori* kantien est modelé autour de la mécanique newtonienne. Par ailleurs un grand tournant était accompli. Le principe de causalité n'appartenait plus au monde comme une propriété de l'ordre intrinsèque des phénomènes. Bien au contraire, il allait faire partie des conditions par lesquelles les objets se constituent scientifiquement. Cet aspect est ce que Cassirer (2004b, 28) reconnaît comme un déterminisme critique, en opposition à un déterminisme métaphysique propre à Newton et à Laplace. Or, s'il est clair, pour

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

Cassirer, que Kant avec son principe de causalité reste dans un domaine déterministe classique et prédictif, il est cependant important de remarquer que cette forme de déterminisme ne dit rien autour du fondement de la nature. Il s'agit d'un principe de formation des concepts empiriques qui en organise la structure et son rôle est donc celui de l'objectivation. À partir de cette perspective, Cassirer (2004b, 74–80) considère que déjà à l'intérieur de la mécanique classique, le principe de causalité trouve une formulation transcendantale libérée de son ontologie ainsi que de son caractère de prédictibilité. Il observe par exemple, que chez Helmholtz, pour la première fois, on a une formulation d'un principe de causalité entièrement transcendantale, émancipée des rigidités kantienne et cela dans un contexte parfaitement classique. Selon Cassirer, Helmholtz donne une définition de cause qui ne se confond pas avec l'usage du sens commun qui lui attribue uniquement le sens d'être l'antécédent d'un effet. La causalité, ainsi que la conçoit Helmholtz, porte plutôt le rôle d'un principe qui organise la connaissance telle une condition de possibilité de la constitution des faits. Voici comme s'exprime Helmholtz dans l'introduction de son œuvre :

Le but final des sciences théoriques est donc de trouver les causes constantes des phénomènes. Il ne s'agit pas ici de décider si réellement tous les faits peuvent se ramener à de telles causes ; c'est-à-dire, si la nature est toujours intelligible, ou bien si elle présente des variations qui, se dérobaient à la loi d'une causalité nécessaire, appartiennent au domaine de la spontanéité, de la liberté. Mais, on peut affirmer, la science qui a pour but de concevoir la nature, doit admettre la possibilité de cette conception ; et elle doit, en suite de son hypothèse, poursuivre son œuvre, ne fût-ce que pour acquérir la certitude irrécusable que nos connaissances sont limitées. (Helmholtz 1869, 59)<sup>31</sup>

Helmholtz exprime, en effet, un point de vue transcendantal dans la mesure où il interprète la causalité comme un principe qui est en amont de l'expérience même de la connaissance et qui exprime l'idée que les mêmes circonstances produisent les mêmes effets en tant que fondement et garantie de l'intelligibilité de la nature. En ce sens, Helmholtz est le premier, d'après Cassirer, à comprendre le principe de causalité de la mécanique classique tel un principe régulateur. Autrement dit, à la différence d'un principe affirmant la nature intrinsèquement déterministe des

---

31 Cité dans (Kauark-Leite 2012, 166).

objets, Cassirer reconnaît dans la formulation de Helmholtz cette idée d'un principe pour la connaissance, sans quoi l'ambition même de fécondité serait perdue. C'est donc la connaissance qui impose cet idéal de déterminisme au monde, et non le contraire. Or, le principe ainsi formulé, remarque Cassirer (2004b, 78), se trouve bien éloigné de la formule de Laplace. Il s'agit d'un principe qui n'exige même pas un critère d'applicabilité tel que la prédiction du futur par le passé. La causalité interprétée comme un principe régulateur est, pour ce travail, un aspect très important. Dans la dernière partie, en effet, nous mettrons en place une interprétation de la troisième *Critique* kantienne issue de cette position de Cassirer, qui nous permettra de réfléchir au rôle épistémologique de la téléologie.

Pour bien comprendre le statut de ce principe, il convient, donc, d'explicitier une différence essentielle, et qui est à la base du raisonnement de Cassirer (2004b, 65), entre un principe et une loi. Un principe n'est pas au même niveau d'une loi parce que celle-ci est un énoncé autour des phénomènes, alors que les principes sont des règles en conformité desquelles les lois peuvent être établies. Un corpus de lois constitue, donc, un ensemble de propositions sur la nature fondées sur des principes. Ces mêmes principes sont un ensemble de conditions de possibilité pour produire des déterminations sur la nature et pour faire ressortir, de ce processus, des lois. Or, il convient de reconnaître une place encore plus abstraite pour le principe spécifique de la causalité. Il s'agit, pour Cassirer, d'un principe régulateur. Celle-ci est une caractérisation très importante, parce qu'elle nous permet de comprendre en quel sens le principe de causalité exerce un pouvoir déterminant sur la constitution même des lois. D'une certaine façon, en effet, il s'agit d'un pouvoir encore plus abstrait et supérieur que celui de formuler des lois, dans le sens où il le précède comme une condition *a priori*. Il est opportun de préciser que Cassirer propose une organisation hiérarchique du fonctionnement de la physique en trois types d'énoncés. Les énoncés de mesure constituent le premier degré. Ces énoncés représentent, en effet, le premier accès aux phénomènes. Le deuxième degré est constitué par les lois et, au troisième degré, on trouve les principes. Par ailleurs, il ne faut pas, comme le dit Cassirer

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

même, imposer une hiérarchie rigide à cette structure, comme si elle était une pyramide dont on pourrait imaginer l'indépendance de la base (les mesures) vis-à-vis des structures supérieures. Les mesures, en effet, dépendent déjà des hypothèses sur les lois, qui sont issues des principes. Toutefois les principes dépendent aussi des mesures et des phénomènes grâce à ce processus de synthèse *a priori* qu'on a explicité auparavant. Autrement on serait face à un pur formalisme des principes, vidé de tous contenus de la nature. Ces énoncés, alors, s'intercalent par une relation corrélatrice qui ressemble, selon l'image kantienne, à une sphère (Cassirer 2004b, 44–45).

Avant de continuer notre recherche du lien entre la causalité et la constitution des objets, notamment par l'explicitation du sens régulateur de la causalité, nous voudrions ici commencer par poser un repère fondamental, qui s'ajoute à ce que nous avons déjà dit autour du processus de construction mathématique dans le chapitre précédent. Le rôle des mathématiques dans notre perspective, nous l'avons vu, est celui de construire des principes. Par l'application de ces principes à la nature, les sciences particulières établissent des lois. Les lois se fondent sur des principes et ceux-ci doivent être spécifiques pour les sciences particulières. Penser fonder des lois spécifiques à une science en s'appuyant sur les principes construits pour une autre science signifie tenter une réduction impropre par une juxtaposition de lois, sans une réorganisation des principes (Bailly et Longo 2006). Nous reviendrons sur ce point au fur et à mesure que notre vision intégrera tous les éléments nécessaires. Nous verrons mieux par la suite que celui-ci représente un problème dans certaines formes traditionnelles et classiques d'exposition des lois en biologie.

Or, pour revenir au principe de causalité ainsi qu'il est interprété dans les travaux de Cassirer, on peut généraliser en disant qu'il s'agit d'un principe régulateur dans la mesure où il représente une idée régulatrice projetée sur la nature qui permet d'attribuer une uniformité aux phénomènes (au sens critique kantien, donc pas comme des propriétés d'objets). Nous verrons que c'est par cette interprétation que Cassirer comprend la causalité en mécanique quantique.

Nous voyons comment, déjà dans un cadre classique, il est possible de détecter un détachement de la notion de cause à l'égard de l'idée d'une nécessité causale de la nature. Bachelard considère, dans le même esprit que Cassirer<sup>32</sup>, que le déterminisme, ainsi que l'indéterminisme, sont des notions psychologiques qui se sont imposées à l'esprit scientifique. À ce sujet, il retrace la naissance du déterminisme dans l'expérience astronomique, où le mouvement régulier des astres inspire et enseigne un déterminisme absolu. L'astronomie newtonienne fonde la physique mathématique tout en donnant un statut légal à cette impression de déterminisme et d'objectivité dans des formes fondamentales de la connaissance qui : « pour n'être pas *a priori* dans la perception, pourraient être assez justement dites *a priori* dans la réflexion » (Bachelard 1991, 100). Mais, remarque Bachelard, l'observation des phénomènes du devenir terrestre, en raison de leur complexité, n'aurait pas pu inspirer le déterminisme. Le fait d'avoir longtemps appliqué ce cadre est alors dépendant d'un choix de mise à l'écart des phénomènes perturbants dans la formation de l'esprit scientifique :

Au fond, l'esprit scientifique ne consiste pas tant à observer le déterminisme des phénomènes, qu'à prendre les précautions pour que le phénomène défini au préalable se produise sans d'excessives déformations. (Bachelard 1991, 104)

En raison de ces considérations, d'après Bachelard, la psychologie de la causalité n'est donc pas nécessairement congruente à la psychologie du déterminisme. Celui-ci représente une forme d'application de la causalité qui n'épuise pas ses possibilités en tant que « catégorie fondamentale de la pensée objective » (Bachelard 1991, 115). Par cette première exploration critique du sens de la causalité, nous remarquons qu'une association rigide au déterminisme semble déjà pouvoir être

---

32 La caractérisation psychologique des notions scientifiques proposée par Bachelard ne doit pas, nous pensons, constituer nécessairement une opposition à la gnoséologie anti-psychologique de Cassirer dans la perspective de notre travail. Cela en raison du fait que le choix d'employer un registre psychologique revient, chez Bachelard, à la volonté de produire un dépassement du caractère universel du sujet transcendantal kantien, pour rendre à la démarche scientifique la forme plastique et dynamique qui lui est caractéristique (Bachelard 2007, 18). Sur ce point voir aussi (Lahbib 2004). Or, il nous paraît qu'en principe ce parcours trouve suffisamment de correspondances dans l'entreprise de relativisation des *a priori* kantien mis en place par Cassirer pour que ça reste intéressant et fécond de maintenir ces deux penseurs comme deux horizons parallèles qui guident en partie notre travail critique.

surmontée dans un cadre classique. En ce sens la catégorie de causalité doit être interprétée comme une assertion légitime seulement lorsqu'elle s'adresse à la forme de la connaissance et non pas aux objets telle une propriété relationnelle. On pourrait conclure que l'assimilation de la catégorie de causalité au déterminisme, et notamment à son caractère de prédictibilité des phénomènes, a pu paraître légitime dans le cadre classique en raison des succès de l'application de ce cadre à la nature. En revanche, Cassirer observe que la formulation du déterminisme donnée par Laplace a, elle-même, une application très réduite qui se limite à quelques systèmes bien définis de l'astronomie et, malgré ça, une science causale s'est énormément développée. Cet aspect fait conclure à Cassirer (2004b, 78) que le caractère de prédictibilité ne représente qu'un possible critère d'application de la causalité. Nous allons voir maintenant, avec Poincaré, que déjà un système à trois corps parfaitement déterministe échappe à cette application du critère causal.

#### 3.2.b Causalité et imprédictibilité

Une première grande rupture manifeste du couple causalité et prédictibilité arrive avec les analyses de Poincaré du problème des trois corps. Pour un système composé d'une planète tournant autour du soleil, la solution des équations du mouvement de Newton est entièrement déterminée par la connaissance des conditions initiales. Par ailleurs, Poincaré, voulant montrer la stabilité du système solaire<sup>33</sup>, découvre qu'en réalité un système à trois corps en général ne présente pas de solutions par voie analytique. Le système corrélé des équations qui en décrit le mouvement est incapable, en effet, d'en prévoir les états futurs parce que de toutes petites variations, de niveau microscopique, peuvent évoluer au cours de l'évolution temporelle du système, jusqu'à produire des changements macroscopiques qui n'étaient pas prévisibles à l'état précédemment considéré<sup>34</sup>.

---

33 En 1889, Poincaré remporte le prix du roi de Suède et de Norvège pour son travail censé résoudre le problème des trois corps. Cependant, au cours de la publication, une erreur importante est détectée. Cela conduit le mathématicien français à ses découvertes autour de l'imprédictibilité et des systèmes chaotiques. Voir (Barrow-Green 1997).

34 Cette découverte négative de Poincaré ouvre un champ inexploré jusqu'à son époque, qui se développera avec les théories du chaos déterministe. On renvoie à (Charpentier, Ghys, et Lesne



### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

La correspondance théorique entre le déterminisme causal intrinsèque à un système et la possibilité de prévoir, par cela, tous ses états, se brise contre une difficulté de type mathématique :

Une cause très petite, qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne pouvons pas ne pas voir, et alors nous disons que cet effet est dû au hasard. Si nous connaissions exactement les lois de la nature et la situation de l'univers à l'instant initial, nous pourrions prédire exactement la situation de ce même univers à un instant ultérieur. Mais, lors même que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la situation qu'approximativement. Si cela nous permet de prévoir la situation ultérieure avec la même approximation, c'est tout ce qu'il nous faut, nous disons que le phénomène a été prévu, qu'il est régi par des lois ; mais il n'en est pas toujours ainsi, il peut arriver que de petites différences dans les conditions initiales engendrent de très grandes dans les phénomènes finaux ; une petite erreur sur les premières produirait une erreur énorme sur les derniers. La prédiction devient impossible et nous avons le phénomène fortuit. (Poincaré 1999, 62)

Tout en restant dans un système complètement déterminé causalement, le caractère de prédictibilité n'y est plus directement associé. Il devient alors manifeste, que celui-ci n'est pas équivalent au principe de causalité. Un autre grand résultat est à retenir. Grâce aux travaux de Poincaré on a, pour la première fois, un traitement mathématique d'une forme de hasard, le hasard déterministe dans ce cas. Cet aspect est très important parce qu'il met en évidence qu'une description scientifique, tout en renonçant à une prédictibilité rigide comme dans le système de Laplace, ne renonce pas à une détermination objective de son analyse. Au contraire, elle se donne les instruments (probabilistes) pour élargir son lieu de détermination. Nous allons pouvoir comprendre mieux cet aspect à la lumière des problèmes posés par la question de l'indéterminisme en mécanique quantique.

#### 3.2.c Causalité, statistique et indéterminisme

Dans la deuxième moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle les efforts d'interpréter les phénomènes thermiques, optiques, électriques et magnétiques par les lois de Newton témoignent de l'extraordinaire influence que le cadre théorique de la mécanique classique exerce sur la forme de la connaissance en général. Cela au point d'introduire des entités mécaniques cachées tel l'éther ou les corpuscules, afin de

---

2006).

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

maintenir, à tous prix, la cohérence du cadre de la mécanique classique. Bachelard (1991, 108) reconnaît là un privilège attribué aux intuitions des corps solides dans la formation historique et psychologique de la pensée scientifique déterministe. Par ailleurs, un nouveau cadre va petit à petit se mettre en place, dans une abondance de propositions théoriques censées interpréter les systèmes composés d'un nombre très élevé de particules. Sur ce fond, à partir de la cinétique des gaz, Boltzmann établit et développe la mécanique statistique dans un esprit radicalement nouveau et fortement controversé par rapport aux travaux de son époque. La mécanique statistique, au lieu de décrire le comportement des objets, donne un comportement moyen de l'état du système grâce à la décomposition de l'espace des phases en parties équiprobables (ergodiques) et à l'évaluation des probabilités d'un macro-état dans lequel les particules peuvent se trouver.

Ce qui est épistémologiquement bouleversant par rapport à la mécanique classique, est justement l'impossibilité de donner une description déterministe des particules, mais de devoir recourir à des descriptions moyennes pour déterminer un état global du système. Bien évidemment, le déterminisme classique est fortement affaibli par ce cadre. Le fait de devoir renoncer à une détermination intrinsèque aux éléments constitutifs de la matière, privilégiant un accès au phénomène dans sa globalité, semble bien établir une rupture par rapport à l'idée du déterminisme classique. De plus, les macro-paramètres pour lesquels il est possible d'avoir une mesure, semblent émerger d'un substrat qui échappe totalement à toute détermination. Se dessine l'image d'un hasard plus profond que simplement épistémique. L'idée d'un monde élémentaire désagrégé et indéterminé voit le jour et se prête à toutes sortes d'interprétations métaphysiques. Cette notion est loin d'être acceptée par les scientifiques de l'époque, totalement imprégnés par la pensée déterministe classique (Barberousse 2004). À cet état de choses s'ajoute la naissance de la mécanique quantique.

Le XX<sup>ème</sup> siècle est porteur de grandes révolutions en physique qui vont définitivement bouleverser le concept ordinaire de causalité et de déterminisme. Ce

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

n'est pas tant la relativité qui met en discussion le principe de causalité. En effet, malgré les véritables révolutions opérées par les théories de la relativité restreinte et générale en ce qui concerne la relativisation de l'espace et du temps, ainsi que le concept même de matière, elles restent entièrement construites sur un principe de causalité déterministe classique. Cela en raison de la notion de vitesse limite, celle de la lumière, qui empêche de bouleverser l'ordre entre cause et effet. La relativité est une astronomie entièrement déterministe au sens classique (Bunge 2011, 448). D'ailleurs, l'attachement d'Einstein, scientifique profondément réaliste, au déterminisme intrinsèque au monde est bien connu et se résume par sa célèbre phrase « Dieu ne joue pas aux dés » prononcée au congrès Solvay en 1927 en plein débat autour de l'interprétation probabiliste de la mécanique quantique.

C'est avec cette dernière que le principe de causalité semble vraiment mis en discussion une fois pour toute. Cela en raison du principe d'indétermination formulé par Heisenberg en 1927 et de l'essor de l'interprétation probabiliste de Born. Le principe d'indétermination, comme cela est bien connu, affirme qu'il n'est pas possible de mesurer au même instant aussi bien la position que la quantité de mouvement d'une particule. Affronter de manière exhaustive la genèse de la mécanique quantique, ses interprétations ainsi que tout le débat qui en suivit et qui est, encore aujourd'hui, en constante évolution, dépasse largement les buts de ce travail. Une vaste bibliographie existe à ce sujet (Voir par exemple Beller 1999; Omnès 1994). Nous nous contentons ici de prendre en compte certaines des conséquences philosophiques plus radicales, notamment à l'égard du principe de causalité, afin d'introduire des réflexions et des solutions critiques qui vont inspirer notre concept de causalité pour la biologie.

La principale conséquence théorique de ce nouveau cadre semble bien être la perte totale du paradigme déterministe, ainsi que du concept de causalité formulé de manière classique, selon lequel il est possible de connaître les états futurs de l'évolution d'un système si on connaît son état présent par les lois du mouvement. Heisenberg, par exemple, observe que :

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

Ce qui a été réfuté dans la loi exacte de causalité, selon laquelle 'quand nous connaissons le présent avec précision, nous pouvons prédire le futur', ce n'est pas la conclusion mais l'hypothèse. (...) la mécanique quantique établit l'échec final de la causalité. (Cité dans Bitbol 1997, 229)

Ce point porta les physiciens de l'époque à s'interroger sur la possibilité d'un indéterminisme intrinsèque au monde microscopique. En effet, en mécanique quantique l'idée de la trajectoire d'une particule perd complètement de sens, pour laisser la place à un ensemble de probabilités autour de certaines positions. Si le calcul des probabilités est le seul moyen d'avoir des informations sur les phénomènes naturels de type microscopique, il a bien paru raisonnable d'attribuer à ces phénomènes mêmes une telle propriété d'indétermination. De plus la mesure elle-même semblait *perturber* les résultats des expériences<sup>35</sup>. Ces deux aspects évoquent, donc, une image extrêmement contre intuitive du monde microscopique. Celui-ci semble se trouver dans un ensemble d'états superposés entre lesquels le choix est déterminé uniquement par la mesure exercée. On voit bien comment la question de la causalité est posée.

Or, précisément dans ce contexte une interprétation transcendantale manifeste la capacité d'éclaircir ces difficultés philosophiques. Dans le débat autour de la mécanique quantique existent de nombreuses contributions d'inspiration transcendantale. À commencer par les fondateurs de la nouvelle théorie physique, obligés de se poser des questions autour du processus de la mesure et de la constitution d'objectivité (Bitbol 1997, 216), un ensemble de perspectives de type critique, au sens kantien, se sont mises en place utilisant divers procédés de relativisation ou d'extension des *a priori*. Ces recherches, aussi bien contemporaines aux découvertes que beaucoup plus récentes, partagent la volonté de replacer le problème de la mesure et de l'indétermination à l'intérieur de leur sens de principes

---

35 Par ailleurs, comme le montre Bitbol (1997; 1996), il est faux de considérer que la mesure perturbe le résultat des expériences, puisque ce résultat inclut d'emblée l'effet de la soit-disant "perturbation". Il n'est pas vrai non plus que la mesure perturbe la trajectoire de la particule car, qui peut dire ce qu'est la trajectoire de la particule indépendamment de la mesure, avant la perturbation ? Alors, il faut admettre avec Bohr que la "perturbation" n'est qu'une image commode mais fautive pour exprimer ce qu'il appelle "l'indivisibilité du phénomène", c'est-à-dire que le phénomène est indissociable vis-à-vis du contexte instrumental qui permet de le produire.

constitutifs de l'expérience et de la constitution d'objectivité. Cela avec le grand mérite de démêler une confusion entre le plan de l'objectivité et le plan ontologique afin de produire une interprétation non métaphysique de la mécanique quantique (Voir par exemple Kauark-Leite 2012; Bitbol, Kerszberg, et Petitot 2009). Il est donc clair que le travail opéré par Cassirer, que nous allons prendre en compte, n'est certainement pas isolé. Cependant, s'occuper de ces différentes thèses n'appartient pas aux buts de ce travail. Comme nous l'avons dit, l'intérêt d'esquisser le problème de la causalité en mécanique quantique consiste ici à nous permettre de prendre en compte spécifiquement la perspective de Cassirer, car c'est à partir de cette perspective qu'il nous sera possible d'interpréter le principe de causalité téléologique. En effet, le processus de relativisation du principe de causalité que Cassirer a mis en place va constituer le fondement même de notre proposition théorique pour la biologie en le caractérisant comme un principe régulateur. Cela, entre autres, nous permettra d'interpréter la formulation kantienne à propos du vivant, que nous avons à peine introduite dans le premier chapitre, non pas comme un affaiblissement de la connaissance, mais comme un principe spécifique pour la biologie.

Comme nous l'avons vu, le premier bouleversement intrinsèque pour la causalité vient de la mécanique statistique. Autrement dit, c'est à partir de la mécanique statistique que l'ordre causal semble véritablement *manquer* aux phénomènes microscopiques. Les systèmes chaotiques de Poincaré, en effet, ne produisent pas une mise en question si radicale. La rupture entre cause et prédiction vient d'une imprécision de la mesure et non d'une présumée composante indéterminée de la matière. Cassirer (2004b, 90) observe que s'il est vrai que le déterminisme de Laplace n'a plus de place dans les nouveaux contextes scientifiques, il n'est pas vrai pour autant que la physique a renoncé à ses moments rationnels. Plutôt, la physique, dans la construction des nouveaux cadres théoriques, a produit une généralisation de ses principes. Cela avec le principal mérite de les libérer de leur adhésion intuitive au monde. Dans la formule de Laplace, le fait d'être associable de façon directe à une supposée uniformité intrinsèque des objets de la nature,

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

représente une limite. La construction scientifique doit se faire par un processus de généralisation qui, plus il est fin et abstrait, plus il est *détaché* du monde de la sensibilité et plus il est efficient par le fait de s'élargir de façon extensive.

Toutes les grandes révolutions de la pensée scientifique obligent, nous enseigne Bachelard, à un reclassement profond du réalisme, mais ce n'est pas le réalisme à produire ces mêmes ruptures de cadres : « L'impulsion révolutionnaire vient d'ailleurs : elle prend naissance dans le règne de l'abstrait. C'est dans le domaine mathématique que sont les sources de la pensée expérimentale contemporaine » (Bachelard 1991, 134).

Ainsi, le passage d'un cadre théorique à un autre, ne se fait pas par la réduction des nouveaux phénomènes aux lois précédentes, mais bien au contraire, par une extension des principes assez grande pour *unifier* les corpus de lois sous un cadre général (Longo et Montévil 2013; Bailly et Longo 2006). En effet, Cassirer détecte, dans le passage à la mécanique statistique, une première grande transformation extensive du champ causal. Cependant, il observe que, à cause de l'attitude consistant à vouloir réduire tous les phénomènes au cadre classique, attitude fondée sur le *défaut* de correspondance aux choses, ce schéma causal est demeuré longtemps en dehors d'un cadre général de la physique. Le vrai problème consiste à avoir, dans un esprit positiviste fortement critiqué par Cassirer, aplati la connaissance à un niveau ontologique en ayant considéré les descriptions scientifiques comme des correspondances directes aux *choses* du monde. Cette façon de voir la connaissance a produit une opposition entre lois du déterminé et lois de l'indéterminé. La fécondité de lois statistiques est, par ailleurs, le signe certain qu'une nouvelle forme de connaissance et de détermination est mise en place (Cassirer 2004b, 108).

Cette transformation du champ causal, appartient, selon Cassirer, à l'ensemble des transformations idéales qui ont contribué à toute l'expérience physique, déjà à l'intérieur de la mécanique classique. En d'autres termes ce n'est pas la mécanique statistique qui a rompu avec une image intuitive du monde, mais bien au contraire cela arrive tout le temps lorsqu'il y a un passage idéal qui donne lieu à un

ensemble de lois. Cassirer, par une analyse historique de la gnoséologie de la physique, retrouve ces moments de passage à l'idéal et, par cela, brise tous les résidus d'un réalisme selon lequel la mécanique classique *adhère plus immédiatement* au monde des objets. Il n'est pas possible ici de reprendre toute l'histoire critique proposée par l'auteur. Il nous semble, par ailleurs, intéressant de reprendre au moins un cas de son analyse qui nous paraît particulièrement profond et explicatif.

Cassirer réfléchit au problème représenté dans la statistique par le fait de ne donner que des lois de comportement en moyenne et de sembler, par cela, se poser en dehors de l'universalité requise pour les sciences selon les cadres théoriques qui l'ont précédée. Dans ce contexte, l'auteur se demande si cette universalité est vraiment respectée, d'un point de vue empirique, dans la mécanique classique. Il prend par exemple les lois de Galilée sur la chute des corps et remarque que Galilée ne s'est certainement pas posé la question de vérifier si l'accélération était vraiment constante pour tous les corps et dans tous les cas. Bien au contraire, l'universalité de son assertion vient de son caractère idéal. Elle n'est pas la collecte d'un répertoire infini de cas où l'accélération est constante. Cassirer observe :

Cela pourrait être exprimé de manière presque paradoxale en disant que les équations de Galilée ne prétendent pas être vraies en raison de leur validité toujours et partout, (...) mais parce qu'elles, rigoureusement parlant, ne valent jamais. Il s'agit de cas idéaux et non pas de cas donnés empiriquement. (Cassirer 2004b, 100 traduit par l'auteur)

Ce n'est, donc, pas par une adhésion aux objets, mais par une idéalisation des trajectoires que toute la physique classique s'est construite. Dans les mêmes conditions une détermination des lois statistiques a été tout à fait possible. Si on passe à une idéalisation des comportements moyens, on peut toujours poser une universalité, simplement il est nécessaire d'élargir le champ de détermination. Autrement dit, dans les domaines statistiques de la physique il n'est plus possible d'avoir une détermination au niveau des trajectoires des objets singuliers, mais on demande une généralisation ultérieure vers une fréquence relative. À ce stade, par ailleurs, il est tout à fait légitime de reconnaître une détermination justifiant une

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

objectivité des assertions. À l'intérieur de la mécanique quantique, de plus, Cassirer détecte un principe *a priori* universellement valide dans la constante de Planck. Elle est validée dans toutes méthodes par le fait d'être imposée par un principe régulateur qui en garantit l'universalité objective :

Le quantum élémentaire d'action se montre comme s'il était une armature fixe, dans laquelle toutes les assertions de la théorie quantique sont rangées ; et la sécurité et la fermeté de cette armature toutes seules doivent être suffisantes pour protéger l'indéterminisme de la théorie contre ces interprétations spéculatives auxquelles elle a été exposée dans la transition de la physique aux conclusions générales concernant le *Weltanschauung* de l'homme. (Cassirer 2004b, 150)<sup>36</sup>

Dans les systèmes indéterminés se réalise ce que Bachelard appelle une transcendance de la qualité qui, n'appartenant plus au composant, s'impose au composé. C'est par cet élargissement de l'objet à ce niveau de *figures d'ensemble* que la causalité reste valide :

(...)en partant de la considération des phénomènes désordonnés, le savant a eu la surprise de voir s'imposer à lui le même déterminisme d'ensemble, fondé sur des permanences plus ou moins légitimes, plus ou moins exactes, mais dont l'existence est cependant assurée. (Bachelard 1991, 116)

Le principe de causalité doit, donc, être compris dans le sens d'une assertion transcendantale légitime seulement lorsqu'elle est adressée à notre forme de connaissance et non pas aux objets. Dans ce sens il reste tout à fait valide tel un principe régulateur qui produit une détermination aussi dans le cadre des systèmes indéterminés. En raison de cela il convient de lui accorder une mobilité généralisatrice, une plasticité vers l'abstraction afin de lui faire subsumer une régularité déterminante pour la nature. Un principe de causalité mobile est ainsi invoqué par Bachelard, lorsqu'il se penche sur le problème de l'indéterminisme et de la perte présumée de toute causalité :

(...) on se rend compte que la causalité et le déterminisme ne sont point absolument synonymes et que la psychologie de la cause est loin d'être si solidaire qu'on le croit de la psychologie du déterminisme. Comme le dit très bien von Mises "Le principe de causalité est mobile (*wandelbar*) et il se subordonne à ce que la physique exige". Nous dirions plus généralement que le principe de causalité se subordonne à ce que la pensée objective exige et qu'en cela il peut bien être dit encore la catégorie fondamentale de la pensée objective. (Bachelard 1991, 114–115)

---

<sup>36</sup> Cité et traduit dans (Kauark-Leite 2012).



Il n'y a pas de perte de causalité par la perte de la détermination des objets élémentaires. Au contraire, on a un élargissement par abstraction de la causalité qui entraîne un élargissement de l'objet. Dans les cadres indéterministes il n'est plus possible d'accéder aux phénomènes par leurs micro-composantes. Une notion de macro-objet émerge sur laquelle les déterminations objectives de régularités stables vont se construire en imposant ce principe causal.

C'est précisément dans ce sens que Cassirer propose d'élargir ce concept et de le comprendre dans son sens transcendantal. Comme le remarque Kauark-Leite (2012, 164–169), c'est le tournant helmholtzien qui donne la clé d'interprétation de Cassirer. C'est par la considération du principe de causalité en tant que maxime régulatrice que sa pertinence reste valide dans tous les domaines de la physique. Le principe de causalité, ainsi conçu, ne contient plus d'affirmations sur la nature des objets, comme la formule de Laplace, mais sur la forme de la connaissance.

Le fait de ranger le principe de causalité parmi les principes régulateurs, au lieu des principes directement déterminants, pourrait paraître une limitation. En effet, comme nous le verrons, les principes régulateurs kantien sont considérés, souvent, comme des affaiblissements de la connaissance par rapport à la science déterminée représentée par la mécanique newtonienne. Cependant, celui-ci n'est pas le point de départ de Cassirer. Lui, comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, il a déjà produit une extension au niveau des intuitions *a priori* de l'espace et du temps en les transformant en structures conceptuelles, donc soumises, elles aussi à la synthèse *a priori*. Grâce à ce passage, on comprend la possibilité de déterminer des espaces pertinents pour des cadres physiques différents. Comme le montrent Longo et Montévil

En ce sens, l'un des défis majeurs pour un physicien (théorique) est d'inventer l'espace pertinent ou, plus précisément, de construire un espace mathématique qui contient tous les ingrédients nécessaires pour décrire les phénomènes et pour comprendre les déterminations de leurs trajectoires, s'il y en a. (Longo et Montévil 2013, 2 traduit par l'auteur)

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

Kant semblait bien avoir compris cet aspect pour la mécanique newtonienne, et grâce à ça il avait élevé l'espace et le temps absolu de Newton au rang de conditions de possibilité *a priori*. Cependant, comme probablement il croyait que ce système de connaissance était le seul rationnel possible, il a cristallisé les formes d'espace et temps newtonienne en leur donnant la forme rigide d'intuitions pures. Nous pensons que c'est précisément dans ce sens qu'il faut interpréter l'extension de l'espace et du temps de Cassirer. Ces formes préservent leur caractère de conditions *a priori* pour la détermination des phénomènes, mais elles s'adaptent au type de détermination requis. Il est alors compréhensible que l'espace-temps riemanien soit le cadre de la relativité, où l'espace de Hilbert celui de la mécanique quantique.

Dans le même sens il convient d'interpréter l'extension produite par le déplacement du principe de causalité. Cassirer en effet, opère un basculement de toute la structure transcendantale vers les principes régulateurs en les transformant en des cadres élargis qui contiennent les principes déterminants et qu'ils règlent de ce fait. C'est dans ce sens que nous voudrions rendre opératoire ce concept pour la biologie. Notre but, développé notamment dans la dernière partie de ce travail, est de montrer qu'il est légitime, en s'appuyant sur ce processus d'élargissement du principe de causalité, d'interpréter la causalité téléologique tel un principe régulateur capable de donner la forme des jugements déterminants en biologie.

### **3.3 Conclusion – quelques pistes pour une causalité régulatrice en biologie**

Dans ce chapitre nous avons esquissé des moments centraux de la notion de causalité en physique. Cela nous a permis de prendre en compte le problème du point de vue épistémologique et transcendantal. Nous ne voulons pas, par ce chapitre, invoquer un même type de causalité quantique pour la biologie. Nous voudrions, plutôt, établir un lien au niveau du mouvement de la connaissance que nous avons détecté dans la forme d'une abstraction extensive des principes de régularité. Ce qui émerge dans ce chapitre, grâce aux analyses de Cassirer et de *Bachelard*, c'est qu'un

### CHAPITRE 3 LA CATÉGORIE DE CAUSALITÉ

principe de causalité n'est pas un élément présent dans les relations ontologiques entre les objets, mais qu'il faut plutôt l'interpréter comme une procédure de conformation de l'activité de la science à des lois. Dans cet esprit nous proposerons, à la fin de ce travail, de mettre en place un principe causal régulateur pour la biologie issu de la forme téléologique définie dans la troisième *Critique* de Kant.

**DEUXIÈME PARTIE**  
**RÉDUCTION ET NATURALISATION DE**  
**LA TÉLÉOLOGIE**



## CHAPITRE 4

# LA RÉDUCTION DE LA TÉLÉOLOGIE : LE PROGRAMME GÉNÉTIQUE

### 4.1 Introduction<sup>37</sup>

Dans la partie précédente nous avons énoncé la philosophie de fond qui guide ce travail afin de pouvoir expliciter les instruments théoriques de notre recherche autour d'une notion transcendantale de la téléologie et de son rôle possible dans les sciences du vivant. Nous avons ensuite essayé de libérer la notion de cause de son association au déterminisme par un processus d'extension de son rôle à l'intérieur d'une construction scientifique. Le but était d'en expliciter le caractère plastique en physique afin de montrer son côté de notion disponible à une définition plus large. Autrement dit, nous avons essayé de mettre en lumière la causalité comme un principe se laissant adapter « à ce que la pensée objective exige » (Bachelard 1991, 115).

Une fois que ces points sont établis, il devient possible d'entreprendre une reconstruction de la notion de téléologie transcendantale, notamment à partir de sa formulation kantienne, pour enquêter sur ses possibilités épistémologiques en biologie. En effet, nous voulons montrer qu'une notion causale téléologique pensée comme un principe régulateur transcendantal est envisageable en biologie. Par

---

<sup>37</sup> Ce chapitre est en partie issu de l'article (Perret 2012).

ailleurs, il nous paraît tout d'abord important et constitutif à la justification de notre thèse de prendre en considération des positions alternatives à une perspective transcendantale autour de la téléologie en biologie. En d'autres termes, nous allons maintenant prendre en compte des perspectives en sciences du vivant où on voit la nécessité de coexister avec l'aspect téléologique de l'explication du vivant. Pour cela, ces perspectives manifestent l'exigence de disposer de ce concept de manière non métaphysique.

Comme nous l'avons dit, se servir de la causalité téléologique dans l'explication des phénomènes vivants est susceptible d'entraîner des conséquences métaphysiques. Cela à cause du fait qu'un langage de ce type semble toujours faire appel à un projet. Dans les domaines où l'on peut expliciter une intentionnalité, l'usage de ce langage ne pose aucun problème. En psychologie, par exemple, ainsi qu'en sociologie, détecter un comportement d'un individu, ou d'une société, et le décrire par le biais de son, ou de ses, buts est, de manière générale, parfaitement légitime (Nissen 1997). Pareil lorsqu'on parle d'artefacts, pour lesquels il est toujours tout à fait possible d'expliciter une volonté consciente qui soutient l'organisation des parties qui les composent. Dans ces cas, l'explicitation d'une intentionnalité peut être faite sans engagements métaphysiques. En dehors de ces cas, le langage téléologique peut entraîner des hypothèses métaphysiques liées à la projection d'une intentionnalité non scientifiquement légitime (par exemple un dieu, une nature consciente, une force active). Le langage téléologique reste, malgré ça, très présent en biologie. Certains concepts provenant du domaine de l'évolution, comme celui de design, de fitness ainsi que celui de fonction, par exemple, mais aussi les concepts d'auto-maintenance et d'auto-organisation et la suggestive métaphore du programme génétique, s'appuient tous, dans une certaine mesure, sur la structure logique de la téléologie. Ce langage nécessite, donc, d'être justifié scientifiquement. Cela signifie, pour la biologie de nos jours, le rendre fiable et inoffensif en le mettant à l'abri des implications métaphysiques liées à l'intentionnalité. Or, depuis que la biologie se veut une science exacte, différents chemins ont été parcourus pour essayer de

#### CHAPITRE 4 LA RÉDUCTION DE LA TÉLÉOLOGIE : LE PROGRAMME GÉNÉTIQUE

transformer les locutions téléologiques en des concepts neutres et non métaphysiques afin d'en sauver la pertinence et la fécondité internes. D'autre part, cette exigence d'en faire une notion inoffensive découle aussi d'une sorte d'impossibilité pour la biologie de se passer complètement de ce langage (Nissen 1997). Dans cette partie de notre travail on évoquera différentes perspectives biologiques qui, de façon plus au moins explicite selon les cas, ont dû s'engager dans une prise en compte de la téléologie. Nous allons enquêter sur la façon dont ces perspectives ont construit des corpus scientifiques par un processus de *neutralisation* du côté métaphysique de la téléologie.

Il convient ici de circonscrire deux grands axes autour desquels nous allons diriger notre analyse. Le premier, auquel est consacré ce chapitre, est le réductionnisme associé au déterminisme génétique. Nous essayerons de poursuivre un examen de la place occupée par la causalité téléologique dans ce type d'explication du vivant. Nous prendrons en compte les notions de gène ainsi que de programme, d'information génétique et de réduction, à la lumière de la téléologie et de l'exigence de la rendre admissible dans un discours scientifique. Nous nous adresserons ensuite à la méthode par laquelle cette réduction est mise en place, la méthode différentielle, toujours en essayant de mettre en lumière le processus sous-jacent d'application de causalité. Nous finirons par détecter un type de téléologie réduite à la matière élémentaire du vivant, le niveau moléculaire, que nous appelons une téléologie immanente, par le fait d'être détectée comme un projet interne au vivant.

Dans le chapitre suivant, nous explorerons le domaine de l'analyse de fonctions où le langage téléologique est très présent et porte un rôle explicatif fondamental. Ici, encore une fois, nous essayerons de détecter par quelles stratégies la téléologie est immunisée contre son aspect métaphysique. Nous montrerons qu'ici une démarche de naturalisation de la téléologie est mise en place. Cela signifie, nous le verrons mieux dans le chapitre suivant, que la propriété téléologique est déduite des explications scientifiques portées sur le vivant et construites par la causalité



efficente. Ce sera, enfin, dans la partie finale de cette thèse que nous proposerons l'alternative d'une téléologie transcendantale comme principe régulateur.

Ici une petite précision est nécessaire. Le fait d'enquêter sur ces perspectives d'un point de vue critique, à travers l'instrument de la causalité que nous nous sommes donnés, ne revient pas à nier l'importance des résultats qui en ressortent. Cela est particulièrement vrai lorsque nous nous adressons à la biologie moléculaire et à ses présupposées. Nous ne voulons pas affaiblir l'importance des résultats scientifiques qui ont intégré la connaissance sur le vivant par cette méthode. Il est, par ailleurs, désormais clair pour les biologistes que l'approche réductionniste du « tout génétique » est insuffisante et qu'elle nécessite d'être intégrée (Voir par exemple Kupiec et al. 2009; Noble 2008; Kupiec et Sonigo 2000). L'intérêt renouvelé pour l'épigénétique, la naissance de la biologie des systèmes, ainsi que des différentes instances d'organicisme, représentent la preuve de ce changement en acte à l'intérieur de la biologie. Une explication univoque n'étant plus envisageable, plusieurs disciplines doivent, désormais, faire converger leurs efforts vers la biologie (Morange 2005). Atlan (Atlan 1999) par exemple, parle directement d'une révolution en termes de changement de paradigme au sens de Kuhn. Or, la méthode réductionniste en biologie revient parfois à la nécessité réelle de simplifier ce qui est complexe pour permettre un accès au vivant. Nier cette nécessité ne fait pas partie des buts de ce travail. Ce qui nous concerne ici, et que nous nous proposons d'examiner, est plutôt la façon dont le cadre théorique initial de la biologie moléculaire s'est parfois nourri de l'idéologie réductionniste tout en oubliant d'avoir exercé ce choix spécifique pour accéder au vivant. Une fois ce geste théorique oublié, comme nous allons essayer de le montrer, une ontologie du simple et du déterminé a vu le jour. Notre but, dans l'analyse que nous allons entreprendre ici, est de détecter quel processus d'objectivation est mis en place dans ce cadre et quel rôle est confié à cette spécificité du vivant qui est son aspect téléologique.

## 4.2 Le réductionnisme et la téléologie

Le réductionnisme en biologie est une forme d'explication qui fait dépendre toute dynamique du vivant aux dynamiques physico-chimiques de ses composantes élémentaires. Cette position trouve son prédécesseur historique dans la perspective mécaniste de Descartes, par sa physiologie de « l'animal-machine » et son interprétation du vivant comme un objet pouvant être décrit par des lois mécaniques non différentes des lois de l'inanimé. Dans le débat entre vitalistes et mécanistes au cours du XVII<sup>ème</sup> et du XVIII<sup>ème</sup> siècle, cette perspective renie toute nécessité à prendre en compte le caractère téléologique du vivant. Cela en vertu d'une exigence de scientificité et d'objectivité requises à une science voulant se couronner de l'universalité et de la fécondité de la physique. Le vitalisme, en effet, introduit des aspects métaphysiques par la prise en compte d'éléments difficilement acceptables dans un discours scientifique, tel une force vitale et active de l'intérieur ou de l'extérieur du vivant (Duchesneau 1998; Pichot 1993).

L'évolution suivante de cette grande dichotomie de la pensée entre mécanisme et vitalisme en biologie peut être reconnue, avec des transformations importantes, dans l'opposition, au XX<sup>ème</sup> siècle, entre réductionnisme et organicisme. D'un côté, la perspective réductionniste, tout en ne se limitant pas du tout au mécanisme de Descartes, emprunte à ce dernier l'esprit et la méthode. Le biologique devant faire partie des objets des sciences exactes, il est nécessaire de réduire ses lois aux lois physico-chimiques existantes. De l'autre côté, la perspective de l'organicisme, en insistant sur l'autonomie du biologique, a reconnu, par différentes formes et manières la pertinence de la logique interne du langage téléologique. Cependant, comme le remarque Canguilhem (1968, 319–333) à propos de l'opposition entre aristotélisme et cartésianisme quant aux principes de leurs théories de la vie, ainsi l'opposition des principes vitalistes et mécaniste est peut-être trop marquée sur la question de la téléologie. En effet, l'explication de la formation de l'organisme, dans les deux cas, reste quand même liée à un principe logiquement finaliste, aussi bien lorsque cette finalité est portée par une force vitale que lorsque

elle est imposée par le fonctionnement d'un mécanisme qui exige et impose un ordre nécessaire et invariable de ses parties. De fait la téléologie, dans le cas du mécanisme, est portée par l'organisation du mécanisme lui-même, c'est-à-dire de la machine. Bien sûr, elle n'intervient plus dans l'explication de la dynamique du vivant qui, toute, doit être déduite seulement à partir de la disposition, la structure et la combinaison mécanique des parties (Duchesneau 1998, 55). Cependant, la téléologie en tant que *projet d'un tout*, concept qui n'a pas de pertinence explicative en physique, reste dans la démarche mécaniste et réductionniste de la biologie un aspect inévitable d'une conception du vivant.

La perspective réductionniste, comme nous l'avons vu, reproduit l'attitude mécaniste par le fait de vouloir donner une explication du vivant uniquement à partir de ses dynamiques physico-chimiques. À la lumière des remarques précédentes, il convient alors de s'interroger à propos de la position que la téléologie vient à occuper dans la perspective réductionniste. Il paraît, notamment, intéressant d'adresser ce questionnement à la théorie de l'information génétique et à la notion de programme qui représentent ce que nous venons de détecter comme ce *projet du tout* porté, dans la perspective mécaniste, par la machine imposant une structure nécessaire et téléologique à ses parties. Or, la notion de programme génétique, métaphore très puissante et qui a profondément influencé la biologie moléculaire, se nourrit d'un certain nombre de passages théoriques qui s'enracinent dans la génétique d'un côté, et dans la théorie de l'information de l'autre, et qu'il convient, ici, de retracer.

##### 4.2.a Le programme génétique

L'origine de la métaphore du programme génétique date des années soixante et se nourrit d'une combinaison de perspectives entremêlées qui se déploient autour de deux aspects décisifs : un aspect discret et un aspect qualitatif. Le premier de ces aspects se manifeste à partir de la notion de gène, conçu comme une unité discrète et élémentaire de l'organisme. Le deuxième de ces aspects surgit du contenu supposé se trouver à l'intérieur de ces unités élémentaires discrètes. Il s'agit d'un contenu que

nous pouvons appeler qualitatif au sens où il est censé porter une spécificité qualitative, ou fonctionnelle. Cette image d'un contenu qualitatif spécifique se manifeste aussi bien dans les théories génétiques de l'ontogenèse (un contenu spécifique pour le développement) que dans les théories génétiques de la phylogenèse (un trait spécifique de l'hérédité).

##### a. L'aspect discret

La notion de gène est particulièrement importante à la mise en place de la métaphore de programme génétique. Nous ne voulons pas retracer ici entièrement une histoire de la génétique et de son apport à la biologie moléculaire<sup>38</sup>. Ici nous nous contentons de repérer ces aspects qui contribuent à l'instauration de la notion de programme génétique.

Le gène, dès son origine, est pensé comme une unité fondamentale et élémentaire des organismes portant des traits héréditaires. Il faut considérer l'évolution du sens opératoire de la notion de gène à partir de l'idée d'une unité fonctionnelle de recombinaison, comme on le trouve chez Mendel (1980). Pichot (1999, 30) observe que, pour être précis, lorsque on parle d'unité de recombinaison, il faut considérer qu'on est déjà en train de regarder au Mendel redécouvert après 1900 par Hugo de Vries, Erich von Taschermark et Carlos Correns. En effet, dans les recherches originaires de Mendel il n'y a pas encore une notion discrète de quelque chose comme un gène. On y trouve, plutôt, un intérêt pour les caractères phénotypiques qui sont, de manière très explicite chez l'auteur, simplifiés pour en étudier un comportement statistique. Il n'y a pas encore, chez Mendel, une réduction matérielle à une unité interne et sous-jacente parce qu'il s'intéresse surtout aux caractères phénoménaux, c'est-à-dire les phénotypes, en les quantifiant de manière statistique. En revanche, lorsque les lois de Mendel sont redécouvertes, il y a déjà un passage théorique vers une convergence des changements phénotypiques avec des unités discrètes et spécifiques se trouvant au cœur même du niveau élémentaire du

---

<sup>38</sup> Pour une introduction critique nous renvoyons par exemple à (Keller 2003; Pichot 1999; Morange 1994).

vivant. Pichot observe qu'ensuite Weismann (1892), par l'introduction du plasma germinatif comme lieu porteur de l'hérédité, imprime une marque très importante à ce que deviendra la version génétique des lois de Mendel. En effet, par l'introduction d'un lieu censé conserver cette spécificité inchangée de l'hérédité, Weismann exclu la possibilité de l'hérédité des caractères acquis. Le terme de *facteur mendélien* va être remplacé par Johannsen (1911) en celui de gène en proposant aussi la distinction entre génotype (l'ensemble des gènes) et phénotypes (l'ensemble des caractères) (Vincent 2008).

On voit apparaître ici, une première recherche d'une partie discrète de la matière sous-jacente aux caractères visibles, et porteuse de cette spécificité. Cette position se fortifie ultérieurement avec Morgan (1926; 1915) qui en fait le lieu de la modification structurelle intervenant sur la transmission des caractères<sup>39</sup>. Ce fond conceptuel se profile, dès le début, comme un cadre théorique du discret et de l'élémentaire. En effet, ce qui chez Mendel, ne représente encore qu'une statistique des différences phénotypiques, petit à petit, est transformé en un *fragment matériel* contenant une stabilité phénotypique. Cette partie élémentaire semble bien devoir se trouver quelque part.

À ce cadre s'ajoute un élément qui va fournir à la notion de gène une base à la fois structurelle et fonctionnelle : la découverte de la forme à double hélice de l'ADN par Watson et Crick (1953). Cette découverte fournit une structure localisée aux unités élémentaires. Autrement dit, le gène devient un segment d'ADN. Par cela on arrive à une notion de gène, encore assez large et pas complètement stabilisée, qui a comme principale caractéristique d'être un élément discret servant, de manière spécifique, à la manifestation phénotypique. Autrement dit, la théorie de l'hérédité est, à ce stade, fondée sur l'idée qu'il existe, dans l'ADN, un ensemble de *morceaux de matière* qui portent, qualitativement, des caractéristiques phénotypiques. L'aspect discret de la notion de gène est désormais fixé. Il y a, par ailleurs, un autre aspect qui

---

39 Il convient de remarquer qu'au début Morgan ne parle pas encore de gène, mais de facteurs mendéliens, le principe, par ailleurs, est le même et les facteurs mendéliens constituent déjà la forme conceptuelle des gènes.

va aussi se densifier avec l'intervention de différentes inspirations théoriques et avec la notion discrète de gène, et qui va définitivement fonder la métaphore du programme génétique : il s'agit de l'aspect qualitatif.

##### b. L'aspect qualitatif

Au paysage conceptuel qu'on vient d'esquisser, il faut ajouter la formulation de la théorie de l'information par Shannon (1948) et la montée de l'informatique. Ces deux domaines du savoir, parfaitement légitimes et féconds dans leur propre contexte, ont inspiré la biologie moléculaire de manière quelque part ambiguë (Longo et al. 2012)<sup>40</sup>. En effet, la transposition à la biologie de certains éléments issus de ces cadres théoriques a parfois été justifiée par une simple métaphore (Voir par exemple Griffiths 2001), parfois en mettant en place sa véritable structure physique et linéaire liée à l'entropie (Voir par exemple Adami 2004; Yockey 1974).

La théorie de l'information a contribué à donner un caractère qualificatif de l'ordre de la signification. En effet, grâce à l'apport de la théorie de l'information, les éléments discrets présents dans l'ADN sous forme de gènes commencent à porter une spécificité qualitative de l'hérédité, exprimée en quantité d'information, qui se manifeste par une expression donnant lieu aux phénotypes. La linéarité de la théorie de l'information donnait un argument en faveur de la transmission unidirectionnelle d'une spécificité *signifiante* telle l'information génétique (Sarkar 1996). À cette qualification du contenu génétique s'est ajouté la montée de l'informatique. Avec celle-ci, l'analogie du vivant avec l'horloge de Descartes allait se transformer en métaphore du calculateur (Longo 2009; Longo et Tendero 2007). Cette perspective a aussitôt paru fournir une base scientifique qui permettait d'élucider comment un certain nombre de qualités complexes, tels les caractères phénotypiques, pouvaient se trouver codifiées dans des unités élémentaires devant s'activer pour s'exprimer. La

---

40 D'après Morange (1994, 130) ce n'est pas tant l'informatique qui a influencé la biologie moléculaire mais plutôt les deux qui l'ont été par une nouvelle vision du monde. Ici nous nous limitons à considérer que la théorie de l'information de Shannon n'a pas été originellement conçue pour une explication biologique et que cela est bien le témoignage que la biologie moléculaire a emprunté au moins cette structure explicative linéaire et déterministe.

#### CHAPITRE 4 LA RÉDUCTION DE LA TÉLÉOLOGIE : LE PROGRAMME GÉNÉTIQUE

notion de programme génétique, qui implique l'existence de morceaux de matière contenant de l'information qualitative et spécifique, trouvait ainsi des justifications scientifiques simples et logiques.

Un élément supplémentaire peut être évoqué pour clarifier la cristallisation de l'aspect qualitatif en génétique. Comme on l'a déjà remarqué, le passage des lois de Mendel à leurs interprétations à partir de 1900 a produit une transformation d'observable qui nécessite d'être explicitée. Si chez Mendel l'élément remarquable de la transmission des caractères était la variabilité, qu'il abordait de façon statistique, en génétique cela se transforme en stabilité. Ce qui devient signifiant pour construire les lois génétiques est un caractère de stabilité qui se perpétue d'une génération à l'autre. Comme Jacob l'explique très clairement

Peu de phénomènes se manifestent avec autant d'évidence dans le monde vivant que la formation du semblable par le semblable. Très vite, l'enfant s'aperçoit que le chien naît du chien ; et le blé du blé. Très tôt, l'homme a su interpréter et exploiter la permanence des formes à travers les générations. (Jacob 1970, 9)

On remarque un glissement de perspective, par rapport à celle mendélienne. Cette nouvelle perspective met en premier plan le semblable comme observable et laisse tomber la variation, alors que chez Mendel la recherche portait sur l'hybridation et se concentrait donc notamment sur le variable. Par ailleurs, comme nous allons le montrer dans la partie suivante de ce chapitre, la condition de possibilité de ce réductionnisme est la variabilité. Il faut que quelque chose varie afin de détecter des différences à travers la méthode différentielle (Stewart 2004). L'approche réductionniste se met en place grâce à la production de différences par manipulation. Cependant, à partir de cela elle infère une stabilité du matériel héréditaire. Chez Mendel les expériences sont dirigées vers la recherche de lois pouvant rendre compte de la combinaison des variables différentielles. Dans le réductionnisme génétique les expériences sont dirigées vers la recherche de lois pouvant expliquer la stabilité des caractères d'une génération à une autre. Ce passage théorique a comme conséquence de renforcer la réduction de l'aspect qualitatif dont on a parlé. En d'autres termes, le passage de la variabilité à la stabilité comme

#### CHAPITRE 4 LA RÉDUCTION DE LA TÉLÉOLOGIE : LE PROGRAMME GÉNÉTIQUE

observable requiert une spécificité de la qualité du semblable qui est susceptible d'être transporté par les unités élémentaires. Par la suite, on prendra plus précisément en compte cette notion de spécificité fonctionnelle qualitative, ainsi que sa façon de fonctionner à l'intérieur du processus d'objectivation de la biologie moléculaire.

La métaphore est ainsi accomplie. Le programme génétique, par sa structure d'ensemble d'éléments discrets portant une qualité spécifique codifiée, manifeste désormais une double fonction, par rapport à l'explication du vivant. D'un côté il représente l'ensemble des informations héritées qui permettent la transmission des caractères d'une génération à une autre. Il s'agit donc d'une sorte de lieu de stockage de la continuité phylogénétique. De l'autre côté, le programme est aussi l'implémentation du processus de l'ontogenèse.

Ce cadre trouve une manifestation déterministe avec la formulation du dogme central de la biologie moléculaire qui énonce le fonctionnement linéaire de l'expression de l'information génétique à partir de son support, l'ADN, jusqu'aux protéines (F Crick 1970). Il se produit donc une assimilation théorique qui voit l'intervention d'une base discrète (les gènes) présente à l'intérieur d'une macromolécule (ADN), portant une qualité spécifique (quantité d'information) qui s'exprime de façon unidirectionnelle (dogme central) et déterministe (la même cause produit toujours le même effet et cela est associé à une prédiction). En connaissant exactement la position et la quantité d'information de tous les gènes il est alors possible de prévoir tout phénotype. Le démon tout puissant de Laplace, qu'on a évoqué dans le chapitre précédent lors de la prise en compte du déterminisme classique<sup>41</sup>, semble bien de retour. Comme d'ailleurs cela était très clair à l'esprit de Schrödinger :

En donnant à la structure des fibres chromosomiques le nom de code, nous entendons signifier que l'esprit omniscient conçu un jour par Laplace, et pour qui tout rapport causal serait immédiatement déchiffrable, pourrait immédiatement déduire de cette structure si l'œuf, placé dans des conditions convenables, se développerait en coq noir

---

41 Voir chapitre 3.



#### CHAPITRE 4 LA RÉDUCTION DE LA TÉLÉOLOGIE : LE PROGRAMME GÉNÉTIQUE

ou en poule tachetée, en mouche ou plante de maïs, rhododendron, scarabée, souris ou femme. (Schrödinger 1993, 71)

La connaissance exacte des conditions initiales à un moment donné permettrait d'emblée de connaître l'état passé et futur du vivant, car ce même vivant est le résultat de son passé et la cause de son futur. En effet, un projet très important ainsi que très médiatisé, inspiré par cette ambition de prédiction grâce à la connaissance exacte des conditions initiales se met en place dans les années 1990. Il s'agit du Projet Génome Humain. L'achèvement de ce projet, au début des années 2000, a été une grande déception par rapport à ses attentes initiales. Une fois le génome décodé en entier, la connaissance exacte des conditions initiales n'a pas du tout donné les résultats espérés (Morange 2005). Cette déception entraîne une montée de l'intérêt porté à l'épigénétique dont on parlera. Pour l'instant il convient de revenir sur la métaphore du programme génétique afin de détecter son lien avec la téléologie.

##### 4.2.b La causalité téléologique immanente

Le cadre déterministe du dogme central renforce l'analogie entre les processus biologiques des êtres vivants et le fonctionnement des calculateurs donnant lieu à une puissante métaphore dominante en biologie moléculaire : l'idée que l'ADN est une sorte de programme de formation pour l'organisme, un peu comme s'il s'agissait d'une copie virtuelle en puissance du phénotype. Ce cadre suppose, en effet, que le niveau génétique contient déjà la totalité des informations nécessaires pour déterminer l'ensemble phénotypique du vivant. On trouve donc un projet en puissance, stocké à l'intérieur d'un niveau fondamental, telle une matrice originale, qui fonctionne de manière informationnelle (mécaniste computationnelle). Dans son article de 1961, Mayr (1961, 1503) explicite le problème que nous nous posons ici, c'est-à-dire de détecter comment la métaphore du programme intègre la téléologie par le fait de la réduire à une partie de matière. Mayr, en effet, parle du programme génétique comme de la solution au grand problème de toute explication biologique, celle de devoir rendre compte du téléologique. Après avoir montré qu'en biologie il

#### CHAPITRE 4 LA RÉDUCTION DE LA TÉLÉOLOGIE : LE PROGRAMME GÉNÉTIQUE

est nécessaire de garder un type d'explication téléologique à côté de l'explication mécaniste, il se demande quand est-ce qu'il est légitime de parler d'intentionnalité au sein du biologique, et il observe que cela est désormais possible grâce à la notion du programme, car si un individu a été préalablement programmé il peut tout à fait être dit qu'il agit de façon intentionnelle sans, pour cela, entraîner une dérive métaphysique. Autrement dit, la causalité téléologique est enracinée dans le vivant, elle est réduite par le fait d'être une partie de la matière même du vivant. Le fait de devoir se servir d'un langage téléologique ne poserait donc plus de problèmes métaphysiques, par le fait de trouver le projet à l'intérieur du programme et non pas de manière externe au vivant. Il s'agit en quelque sorte d'une téléologie immanente informatisée. A bien regarder, par la métaphore du programme le langage téléologique semble même ne plus être nécessaire, parce que une fois que le projet est à l'intérieur des constituants élémentaires du vivant, il est possible de le décrire comme un mécanisme.

Comme on l'a vu, le débat entre vitalistes et mécanistes aux XVIIIème et XIXème siècles a montré que l'abandon total des instances téléologiques repoussait la recherche biologique vers un modèle mécanique du vivant pas plus souhaitable. Cela à cause de son incapacité de rendre compte de l'aspect spécifique de l'organisation du vivant en faveur d'une structure analogue à une machine comme le voulait déjà Descartes. Comme nous l'avons dit, du point de vue du statut scientifique de la biologie, le mécanisme en sauve la légitimité scientifique tout en sacrifiant la spécificité et en revanche, le vitalisme sauve la spécificité tout en rendant obscur un possible discours scientifique par l'introduction de quelque sorte de transcendance active et intentionnelle. Ainsi la métaphore du programme génétique intègre implicitement cette dichotomie entre positivisme rationnel et anti-mécanisme. La notion même de programme se pose, en effet, comme voie alternative par son rôle ambivalent entre ces deux radicalisations théoriques. D'un côté, le programme génétique manifeste un contenu téléologique, car il porte déjà toute la forme en puissance de l'organisme. Il se manifeste précisément comme un projet qualitatif. De

l'autre côté, il se trouve intégré à la matière comme propriété de celle-ci. Il s'agit d'une propriété informationnelle de la macromolécule d'ADN. Pour cette raison il paraît ne pas impliquer d'engagement métaphysique. C'est dans cet esprit qu'on peut relire les affirmations de François Jacob, dans son ouvrage *La logique du vivant* : « Longtemps le biologiste s'est trouvé devant la téléologie comme auprès d'une femme dont il ne peut se passer, mais en compagnie de qui il ne veut pas être vu en public. À cette liaison cachée, le concept de programme donne maintenant un statut légal » (Jacob 1970, 17). Le désagréable inconvénient métaphysique d'un principe vitaliste, qui s'accompagnait avec le concept téléologique, est, d'après Jacob, finalement exorcisé par la notion de programme. Cela car l'identification de la base matérielle des instructions du programme semble mettre définitivement à l'abri de l'éventuelle exigence d'une force téléologique ajointe. Autrement dit, le comportement téléologique du vivant, qui semble bien être sa spécificité par rapport au non vivant, trouve un lieu physiologique au niveau moléculaire par le fait que celui-ci contient un programme de formation. Cela permet de garder la logique téléologique tout en échappant à la question d'une force vitale agissante pour la bonne formation des organes. Dans le même esprit, Jacques Monod (1970) substitue le concept de téléonomie à celui de téléologie pour rendre compte du processus, très proche de la logique de la finalité, que les organismes vivants manifestent. Cela, encore une fois, afin d'échapper à toutes conséquences métaphysiques implicites dans ce dernier concept, définissant la téléonomie comme une capacité structurelle, objective, à poursuivre un but, sans pour autant y associer une intention subjective. Cette réduction matérielle de la cause téléologique est faite par un processus d'expérience en biologie qui est la méthode différentielle et qui consiste, nous allons le voir dans le détail ci-après, à produire un changement au niveau du génotype, détecter successivement un changement au niveau du phénotype, extraire la spécificité de ce changement phénotypique et l'*introduire* au niveau du génotype telle la cause de la condition normale. Il s'agit, en effet, d'une attribution de causes par les effets que nous allons, maintenant, expliciter.

### 4.3 La spécificité fonctionnelle et la méthode différentielle

Nous avons vu, dans la première partie de ce chapitre, que la métaphore du programme génétique a, en partie, le rôle de résoudre le problème de l'explication téléologique du vivant. La solution de la perspective réductionniste est donc celle d'ancrer le *projet*, autrement scientifiquement inadmissible, à l'intérieur même de la matière du vivant. Cet aspect, loin de résoudre définitivement le problème de la téléologie par une application neutre de celle-ci, semble, pour certains critiques, soulever un problème métaphysique. En effet, cette espèce de *force active* du programme génétique, capable de s'exprimer, lorsqu'elle est invoquée comme pouvoir tout expliquer n'est pas mieux éclairée, jusqu'à produire chez quelqu'un le soupçon de néo-vitalisme (Stewart 2004). En effet, les problèmes métaphysiques se déploient sur plusieurs aspects. Tout d'abord nous observons un engagement ontologique accordé aux entités non-observables, dont nous avons déjà explicité les problèmes<sup>42</sup>. À l'intérieur du contexte réductionniste cet engagement est problématique dans la mesure où il produit une asymétrie causale forte, par le fait de détecter un niveau ontologiquement prioritaire dans l'ADN (Noble 2008). Un autre problème, selon les instruments conceptuels que nous avons proposés dans ce travail<sup>43</sup>, se trouve dans l'adhésion à la métaphore du programme. Bachelard observait que l'esprit scientifique doit « sans cesse lutter contre les images, contre les analogies, contre les métaphores » (Bachelard 1993, 38). Cela parce que autrement ne se produit pas la rupture avec le sens commun, indispensable à la formation de l'esprit scientifique, comme nous l'avons montré. De plus, ici nous reconnaissons la pratique d'attribuer une structure projective à ces entités ontologiques. Cette attribution est faite grâce à un processus logique issu de la méthode différentielle. Ce processus, comme nous allons le voir, présente des problèmes quant à la logique de l'attribution de spécificité au niveau causal. Nous voudrions nous concentrer sur ce type de problème parce que cette analyse nous permet de mettre en lumière le

---

42 Voir chapitre 1.

43 Voir chapitre 2.

processus d'objectivation mis en place ici, par l'attribution du niveau causal. Afin de montrer dans le détail ce type de processus, nous allons l'analyser à l'intérieur d'un exemple circonscrit. Nous allons prendre, dans le contexte de l'embryogenèse, le cas des gènes du développement.

##### 4.3.a Les gènes du développement spécifiques

La description purement génétique de l'embryogenèse est fondée sur l'idée que le processus de développement d'un organisme est entièrement contrôlé par des gènes spécifiques, appelés gènes du développement. En fait, en accord avec une interprétation moléculaire classique, la théorie des gènes du développement suppose que ces gènes ne sont pas seulement impliqués au cours de l'embryogenèse, mais qu'ils régulent très spécifiquement chaque étape du développement. Du point de vue du déterminisme génétique, un gène du développement est spécifique si son activation est directement liée à une ou plusieurs fonctions nécessaires pour une étape suivante de l'embryogenèse. D'après cette perspective, on peut affirmer que certains gènes sont spécifiques pour certaines fonctions embryogéniques, si celles-ci sont altérées suite à un changement du segment d'ADN pris en cause. Autrement dit, et pour simplifier, on produit un changement au niveau de l'ADN et on observe un changement à des niveaux supérieurs d'organisation. Ce dernier changement est donc l'effet du changement initial (Wieschaus 1997, 316). À partir du contenu qualitatif de cette dernière mutation (manque ou déviation d'une fonction importante pour l'organisme, par rapport à la formation normale) on en déduit, par opposition, le caractère qualitatif du niveau moléculaire, précisément où la cause a été produite. Essayons de prendre un exemple, simplifié, pour clarifier mieux ce processus.

Après la manipulation d'une certaine séquence génétique dans l'embryon de drosophile, on observe un changement dans la formation des pattes de l'animal. Au lieu de se former des pattes, on observe le développement d'un pair d'antennes. On déduit de ça que la fonction de la séquence génétique mutée au début est responsable pour la bonne formation et localisation des pattes et des antennes chez la drosophile. Cette séquence génétique a donc été appelée antennapedia complex ANT-C

(Kaufman, Seeger, et Olsen 1990). Or, si on explicite le processus de réduction dont on parlait, on reconnaît le passage logique suivant : un changement à un niveau moléculaire produit un changement à un niveau supérieur d'organisation qui est la croissance d'antennes au lieu des pattes. Ce dernier changement est l'effet de la première manipulation dans la mesure où il intervient suite au premier changement. C'est à partir de la spécificité qualitative, où fonctionnelle, de cet effet qu'on caractérise qualitativement, par retour sur la cause, la séquence d'ADN prise en compte avant la manipulation. Celle-ci, donc, est caractérisée par sa propriété causale, telle une disposition intrinsèque à agir de telle façon et à réguler spécifiquement tel phénotype. On détecte assez clairement une attribution causale qualitative et spécifique, comme si la séquence manipulée était, normalement, censée réguler le phénotype changé. On a, ici, une attribution de fonction à la séquence d'ADN, cela par l'observation des effets phénotypiques qu'on obtient si on peut intervenir sur elle par un changement. Il s'agit donc d'une caractérisation par ses effets. On observe, effectivement, une réduction d'un contenu téléologique, parce que la propriété que la séquence d'ADN est censée avoir, est une propriété de l'ordre d'un projet visant à la bonne formation du phénotype corrélé : un projet régulateur identifié par ses effets. Autrement dit, la fonction d'une séquence d'ADN est trouvée dans ses effets postérieurs, ce qui entraîne une causalité téléologique qui est, par sa réduction au niveau de base (le niveau du génotype) transformée en une causalité efficiente.

Au vrai, on peut observer que la logique de réduction des propriétés causales téléologiques, entraînée par la méthode différentielle, pose aussi un autre problème. En effet, cette méthode consiste à produire des effets par le biais de manipulations, mais les caractéristiques qualitatives observées se transforment dans la règle de la normalité du phénotype. Autrement dit, c'est par la forme normale du phénotype qu'on caractérise la séquence normale du génotype, alors que les observations sont effectuées dans un critère de manipulation et changement. D'un point de vue du langage logique cela équivaut à dire que si, suite à un changement de A, on a un changement de B, alors A implique B, ce qui est faux logiquement (Longo et

Tendero 2007)<sup>44</sup>. Dans ce passage logique, comme le remarque Stewart (2004), il manque tout d'abord toute la succession causale qui, du génotype au phénotype, passe par les niveaux d'organisations intermédiaires. En effet, ce processus d'attribution de cause produit un saut de ce qui est supposé être le niveau fondamental jusqu'au niveau phénotypique sans prendre en compte les passages intermédiaires. Nous sommes ici en présence d'une conséquence liée à l'engagement ontologique accordé au niveau de l'ADN. Par ailleurs, ce qui paraît encore plus problématique, à bien regarder, est le fait de détecter une différence à un niveau et attribuer la normalité au niveau où la différence a été produite. La spécificité du niveau génétique est déterminée par une réduction de la spécificité du phénotype. Autrement dit, la cause est caractérisée par la nature qualitative de son effet. Le problème de la téléologie à l'intérieur de ce passage logique peut être mieux caractérisé si l'on tient compte du rôle d'un composant à l'intérieur d'un objet organisé. Si on veut interpréter le rôle du composant élémentaire, on est obligé de faire appel à un tout auquel il appartient afin de détecter à quoi il sert précisément. Comme nous l'avons vu, au niveau des artefacts, cela ne pose aucun problème, car il est tout à fait légitime de faire appel à un projet conscient (le constructeur) qui a précisément choisi de faire interagir le composant en question de la telle manière avec le but explicite du fonctionnement global de son objet. Or, pour expliquer à

44 Pour clarifier ce point on peut prendre un exemple très simple et de l'ordre du sens commun, donc loin de la biologie, tiré d'un livre de vulgarisation scientifique de Denis Noble, qui nous paraît éclairant (Noble 2007, 18–20). Imaginons qu'un extraterrestre observe un être humain qui écoute son morceau de musique classique préféré. Il voit un support, le disque, sur lequel il y a un code imprimé. À un moment donné, l'être humain, ému par la musique qu'il aime bien, pleure. L'extraterrestre conclut que la cause des larmes est le code imprimés sur le disque. Celui-ci est un exemple proposé par Noble, pour expliciter le passage logique typique de cette démarche de réduction de la cause. Essayons d'aller plus loin que ça et cherchons à comprendre qu'est ce qu'il se passerait si l'extraterrestre décidait d'appliquer à cette situation la méthode différentielle, dont on vient de parler. Par son intuition initiale, l'extraterrestre trouve une implication forte entre le code imprimé sur le support du disque et les larmes. Il produit, alors, un changement sur le code du disque, imaginons par une éraillure. La musique sera gâchée et l'écouteur ne sera plus ému. Il n'y aura pas de phénomène de larmes qui se produisent, au contraire notre être humain fera peut-être une grimace en entendant sa musique préférée si brutalement altérée. L'extraterrestre aura, donc, le droit de conclure que le code imprimé sur le disque (et s'il voulait, même seule la partie éraillée du code sur le disque) est ce qui régule les larmes et les grimaces de l'être humain. Il pourrait même arriver à appeler la partie éraillée du disque « séquence larme/grimace ». L'exemple est certainement simple et très général, mais il nous permet de clarifier que le passage logique de l'attribution de la cause n'est pas complètement légitime.

*quoi sert* un composant élémentaire d'un organisme vivant, une séquence génétique par exemple, il est encore nécessaire de faire appel à un projet qui est le bon fonctionnement du tout. Cela se manifeste dans le fait de produire un changement sur la normalité du bon fonctionnement afin de détecter une spécificité qui va être la réponse à la question à *quoi sert* le composant élémentaire en question. Par la méthode différentielle utilisée de la manière exposée avant, le processus consiste précisément à détecter cette spécificité du fonctionnement par ses effets et d'attribuer, ensuite, un projet (dans la mesure où il a un rôle spécifique dans le tout) à ce composant élémentaire pris en compte.

La méthode différentielle en physique est une pratique qui consiste à dériver des relations causales dans un système, par la détermination préalable de tous les paramètres et ensuite le changement d'un seul de ces paramètres. La différence principale avec la biologie se trouve au niveau formel. La physique explicite d'abord des équations formelles permettant d'établir une corrélation *a priori* de façon déductive à partir d'un cadre de déterminations théoriques (Longo et Tendero 2007). En biologie la corrélation initiale qui engendre l'usage de la méthode différentielle n'a pas de cadres théoriques à partir desquels déduire une équation justifiant, déjà *a priori*, la corrélation initiale (Noble 2011). Or, cette différence importante entraîne, en biologie, la nécessité de combler cette impossibilité d'établir *a priori* ce cadre de déterminations théoriques, par la prise en compte du tout comme projet. Mais ce tout comme projet n'est pas analysé en termes d'organisation et d'interactions, il est supposé par la métaphore du programme génétique, qui n'est pas ultérieurement corroborée. En effet, à bien regarder, la métaphore du programme semble se justifier par ces expériences conduites par la méthode différentielle. À l'inverse, il semble que ce soit la méthode différentielle elle-même qui serve à fonder la métaphore du programme. Effectivement la réduction causale des spécificités qualitatives se fonde sur l'idée que des unités élémentaires existent à l'intérieur de l'ADN. En même temps elle *constitue* des unités élémentaires, par le geste théorique, qui sont censées porter cette spécificité qualitative. On observe une radicalisation du discret qui est imposée par l'application de la métaphore informationnelle. Ici l'ambivalence de la métaphore



du programme entre le réductionnisme mécaniste et la téléologie se fait très claire. La matérialisation du projet téléologique devient encore plus évidente. L'attribution des spécificités fonctionnelles se fait par un geste de discrétisation qui produit un ensemble d'objets discrets à l'intérieur de ce qui est, plus simplement, un processus biologique, et cela afin de rendre compte du rôle d'un composant élémentaire en termes de projets pour la bonne formation du tout qui le dépasse.

### 4.4 L'épigénétique et la téléologie

Dans ce paragraphe on va s'intéresser en survol au concept d'épigénétique. L'intérêt n'est pas porté ici aux questions autour de l'hérédité mais plutôt autour de la façon dont le concept d'épigénétique est conçu par rapport au « tout génétique ». On va montrer qu'il existe des interprétations actuelles de l'épigénétique qui se fondent entièrement sur la notion de programme génétique. Nous allons expliciter les enjeux de ces perspectives par l'observation du processus d'objectivation qui les sous-tend. Encore une fois, on va mettre en lumière une ultérieure réduction du téléologique par réduction matérielle, mais qui se densifie cette fois-ci, comme on va le montrer, simplement à un autre niveau d'organisation.

Le concept d'épigenèse remonte à Aristote, qui nomme ainsi le processus du développement progressif d'un œuf vers sa morphologie propre d'organisme (Aristote 2011). Cette perspective allait s'opposer, au XIX<sup>ème</sup> siècle, aux théories de la préformation. Le point de vue de l'épigenèse est celui selon lequel l'organisme se forme à partir d'un matériel qui va se mettre en place au cours du développement, de façon progressive vers une forme qui n'est pas, déjà, contenue dans l'œuf. Cela en opposition à l'idée que l'organisme se trouve déjà formé à l'intérieur de l'œuf. Le sens moderne de cette perspective de l'épigenèse se dessine à partir des formulations du généticien et embryologiste Waddington (1940) qui développe l'idée selon laquelle les produits des gènes, ainsi que l'environnement, ont un rôle très fort dans le développement du phénotype d'un individu. Cette perspective a été presque abandonnée jusqu'aux années 1990. Le retard des considérations sur les mécanismes

épigénétiques à l'intérieur de la perspective génétique vient certainement d'une difficulté pratique à aborder ces phénomènes. Il y a, par ailleurs, un autre aspect qui a aussi freiné le développement des considérations épigénétiques. Cet aspect découle directement du cadre théorique de la génétique classique, reçu par la biologie moléculaire. Il s'agit d'une impossibilité, par principe, de considérer possible l'hérédité du non génétique.

Comme on l'a esquissé dans le paragraphe précédent, la puissance évocatrice de la métaphore du programme, ainsi que l'hégémonie de la perspective moléculaire à partir de la découverte de la forme à double hélice de l'ADN, ont contribué à mettre à l'écart la perspective de Waddington. Cela a, pendant longtemps, laissé la place au paradigme du tout génétique. Par ailleurs, durant les dernières décennies, la conception purement génétique a été mise en question. Le déterminisme génétique, sous cette forme rigide proposé par la biologie moléculaire classique, a manifesté sa faiblesse par rapport à la complexité du phénomène vivant (Voir par exemple Neumann-Held et Rehmann-Sutter 2006). La difficulté d'expliquer, à l'intérieur de ce cadre théorique, les interactions qui se produisent entre les différents niveaux d'organisation a amené de nombreuses recherches récentes à s'intéresser aux facteurs extra-génétiques qui ont un rôle dans l'expression génétique. À partir des années 2000 donc, l'intérêt pour les mécanismes de régulation épigénétique s'accroît de plus en plus<sup>45</sup>.

Désormais, la transmission d'une génération à l'autre des mécanismes épigénétiques a été montrée par plusieurs recherches. Cependant, l'épigénétique n'est pas une perspective univoque et est sujette à des interprétations sensiblement différentes par rapport à ce que c'est qu'un mécanisme épigénétique de régulation et, notamment, par rapport au sens qu'il faut attribuer à l'hérédité d'une génération à l'autre de ces mécanismes. Tout d'abord s'impose la question de l'hérédité de l'acquis.

---

45 Paldi (2009) remarque que ce n'est pas par hasard si la *légitimité* scientifique de l'épigénétique se fait en correspondance avec l'achèvement du projet de séquençage du génome humain. Très célébré médiatiquement, celui-ci a représenté, sous certains points de vue, une sorte d'échec par rapport aux attentes trop optimistes de comprendre, par le séquençage complet, toute la complexité de l'organisme humain.

Plusieurs voix se lèvent, depuis longtemps, pour soutenir le fait que les phénomènes épigénétiques ont un rôle très important pour l'évolution (Voir par exemple Jablonka 2005) et que les phénomènes épigénétiques sont bien des phénomènes de transmission de l'acquis (Voir par exemple Pàldi 2005). En revanche, la théorie lamarckienne selon laquelle les influences de l'environnement sur l'organisme seraient transmissibles d'une génération à une autre est fortement contrastée par certaines perspectives épigénétiques (Hallgrímsson 2011). Or, ces dernières perspectives s'appuient sur l'idée que épigénétique ne signifie pas non génétique et qu'il n'est pas du tout légitime d'opposer le génétique à l'épigénétique. Ces perspectives sont tout à fait fondées sur la métaphore du code, dans la mesure où elles interprètent les dynamiques non génétiques de l'hérédité comme des sortes de déchiffreur du code. Comme si le code génétique, devant se transmettre d'une génération à une autre, devait porter aussi le moyen de l'interpréter (Beck 2003). L'épigénétique ainsi interprétée ressemble plus à une sorte d'hypothèse *ad hoc* pour sauver le réductionnisme. Comme le remarque Heams :

Le terme d'« épigénétique » peut même être inquiétant si l'on se réfère au précédent historique des épicycles ptoléméens, qui étaient des explications *ad hoc* s'accumulant pour rendre compte de mouvements planétaires, que la théorie de base de l'époque, qui mettait à tort la Terre au centre de l'Univers, était impuissante à décrire. La multiplication d'explications *ad hoc* est généralement le signe avant-coureur de l'épuisement d'une théorie scientifique : ces épicycles devinrent inutiles quand, grâce à la théorie héliocentrique, on accepta l'idée que la Terre tournait autour du soleil et pas l'inverse. En est-il de même avec la génétique, la science de l'hérédité ? (Heams 2009, 44)

Le processus d'objectivation par réduction de la cause demeure identique que celui détecté auparavant dans la métaphore du programme. Or, afin de mieux clarifier ce processus, nous allons prendre en compte des travaux récents qui s'efforcent de sortir de cette dynamique moyennant un couplage entre le rôle du génétique et le rôle du mécanique dans le processus d'embryogenèse. Nous montrerons que, tout en mettant en place un cadre bien éloigné de la perspective réductionniste, le langage reste fortement lié à ce cadre entraînant, de nouveau, ce processus de réduction de la cause au niveau génétique.

### 4.5 Les gènes mécanosensibles

La description purement génétique de l'embryogenèse, fondée sur l'idée que le processus de développement d'un organisme soit entièrement contrôlé par des gènes spécifiques, appelés gènes du développement, est désormais mise en question. La difficulté d'expliquer, à l'intérieur de ce cadre théorique, les interactions qui se produisent entre les différents niveaux d'organisation a amené de nombreuses recherches récentes à s'intéresser aux facteurs extra-génétiques qui ont un rôle au cours du développement de l'embryon. En embryogenèse, comme le témoignent plusieurs travaux récents (Voir par exemple Pouille et al. 2009; Montell 2008; Desprat et al. 2008; Lecuit et Le Goff 2007), un intérêt de plus en plus ample est accordé aux effets des contraintes mécaniques des tissus sur le contrôle génétique du développement de l'organisme. Ce genre de travaux introduit, parfois très explicitement, une nouvelle perspective qui est censée déplacer le niveau génétique de son statut causal hiérarchiquement premier, cela afin d'aborder le vivant par une théorie capable de faire ressortir la complexité de son organisation. Cependant, le fait de donner une description de l'embryogenèse qui inclut des facteurs de contexte ne suffit pas à accomplir ce but. Il faut surtout pouvoir représenter une intégration de ces niveaux, c'est-à-dire rendre compte de leurs interactions réciproques. Comme on verra par la suite, il arrive parfois de reconnaître des niveaux autres que le niveau génétique comme également responsables de la bonne formation d'un organisme, tout en restant dans un cadre théorique implicitement fondé sur la priorité causale de la base moléculaire.

On va essayer ici d'examiner ce processus d'objectivation à partir d'une étude spécifique en embryogenèse qui s'encadre dans l'ensemble des travaux récents visés à montrer les effets des contraintes mécaniques sur le contrôle génétique de l'embryon. Il s'agit de certains travaux réalisés par l'équipe «Mécanique et génétique du développement embryonnaire et tumoral» de l'Institut Curie à Paris, dirigée par Emmanuel Farge. Ces recherches montrent que des pressions mécaniques, exercées sur les tissus par les mouvements morphogénétiques de l'embryon au cours du

développement, ont un rôle causal sur l'expression génétique (Pouille et al. 2009). Le choix spécifique de cette étude est justifié par sa pertinence par rapport aux questions abordées ici. Il s'agit, en fait, d'un cas où le rôle causal d'un niveau extra-génétique est absolument évident. Cependant, l'effort de représenter une intégration de niveaux rencontre le genre de difficultés théoriques esquissées ci-dessus. Cela à cause d'un manque théorique. En effet, l'organisation n'est pas du tout prise en compte. En raison de ça, afin de remédier à ce manque de cadre théorique de l'organisation, comme nous l'avons montré, la causalité est *introduite* à l'intérieur du niveau élémentaire par une cristallisation d'une propriété intrinsèque qui prend du sens seulement en vue du projet plus large de son tout.

##### 4.5.a Le rôle de la régulation mécanique<sup>46</sup>

Le processus de gastrulation de l'embryon de drosophile commence par deux mouvements morphogénétiques: l'invagination des tissus mésodermiques, suivie par l'extension de la bande germinale. Ces deux mouvements produisent des pressions mécaniques qui ont un effet rétroactif sur le niveau biochimique. En fait, l'événement mécanique déclenché au tout premier stade de la gastrulation devient une sorte de signal qui induit une expression génétique spécifique censée réguler les événements post-translotionnels. Ce signal mécanique active la concentration de la protéine Myo II dans la partie apicale de la cellule. En raison de cette concentration, les cellules sont comprimées et le tissu mésodermique s'invagine. Dans le cas de l'embryon de drosophile le réseau génétique impliqué dans le processus d'invagination mésodermique est activé par la transcription du facteur Dorsal (facteur maternel). Dorsal se déplace du nucléus et cela déclenche le processus d'invagination tout en stimulant l'expression des facteurs impliqués dans le contrôle génétique des changements de forme des cellules qui causent la compression nécessaire à l'invagination du mésoderme: les gènes Twist (*twi*) et Snail (*sna*). Les embryons qui ont une mutation en *twi* ne présentent pas le deuxième mouvement parce que la

---

46 Cette partie est un résumé simplifié à partir de (Fernandez-Sanchez et al. 2010; Pouille et al. 2009; Desprat et al. 2008; Pouille et Farge 2008; Supatto et al. 2005).

protéine Fog, nécessaire pour une distribution stable de Myo II vers la cellule apicale n'est pas sécrétée. Les embryons porteurs d'une mutation en *sna* ne présentent aucun des deux mouvements morphogénétiques. *Snail* et *fog* semblent donc être indispensables pour le déclenchement du deuxième mouvement morphogénétique. Pour tester l'hypothèse selon laquelle la distribution de Myo II dépend d'une pression mécanique, une déformation locale a été produite par un micro-manipulateur sur les embryons avec mutation homozygote en *sna* exactement deux ou trois minutes après la fin de la cellularisation ventrale, c'est-à-dire au début de la première compression dans l'embryon de type wild. Les embryons porteurs d'une mutation en *sna*, comme nous l'avons vu, ne présentent pas la pression mécanique normalement associée à la première étape de compression morphogénétique. L'invagination mésodermique est récupérée par la pression locale dans 67% des cas.

Le processus qui vient d'être décrit montre la dépendance du signal *fog*, ainsi que de la redistribution de Myo II et de la compression de la cellule vers la partie apicale de l'embryon, à une pression mécanique due à des mouvements morphogénétiques. Il est donc clair que la pression mécanique joue un rôle nécessaire pour la bonne formation des organes dans l'embryon de drosophile. Au cours de la gastrulation le mouvement morphogénétique est précisément celui qui induit l'expression génétique qui suit et qui est impliquée dans la régulation post-translationnelle. Au cours de l'embryogenèse, le changement constant de la forme à l'intérieur de l'embryon crée de façon continue de nouveaux phénomènes de compression qui sont impliqués dans l'activation des gènes. Pour interpréter ce phénomène est introduite l'hypothèse des *gènes mécanosensibles*. Ceux-ci seraient précisément les gènes dont l'expression est modulée par une pression mécanique sur les tissus. De manière cohérente avec cette hypothèse, ces gènes seraient en mesure d'interpréter les déformations morphogénétiques en tant que signaux pour comprendre à quelle étape du développement se trouve l'embryon. Cela expliquerait pourquoi ces gènes s'activent immédiatement après une pression mécanique. Ce type de mécanisme est appelé mécano-transduction et permet l'expression des gènes dans

le stade approprié de l'embryogenèse par une sorte de traduction à partir d'un signal mécanique à un signal bio-chimique.

Conformément à cette approche, les pressions mécaniques sont supposées reprogrammer constamment le niveau génétique du développement au cours de l'embryogenèse. En d'autres termes, d'une part, il y a l'ADN qui code pour la morphogénèse et d'autre part il y a des déformations mécaniques des tissus qui sont interprétés comme des signaux provenant des différentes étapes du développement embryonnaire piloté par l'ADN.

Ici nous sommes clairement en présence d'un effort visant à offrir une description de l'embryogenèse en couplant le niveau génétique avec le niveau tissulaire par le biais de l'aspect mécanique. Cependant, on n'est pas du tout sorti d'un cadre théorique fondé sur la priorité causale du niveau génétique, car le rôle de la pression mécanique est expliqué en invoquant, une fois de plus, sa possible origine moléculaire. En fait, pour expliquer l'expression génétique qui est la conséquence d'une pression mécanique, cette hypothèse attribue aux gènes la propriété d'être réceptifs de façon spécifique à des pressions mécaniques, jouant donc implicitement le rôle du niveau tissulaire. À première vue cela semble ne pas poser de problèmes pour ce qui concerne la question de la circularité causale; et pourtant celle-ci n'est pas surmontée, mais plutôt détournée puisque la causalité du niveau tissulaire vers le niveau génétique est tout simplement supprimée. La cause de l'expression génétique, en fait, n'est pas attribuée à la pression mécanique, mais au fait que le gène est spécifiquement sensible à celle-ci.

L'effort de coupler l'aspect biochimique à l'aspect mécanique, dans le but de rendre compte des interactions réciproques entre les niveaux dont il est ici question, se heurte à une difficulté conceptuelle au cœur même du processus par lequel l'objet est identifié et représenté. L'hypothèse des gènes mécanosensibles est construite à partir du même processus de constitution d'objectivité qu'on vient de décrire pour les gènes du développement. De plus, dans ce cas la méthode différentielle est de direction opposée à celle des gènes du développement, puisque la mutation de

contrôle est produite au niveau des tissus. Cependant, afin de rendre compte de l'expression génétique modulée par les mouvements morphogénétiques, la propriété de mécano-sensibilité est attribuée aux gènes impliqués. La propriété causale est encore transférée au niveau génétique et le rôle causal de la pression mécanique est supprimé.

##### 4.5.b Spécificité fonctionnelle

La perspective qui a amené à l'hypothèse des gènes mécanosensibles est fondée sur l'attribution d'une spécificité fonctionnelle au niveau génétique. D'après la méthode différentielle, comme on l'a vu, une spécificité fonctionnelle est reconnue si on a un changement visible, la localisation du facteur de changement et la possibilité de prévoir ce changement. Comme on l'a vu dans le cas examiné ci-dessus, la « sensibilité » de ces gènes du développement a clairement un rôle clé dans la formation des organes, car lorsqu'elle est inhibée les mouvements post-translationnels n'ont pas lieu. Cela est un changement visible, le facteur de changement est localisable dans l'expression génétique concernée, car si inhibé l'effet est perdu, et une fois reproduit, il s'agit d'un effet prévisible. Cela a permis d'affirmer que les gènes du développement mécanosensibles sont des objets biologiques spécifiques. L'individuation de ces objets est passée par sa réduction à une spécificité fonctionnelle, qui s'est transformée en une propriété intrinsèque : la propriété de mécano-sensibilité. Mais il faut maintenant se poser la question de ce que sont les pressions mécaniques et de ce qu'est leur rôle.

Le procédé post-translationnel qui précède la bonne formation des organes ne dépend pas seulement, à ce stade de l'embryogenèse, du fait que certains gènes sont mécanosensibles. La pression mécanique exercée par les mouvements morphogénétiques porte aussi une certaine forme de spécificité. Ces mouvements ont un rôle fonctionnel car c'est à partir d'eux qui dépendent les mouvements post-translationnels. Leur inhibition a un effet visible dans le manque de l'expression génétique prévue. La localisation du facteur de changement est facilement repérable dans le lieu précis où la pression est exercée, ou inhibée, ainsi que dans son instant



exact au cours du processus de développement de l'embryon. Cet effet est reproductible et prévisible et pourtant il paraît très difficile de considérer des mouvements morphogénétiques, ainsi que les pressions conséquentes, comme des objets biologiques spécifiques, puisque ce n'est pas possible de les rendre discrets.

Le problème réside dans le statut différent attribué aux deux phénomènes. D'un côté le niveau génétique est considéré comme un ensemble d'objets biologiques, de l'autre côté il y a son contexte, dans ce cas des pressions mécaniques, qui a plutôt une nature de processus. Et pourtant, du point de vue de la spécificité il n'y a pas de raison d'identifier des objets d'un côté et non de l'autre. En regardant l'interaction du niveau génétique avec son contexte avec une exigence de spécificité, nécessaire au concept même de gènes du développement, on ne voit pas de priorité objective de niveaux. Autrement dit, la spécificité semble bien ne pas être un bon candidat pour le processus d'identification de l'objet biologique puisqu'elle ne permet pas de discerner un objet discret dans un événement continu. Plutôt, comme on l'a vu, ce critère d'objectivation impose une discrétisation qui donne l'illusion d'avoir un objet, auquel on attribue des propriétés intrinsèques aux caractéristiques semblables à celles de leur effet afin d'en expliciter la relation causale. Encore une fois, la causalité est réduite au niveau génétique. En effet, la sensibilité aux pressions mécaniques est présentée comme une propriété intrinsèque des gènes du développement en question.

#### 4.6 Conclusions

Dans ce chapitre nous avons essayé de mettre en lumière le lien entre la téléologie et la métaphore du programme génétique à l'intérieur du cadre réductionniste. Nous avons détecté une nature ambivalente pour cette perspective par sa situation intermédiaire entre une vision mécaniste et une vision vitaliste qui cherche à sauver des deux perspectives ce qui est le plus pertinent pour la biologie. Du côté mécaniste on retient la scientificité objective fondée sur la simple causalité efficiente en réduisant l'explication de toute dynamique au niveau physico-chimique ;

du côté vitaliste, par ailleurs, on garde cette spécificité du vivant consistant en la manifestation d'une structure et d'une forme supposée mettre en place un projet. Cette dernière caractéristique, qui s'exprime précisément dans le côté téléologique du vivant, est en effet réduite elle-même au niveau physico-chimique en s'y trouvant tel un programme spécifique. Dans le cas de l'embryogenèse, dont nous nous sommes occupés ici, il s'agit d'un programme de formation et de développement. Cependant, nous avons détecté un certain nombre de problème dans ce cadre explicatif. Tout d'abord nous avons mis en lumière que cette perspective a montré beaucoup de faiblesses dans la prise en compte de la complexité dynamique du vivant en ne sachant pas rendre compte de l'intégration entre niveaux d'organisation différents. Cette approche nécessite une intégration, et pour cela ne peut plus se porter comme cadre explicatif complet du vivant. Nous avons montré que cette faiblesse, due en large partie au fait de ne pas pouvoir prendre en compte l'organisation, semble quelque part rectifiée grâce précisément à la métaphore du programme. Autrement dit, ne pouvant pas observer les phénomènes d'un point de vue organisationnel, à cause de l'exigence de réduction, cette démarche théorique insère nécessairement, en le supposant, un projet organisationnel à l'intérieur du niveau physico-chimique.

Nous avons ensuite étudié le processus d'objectivation par lequel cette réduction est produite. La méthode différentielle a été questionnée et nous avons par cela, découvert une attribution de spécificité des causes par la spécificité des effets qui a présenté des problèmes aussi bien de l'ordre logique que de l'ordre métaphysique. En effet, nous avons mis en lumière une attribution de propriétés intrinsèques qui contribue, de façon constitutive, à la mise en place d'une ontologie du simple et du déterminé tout en justifiant la métaphore du programme. Par ailleurs, c'est à partir du cadre de la métaphore du programme que le niveau physico-chimique est censé porter cette spécificité intrinsèque. On montre donc, d'un point de vue de l'objectivation, une auto-référence de la théorie et de ses conditions de possibilités.

Enfin, nous avons essayé de prendre en compte une perspective encadrée par des travaux récents portant sur le rôle d'autres niveaux autre que celui génétique. On

#### CHAPITRE 4 LA RÉDUCTION DE LA TÉLÉOLOGIE : LE PROGRAMME GÉNÉTIQUE

a regardé de près des travaux qui s'intéressent aux effets des contraintes mécaniques des tissus sur le contrôle génétique du développement de l'organisme. Une observation critique a mis en évidence des difficultés liées à une description du vivant, encore une fois, par propriétés intrinsèques.

Ce qui émerge de cette première analyse est que le côté téléologique n'est pas entièrement résolu par sa réduction à une propriété intrinsèque. Dans le chapitre suivant nous allons prendre en compte l'analyse des fonctions et le débat, plus explicite que dans le contexte examiné dans ce chapitre, autour du rôle de l'explication téléologique. Dans la troisième partie de ce travail nous mettrons en place les instruments permettant de parler d'une alternative qui consiste à prendre la causalité téléologique comme un principe régulateur transcendantal au sens que nous avons explicité dans la première partie.

## CHAPITRE 5

# LA TÉLÉOLOGIE NATURALISÉE : L'ANALYSE DES FONCTIONS

### 5.1 Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons analysé la façon dont la perspective réductionniste de la biologie moléculaire rend compte de l'aspect téléologique du vivant. Nous avons montré que cette approche repousse l'aspect téléologique de l'explication du vivant par une réduction aux lois physico-chimiques. Autrement dit, elle semble résoudre le problème du côté métaphysique de la téléologie par le choix d'une explication fondée uniquement sur la causalité efficiente des dynamiques physico-chimiques. Par ailleurs, nous avons aussi détecté que cette forme d'explication fonctionne pour le vivant à condition de supposer que son côté téléologique soit présent dans ses bases élémentaires sous la forme d'un projet tel le programme génétique. En d'autres termes, sans l'explicitation d'un projet, le processus de réduction de la priorité causale, mis en place par la méthode différentielle, n'aurait pas de fondements théoriques. Or, si nous posons la question de savoir si la perspective réductionniste dissout définitivement le problème téléologique du vivant, nous nous trouvons face à une difficulté. En effet, cette approche ne propose pas une véritable solution à cette question. Au contraire elle suppose le téléologique dans une forme réaliste, comme nous l'avons définie dans le premier chapitre, dans la mesure où cette méthode appuie son pouvoir explicatif sur

l'existence d'une spécificité intrinsèque, telle une disposition, à l'intérieur même du niveau causal privilégié détecté dans l'ADN.

Dans ce chapitre nous allons considérer une autre forme de *neutralisation* du côté métaphysique de la téléologie. Nous allons prendre en compte l'analyse des fonctions. À l'intérieur de ce débat, la question du pouvoir explicatif de la téléologie et de son côté métaphysique paraît plus explicite. Ici les philosophes de la biologie se mesurent expressément avec la nécessité de concilier la causalité téléologique avec la vocation naturaliste de la biologie (Bedau 1993). Pour cette raison ils essaient de mettre en place un cadre théorique où la forme téléologique s'accorde avec une causalité efficiente, tout en gardant son pouvoir explicatif. En effet, malgré les difficultés métaphysiques liées à la téléologie, les biologistes n'ont pas arrêté d'utiliser le concept téléologique de fonction. Ruse (1988, 43) observe que les biologistes n'ont pas la conscience tranquille par rapport à l'usage du langage téléologique et, à cause de ça, ils essaient de le dissimuler sous le terme de téléonomie ; ou bien ils essaient d'amortir les conséquences métaphysiques en assurant qu'il ne s'agit que d'un langage utile. Par ailleurs, le problème persiste. En effet, les caractéristiques des structures et des dynamiques typiquement biologiques resteraient, sans cela, incompréhensibles dans un cadre causal strictement efficient (Buller 1999). En revanche, une vision scientifique naturaliste du monde semble bien imposer de fonder les lois sur des relations causales efficientes. Le souci majeur est donc celui de rendre compatible un langage téléologique avec la causalité efficiente. Il s'agit, en effet, du grand enjeu de la naturalisation de la téléologie à l'intérieur du débat des fonctions en biologie.

Or, parfois ce débat propose une distinction à l'intérieur des théories des fonctions entre deux aspects. Le premier est un aspect téléologique, caractérisé par le fait de rendre compte d'un trait par ses effets en renversant, par cela, l'ordre habituel entre la cause et l'effet. L'autre est un aspect normatif caractérisé par le fait qu'en attribuant une fonction on dit ce que le trait est *censé* faire. Cette distinction est certainement convenable à l'intérieur du débat car elle permet de distinguer les deux

aspects explicatifs de la notion de fonction : celui du rôle causal d'un trait et celui de la possibilité de reconnaître véritablement un trait fonctionnel d'un trait non fonctionnel, comme on verra mieux par la suite. Toutefois, dans une enquête autour du caractère téléologique des théories biologiques comme la nôtre, il convient de ramener cette distinction à son noyau théorique commun qui est la téléologie au sens plus large. Expliquer un certain aspect par la prise en compte du rôle, fût-il contingent, qu'il manifeste non seulement dans un système qui le dépasse, mais *pour* ce système même signifie se servir de la causalité téléologique. En effet, dire qu'un trait est *censé* faire quelque chose signifie, simplement, lui attribuer un but, un fin pour soi-même et dans un système plus large, donc cela revient tout à fait à l'attribution d'une finalité, bien que contingente, qui est typiquement téléologique.

On va maintenant prendre en compte quelques-unes de ces perspectives. Nous partirons notamment des toutes premières formulations de la question des fonctions, pour arriver à esquisser le débat plus récent. On explicitera deux types de choix par rapport à ce problème. Le premier choix consiste à mettre en valeur l'aspect téléologique et son pouvoir explicatif et construire autour une notion adéquate, donc naturalisée, de la téléologie. L'autre choix consiste, en revanche, à affaiblir entièrement le rôle de l'aspect téléologique dans l'attribution de fonction afin de le rendre complètement assimilable, ou traduisible, à un discours logique fondé sur la causalité efficiente. Or, par cet examen on montrera que dans le premier de ces cas la structure téléologique de l'explication fonctionnelle se laisse difficilement naturaliser par elle-même. Par ailleurs, dans le deuxième cas nous observerons que le pouvoir explicatif de la structure de fonction en ressort très affaibli. Pour *corriger* ces respectives faiblesses de la notion de fonction, les différentes perspectives ont dû, tour à tour, faire appel à des éléments supplémentaires tels, par exemple, le contexte évolutif, la notion d'adaptation, les concepts de fitness ou de disposition ou, encore, le cadre organisationnel.

Or, notre but, à l'intérieur de ce travail, n'est pas vraiment celui de discuter ces différentes perspectives pour en montrer l'efficacité explicative et les éventuelles

faiblesses, mais plutôt celui de s'interroger sur la réussite de la naturalisation de la téléologie. Pour cette raison on prendra en compte ces aspects dans le débat, mais en essayant de se placer du point de vue de la construction de la théorie des fonctions. Est-ce que la téléologie est vraiment naturalisée dans ce contexte ? Pour avoir une réponse affirmative il est nécessaire de détecter une notion de fonction qui, tout en gardant son pouvoir explicatif, soit en mesure de déduire les propriétés typiquement téléologiques à partir de son explication.

Ici il convient tout d'abord de faire une remarque autour du processus de naturalisation. Dans le débat en biologie on considère souvent qu'on a naturalisé la notion de téléologie simplement par le fait de lui avoir attribué un statut de propriété qui n'est pas transcendant, et qui n'est donc pas externe à la nature. Le fait de ne pas faire intervenir des causes externes à la nature est, comme nous l'avons montré dans la première partie de ce travail, le grand enjeu du naturalisme en général<sup>47</sup>. Or, naturaliser la téléologie, dans le langage courant du débat, signifie pouvoir *déduire* cette caractéristique spéciale à partir d'un cadre théorique entièrement fondé sur une approche naturaliste. Autrement dit, si on peut détecter une téléologie à partir d'une description naturelle du vivant, on a naturalisé la téléologie. Néanmoins, comme nous le montrerons, dans ces cas la téléologie n'est pas déduite mais superposée par les éléments qui sont appelés à construire le cadre théorique de la notion de fonction. En effet, les éléments mentionnés auparavant (le contexte évolutif, la notion d'adaptation, les concepts de fitness ou de disposition ou le cadre organisationnel) portent la structure causale de la téléologie à l'intérieur de leur forme conceptuelle. C'est en effet, précisément pour cette raison qu'ils produisent une solution efficace là où on affirme avoir une téléologie naturalisée. Toutefois, le fait de les faire intervenir ne contribue pas à une naturalisation de la téléologie mais plutôt à sa présupposition en tant qu'élément constitutif de l'objet. Autrement dit, quand on dit que la téléologie provient du cadre évolutionniste on n'est pas en train de naturaliser la téléologie mais de la mettre, précisément, dans la forme de la théorie<sup>48</sup>. Or, bien évidemment, si

---

47 Voir chapitre 1.

48 Dans le chapitre suivant, par le biais des réflexions de Cassirer, on montrera dans quel sens on peut

l'alternative au naturalisme n'est que la transcendance, alors cette affirmation est très problématique d'un point de vue métaphysique. Cela parce que, d'un côté trouver la téléologie ailleurs que dans un cadre naturalisé reviendrait à introduire une manifestation d'une volonté externe, ou interne mais de toute manière métaphysique. De l'autre côté, on serait amené à prendre la téléologie comme une simple instance du sujet, et donc une caractéristique subjective et, pour cela non scientifique. Cependant, cela ne doit pas faire scandale si on a un cadre transcendantal bien fondé. Bien sûr, dans ce cadre une telle réflexion revient à expliciter le rôle du sujet dans la construction des théories biologiques, mais celui-ci est un rôle précisément objectivant, comme nous l'avons montré, et ne représente donc pas un élément non scientifique. La nécessité d'une réflexion de ce type, qui consiste à s'interroger sur les conditions de possibilité de la constitution de l'objectivité, n'est pas, comme nous l'avons montré, une spécificité des seules sciences du vivant. Bien au contraire, elle touche toute construction scientifique, et de plus, elle s'est révélée très utile pour comprendre et interpréter la mécanique quantique, lieu théorique où le sujet ne peut plus véritablement être détaché de son objet. D'autre part, cette affirmation n'est pas non plus la négation d'un statut naturel de la théorie biologique, par exemple de la théorie darwinienne. En effet, une réflexion transcendantale de la gravitation newtonienne est tout à fait possible et utile, comme le montre Kant, sans pour cela nier son statut de loi naturelle. Ici une remarque s'impose. Dans ce travail nous ne nions pas la valeur des théories fondées sur les cadres évolutionnistes, ou qui font appel au système organisées. Bien au contraire, comme cela émergera plus précisément dans le chapitre suivant, ce sont précisément deux aspects cruciaux pour l'interprétation des dynamiques du vivant selon notre perspective. Notre analyse vise simplement ici à montrer que ces cadres nécessitent d'introduire une causalité alternative à la causalité efficiente et que pour légitimer cette causalité il convient d'entreprendre une voie transcendantale. La prise en compte des conditions de possibilité *a priori*, comme nous avons vu dans le premier chapitre, n'est pas une

---

interpréter la théorie Darwinienne comme une théorie qui fait de la causalité téléologique la forme propre de ces concepts dans un sens tout à fait transcendantal.



attitude antinaturaliste. Simplement, elle permet de replacer le sujet dans ce qu'il appelle nature, en opposition à un naturalisme naïf qui prétend le détacher en produisant une transcendance et contrevenant, par cela à son principe premier. En effet, cette attitude naturaliste peut aussi devenir un piège en philosophie de la biologie parce qu'elle risque, en refusant les moyens transcendants permettant d'explicitement la forme des théories, d'admettre à l'intérieur des objets mêmes des structures théorique qui deviennent, par cela, métaphysiques (Kolen et Van de Vijver 2007). Celui-ci était, en effet, un problème pour la perspective réductionniste de la biologie moléculaire que nous avons abordé dans le chapitre précédent.

Dans l'introduction du débat autour de l'attribution des fonctions, il sera très intéressant d'adresser aussi un regard à certaines voix qui s'intéressent explicitement à la possibilité de faire appel à, ou d'abandonner, la notion kantienne de l'organisme. Cela nous permettra aussi de préparer la discussion pour le chapitre suivant où on proposera une interprétation opérationnelle de cette notion. Par ailleurs, dans ce chapitre, nous voudrions aussi faire émerger une question. À quel point est-il légitime de s'adresser à la formulation kantienne des organismes lorsque l'explication biologique a principalement une ambition de naturalisation ? Et, d'autre part, si cette naturalisation du concept kantien d'organisme échoue, faut-il donc enfin laisser tomber Kant ? L'effort dans ce chapitre est celui d'anticiper, par le biais du débat autour des fonctions et des difficultés de naturaliser leur côté téléologique, une troisième voie par rapport à la formulation kantienne : la voie que nous avons annoncée être à la base de ce travail et qui consiste à rendre opérationnelle la téléologie sans la naturaliser, mais en lui reconnaissant précisément son rôle transcendantal. Cela non pas parce que la causalité biologique requerrait ce traitement spécial, mais simplement parce que toute causalité, y compris la causalité efficiente de la physique, comme nous l'avons montré dans le troisième chapitre, a un statut transcendantal.

## 5.2 La notion de fonction

La notion de fonction en biologie est introduite avec le double but de discerner les effets fonctionnels d'un trait des effets accidentels, et de justifier de l'existence d'un trait à l'intérieur d'un organisme. Autrement dit, une attribution de fonction à un trait est appelée à expliquer aussi bien sa présence dans le système que son rôle causal : ce qu'il est *censé faire*. Afin d'explicitier ce point, citons l'exemple le plus classique. Parmi les effets du battement du cœur (vibrations, bruit, pulsations, etc.) seul celui de pomper du sang lui est attribué en tant que fonction et cela explique aussi l'utilité de l'existence d'un cœur dans un organisme qui en possède un. On dira, donc, que la fonction de pomper le sang est la raison de l'existence du cœur dans certains organismes (Buller 1999, 1–7). On reconnaît ici les deux dimensions de la définition : d'un côté, elle rend compte du rôle causal d'un trait dans un système ; de l'autre côté, elle explicite l'utilité de la présence du trait dans ce même système. La fécondité de la notion de fonction n'est pas douteuse. La question est alors toute liée à l'intérêt de *sauver* cette notion de ses possibles dérives métaphysiques, provenant de son côté téléologique, comme celle de devoir admettre une intentionnalité de la nature ou une sorte de volonté interne de survie des organismes.

Les premières remarques autour des difficultés du langage fonctionnel proviennent de Hempel (1965) qui constate que l'explication fonctionnelle ne rentre pas dans le modèle nomologique-déductif de l'explication propre au cadre de l'empirisme logique. Selon ce modèle, introduit par Hempel et Oppenheim (1948), expliquer signifie déduire le phénomène que l'on veut expliquer à partir de lois générales et de conditions initiales. Le problème avec l'explication fonctionnelle est donc le suivant : comment expliciter la structure logique de l'explication qui permet de dériver la présence d'un trait directement de la fonction qui lui est attribuée ? En effet, suivant ce schéma logique, le fait qu'un trait soit présent dans un système n'est pas déductible des prémisses autour du comportement de ce trait dans l'organisme, parce que cette présence ne représente qu'une condition suffisante, mais non nécessaire, au bon fonctionnement du dit système. Ce dernier, en effet, pourrait

présenter des traits alternatifs, mais portant la même fonction indispensable à son bon fonctionnement. Par conséquent, l'explication fonctionnelle n'étant pas déductible, ne semble pas satisfaire les conditions du modèle nomologique-déductif.

Nagel (1961), tout en restant dans le cadre de l'empirisme logique, essaye de résoudre ce problème. Il entreprend une tentative de conformer les énoncés fonctionnels au cadre logique par une traduction en énoncés du type de la causalité efficiente. Pour ce faire il propose d'interpréter l'existence d'un trait fonctionnel dans un système telle qu'une condition nécessaire. Pour revenir à l'exemple du cœur, d'après la solution proposée par Nagel l'énoncé « la fonction du cœur est de pomper du sang » est parfaitement identique à l'énoncé « le cœur est une condition nécessaire au pompage du sang ». Or, cette équivalence n'est pas réalisée. Cette solution, comme le montre Wright (1976), est problématique parce qu'elle ne permet pas de distinguer ce que la notion de fonction est censée distinguer, c'est-à-dire précisément une fonction d'un simple comportement d'un trait. Pour prendre un autre exemple très connu, l'hémoglobine pourrait être dite une condition nécessaire du transport de l'oxygène, mais aussi de la couleur rouge du sang. Tous les deux ces effets peuvent être traduits en conditions nécessaires, mais ils ne sont pas équivalents du point de vue fonctionnel. La couleur rouge n'est pas une fonction de l'hémoglobine, alors que le transport de l'oxygène est bien ce que les biologistes considèrent comme sa fonction. La caractérisation de Nagel, notamment par sa limite, met le point sur le sens principal de l'emploi de l'explication fonctionnelle, car sa tentative de la réduire à une structure logique de type déductif ne fait qu'appauvrir son pouvoir explicatif. Comme le remarque Gayon (2006, 481) : « Lorsque le biologiste (...) utilise [la notion de fonction], il ne s'intéresse pas seulement à l'effet réel d'un certain dispositif ou processus. Il ne s'intéresse pas seulement à ce qu'il fait, mais aussi à ce qu'il est *censé faire* ». De plus cette solution de Nagel peut entraîner des résultats faux. Dans l'exemple du cœur qu'on a cité auparavant, un autre trait, même artificiel, pourrait avoir les effets fonctionnels d'un cœur sans que l'existence de celui soit donc une condition nécessaire. En conclusion, ces premières tentatives d'assimilation de la

téléologie à une causalité efficiente par le biais d'une conformation au schéma nomologique-déductif rencontrent la difficulté de payer un coût trop fort pour la *neutralisation* de l'aspect téléologique de la notion de fonction à cause de la perte de son pouvoir explicatif.

À partir de ces premières tentatives de formaliser le langage téléologique, d'autres perspectives se sont ouvertes. Deux articles fondateurs du débat ont paru ensuite (Wright 1976; Cummins 1975) proposant des analyses tout à fait différentes l'une de l'autre, qui ont donné lieu à deux approches opposées : l'approche étiologique et l'approche systémique. Afin d'analyser ces travaux, et notamment leurs stratégies de naturalisation de la téléologie, on va ici prendre en compte ces deux traditions majeures du débat et les développements qui en ont fait la suite<sup>49</sup>. Dans tous ces cas, on essaiera de mettre en lumière les vertus et les limites des formulations différentes en détectant si elles produisent une véritable naturalisation de la téléologie. Autrement dit, on essaiera de comprendre si elles peuvent faire appel à un concept de fonction tout à fait immunisé de son côté métaphysique, tout en gardant le pouvoir explicatif spécifique qui, comme nous l'avons vu, caractérise cette notion.

### 5.3 La perspective étiologique

L'approche étiologique voit sa naissance avec les réflexions de Wright (1976) qui essaye de donner une définition de la notion de fonction par le biais de son histoire causale. Ainsi, seuls les effets dans le passé permettant d'expliquer la présence d'un trait dans un organisme peuvent être qualifiés de fonctions. Selon cette perspective, l'attribution des fonctions répond à des questions du genre : pourquoi tel système présente-t-il tel trait et pourquoi tel trait manifeste-t-il tel comportement ? Les explications fonctionnelles se réfèrent, donc, aux effets passés qui ont porté à la

---

<sup>49</sup> Les principaux textes du débat sont disponibles par exemple dans les anthologies (Krohs 2009; Ariew, Cummins, et Perlman 2002; Buller 1999; Allen, Berkoff, et Lauder 1998).

présence persistante d'un tel trait dans un tel système biologique. Ici l'explication de la présence d'un trait passe par les effets de ce trait.

Afin d'éviter toute dimension intentionnelle de la téléologie, ainsi que toute circularité causale, l'approche étiologique, et notamment les perspectives postérieures (Godfrey-Smith 1994; Neander 1991; Millikan 1989; 1987) qui se sont placées dans le sillage de Wright, s'appuient sur la notion d'effet sélectionné dans le passé, issue du cadre évolutionniste. L'idée est la suivante : une structure peut être considérée comme porteuse d'une fonction, si et seulement si, dans le passé, telle fonction a été efficace, d'un point de vue causal, pour la sélection de la structure. Il s'agit d'une sélection sur la base du type de conséquences entraînées par sa présence dans le système. Neander (1991) propose de définir la fonction d'un trait directement comme un *effet sélectionné*. Dans cette proposition le pouvoir explicatif de l'aspect téléologique a le mérite d'être très efficace. Recourir à la sélection, en effet, permet une transformation de la question. S'interroger autour des raisons de la présence d'un trait dans un système signifie, alors, se demander quels comportements d'un trait peuvent rendre compte de sa présence dans le système, dans le cadre de la sélection naturelle. Cette forme explicative est aussi performante pour discerner un trait véritablement fonctionnel (comme le battement du cœur) d'un trait accidentel (comme le bruit qu'il produit), c'est-à-dire qu'elle permet de garder le rôle normatif de l'explication fonctionnelle. Cela parce que si l'effet d'un trait ne porte pas les avantages détectés grâce à la sélection naturelle, on ne peut pas lui attribuer un rôle fonctionnel. En réalité, certaines faiblesses de cette perspective, du point de vue du rôle explicatif, ont été détectées. En effet, par l'intervention du rôle de la sélection dans le passé, elle semble ne pas vraiment rendre compte du comportement actuel dans un système présent (Voir par exemple Boorse 1976). Cependant, ici nous ne voulons pas examiner les problèmes au niveau du pouvoir explicatif, mais plutôt au niveau du processus de la naturalisation de la téléologie. La notion de fonction ainsi construite semble bien produire un cadre naturalisé et explicatif, mais à bien regarder

un problème se pose justement dans ce processus de reconnaissance des avantages évolutifs qui manifeste une ambiguïté.

Ici, la stratégie de naturalisation de la téléologie passe par son assimilation au processus de sélection naturelle dont le résultat serait l'existence de certains traits. Autrement dit, la dimension téléologique a été réduite à un niveau de propriété causale du processus de sélection naturelle. En effet, comme le montre Zammito (2006), le développement récent de la perspective étiologique s'est de plus en plus persuadé que la notion de sélection naturelle pourrait fournir la structure causale décisive, de forme efficiente, nécessaire à naturaliser la téléologie. Or, à partir de ces considérations, une confiance totale dans le succès du processus de naturalisation de la téléologie porte, par exemple, Sober (1993, 87) à affirmer que toute notion de fonction est, en l'état actuel du débat, entièrement naturaliste. Par ailleurs, comme le montre McLaughlin (2001) on détecte quelque part un usage équivoque de la sélection naturelle et cela déjà à partir des premières réflexions de Wright. En effet, il observe que la sélection naturelle est toujours conçue à l'intérieur d'un cadre propre aux artefacts. Tel l'artisan qui choisit les fonctions, ainsi ferait la sélection naturelle (2001, 154). Dans ce sens, si une structure peut être décrite comme ayant pour but une certaine fonction, si et seulement si, telle fonction a été efficace pour la sélection, on reconnaît à la sélection naturelle de jouer un rôle analogue à celui d'un choix intentionnel. Cela car on lui attribue une direction vers une telle disposition des traits dans l'organisme. En effet, comme le montre Nissen (1997; 1983) cet aspect est même évoqué par Wright qui accorde un pouvoir actif et créateur à la sélection naturelle en opposition à une vision purement négative de celle-ci. Cette vision entre explicitement en résonance avec celle d'Ayala (1970, 5), qui propose d'interpréter la sélection naturelle à travers la métaphore d'un peintre qui crée une peinture par le mélange et la distribution de pigments sur une toile. De même, la sélection naturelle aurait un rôle créateur en disposant des combinaisons génétiques autrement inexistantes.

À ce sujet, et dans le même esprit que McLaughlin, Lewens (2004) observe que l'introduction de la sélection naturelle dans l'attribution de fonction nécessite de supposer le processus d'adaptation, autrement on ne pourrait pas vraiment détecter la performativité d'un trait, qui en fait sa fonction, parce que plusieurs histoires pourraient être reconstruites. D'ailleurs, dans cette perspective, la fonction est parfois directement assimilée à un résultat causal d'une adaptation réussie (Sober 1993). Cela entraîne un recours à une notion de valeur de l'attribution de fonction qui participe d'un résidu d'intentionnalité non mieux naturalisé. Ce fond intentionnel a même amené Bedau (1992a; 1992b) à se servir de termes tels que bien et mal avec le but explicite de fonder une analyse fonctionnelle centrée sur les attributions de valeur, afin de mieux caractériser ce qui peut être appelé une fonction par son apport de bénéfice à l'organisme. Or, la perspective historique de l'attribution des fonctions semble bien avoir besoin de ces concepts afin de produire un rôle explicatif performant, autrement, comme on l'a dit, il serait possible de reconstruire plusieurs histoires pour le même trait. Par ailleurs, cela revient toujours à supposer des concepts intentionnels. En effet Gould et Lewontin (1979) montrent que l'idée d'une évolution par adaptation continue vers l'état le plus performant pour l'organisme<sup>1</sup>, ce qui semblerait, selon les critiques de Lewens, être une condition théorique importante à l'attribution de fonctions dans la perspective étiologique, ne se réalise pas toujours dans la nature. Bien au contraire il existe beaucoup d'exemples montrant qu'un trait qui remplit une fonction à une étape de l'évolution pouvait avoir des fonctions tout à fait différentes dans une étape antérieure de l'évolution. Il s'agit du phénomène d'exaptation (Gould et Vrba 1982). De plus, les traits peuvent devenir adaptatifs ou arrêter de l'être selon les changements de l'environnement. En conclusion tous ces éléments, observe Lewens (2004), produisent une difficulté sur la réelle possibilité de connaître le passé évolutif d'un trait fonctionnel.

Pour revenir à la question de l'ambiguïté dont nous avons parlé auparavant, nous observons ici que la notion de sélection naturelle ainsi qu'elle est évoquée par la perspective étiologique, manifeste dans son contenu un résidu de téléologie dans

l'interprétation d'une direction à la nature. On voit, donc, comment afin de maintenir le pouvoir explicatif, la perspective étiologique semble encore faire appel à des concepts non ultérieurement naturalisés, mais juste supposés, tels le pouvoir créatif, l'interprétation de l'évolution en termes d'adaptation ou l'attribution de valeurs, sans quoi la perspective historique trouverait fortement affaiblie la possibilité de la connaissance du passé évolutif d'un effet fonctionnel. Les éléments téléologiques introduits pour interpréter la théorie ne sont pas, par ailleurs, déduits de la théorie étiologique. Bien au contraire, il s'agit de structures superposées à la théorie. On ne peut, donc, pas conclure que l'aspect téléologique soit complètement naturalisé car, comme nous l'avons dit, pour être naturalisé il devrait émerger, de manière déductive, à partir de la théorie. Par exemple, on devrait pouvoir déduire l'interprétation évolutive en termes d'adaptation à partir de la théorie étiologique. Cela reviendrait à dire qu'il est légitime d'interpréter ainsi l'évolution parce que les effets fonctionnels ont été sélectionnés dans le passé, alors que c'est exactement le contraire qui se passe. Les effets fonctionnels peuvent être reconnus comme des effets sélectionnés dans le passé seulement si on admet, selon les critiques de Lewens et McLaughlin, ce type de direction adaptative.

Or, nous le précisons, supposer ce genre d'éléments n'est pas en soi toujours illégitime et plusieurs formes de théories étiologiques, ainsi que d'autres perspectives que nous verrons par la suite, semblent bien fonctionner grâce à ces interventions. Nous pensons, par ailleurs, qu'il conviendrait d'en expliciter le rôle constitutif au sens transcendantal. Cela en raison du fait que la téléologie occupe une place plus vaste à l'intérieur de la construction de la théorie biologique. Une naturalisation au sens réductionniste ne semble donc pas satisfaisante, au sens d'une réduction à des formes causales efficientes comme si celles-ci avaient un statut plus *naturel*. En effet, comme nous l'avons vu grâce à la mécanique quantique, le type de causalité permettant de déterminer les phénomènes n'est pas détectable dans la nature, autrement on serait amené, par exemple, à dire que le monde microscopique est *naturellement* probabiliste et indéterminé. Dans la dernière partie de ce travail nous



préciserons ultérieurement en quel sens il est utile d'explicitier le rôle transcendantal de la téléologie en biologie. Ici il convient d'anticiper brièvement la position qu'on veut prendre à ce sujet. On proposera, en effet, l'idée que la condition de possibilité d'un regard adapté au biologique, qui prenne donc en compte son histoire au sens évolutionniste, son organisation ainsi que d'autres caractéristiques qu'on examinera, est celle de supposer, de manière précisément *a priori* et non réaliste, une structure téléologique de la causalité. Cela, on le montrera, ne veut pas simplement dire de se poser du côté de la théorie des vivants en supposant résoudre ainsi le problème du téléologique. Autrement dit, il ne sera pas question d'atténuer le téléologique en disant simplement qu'il n'est pas dans le monde mais dans la théorie. Cela signifierait de retomber dans la critique de Ruse qui était de faire de la téléologie seulement une question de langage. Le véritable enjeu de produire une réflexion au sens transcendantal pour la téléologie est celui de s'interroger autour de la construction d'un principe mathématique apte à donner la forme à ces théories, c'est-à-dire à construire le champ causal, l'espace et le temps pertinents, etc., selon la dynamique de la synthèse *a priori* qu'on a explicitée dans la première partie de ce travail. Un principe mathématique spécifique ne sera pas trouvé dans ce travail, parce que cela dépasse largement nos compétences. Par ailleurs, comme on l'a dit, on aura l'occasion d'introduire une perspective qui produit un cadre théorique apte à la formulation de ce genre de principes mathématiques. On précisera plus dans le détail ce point dans le chapitre 7.

Nous allons maintenant prendre en compte la perspective systémique. Ici nous verrons que, bien que la téléologie ne soit pas du tout problématique, car cette dimension y est explicitement annulée, le problème se pose au niveau du pouvoir explicatif. Cela montre que lorsqu'on laisse tomber l'aspect téléologique on a une dilution de la fécondité de la notion de fonction qui la rend très peu performante. Pour faire face à ce problème certaines perspectives font intervenir des éléments tels la fitness ou la disposition. On détectera ici le même problème qu'auparavant : ces

éléments représentent des suprastructures de la forme téléologique et ne sont pas déduits de la théorie systémique.

#### 5.4 La perspective systémique

L'approche systémique, à différence de l'étiologique, exclut que la téléologie soit un aspect constitutif du concept de fonction. Dans cette perspective l'attribution des fonctions se réfère au système courant et non pas aux effets sélectionnés dans le passé qui expliquent l'existence du trait. La perspective systémique se construit, en effet, à partir du rejet de ce point crucial étiologique. Cummins (1975), qui est à l'origine de la théorie systémique, observe que le lien entre l'explication de l'existence d'un trait et l'attribution de fonctions ne correspond pas à un usage scientifique de cette dernière. Il considère que par cette perspective il semble impossible d'annuler l'appui sur un agent, de quelque sorte, délibératif, qui mettrait en place un projet, ou un choix sélectif (1975, 746–747). Pour produire un usage scientifique des fonctions, selon la structure nomologique-déductive de l'explication partagée par Cummins, celles-ci ne doivent pas porter sur l'existence d'un trait, elles doivent expliquer la contribution d'une activité ou d'une capacité d'un trait dans un système présent. La question n'est, donc, pas *pourquoi* un certain trait se trouve dans un organisme, comme c'était le cas pour Wright, mais *comment* l'organisme en question peut exhiber certaines propriétés. Ici les fonctions sont interprétées comme une classe particulière d'effets causaux qui contribuent à l'émergence de certaines capacités dans le système qui les contient. L'énoncé fonctionnel peut être traduit par un simple énoncé autour de la contribution causale à une capacité d'un niveau plus haut (Davies 2003; Craver 2001; Cummins 1975). En d'autres termes, dire que le trait a une fonction revient à dire qu'il a un rôle causal dans le système.

Or, cette perspective, dans l'intérêt d'une neutralisation des problèmes métaphysiques liés à la téléologie, a certainement l'avantage de faire référence uniquement à une causalité efficiente pour l'attribution de fonction. Cela a bien le

mérite de ne pas impliquer une notion de valeur, comme c'était le cas de l'approche étiologique. Autrement dit, si la fonction est attribuée sur la base de son rôle causal dans le système présent, il n'est pas nécessaire d'invoquer l'avantage évolutif qu'elle aurait apporté à ce même système. En revanche, la pertinence explicative y est complètement perdue. En effet, affaiblir le rôle de la structure téléologique de la notion de fonction entraîne une caractérisation trop large de celle-ci. Par exemple, cette théorie n'est pas en mesure de produire un cadre apte à différencier ce qui est véritablement fonctionnel de ce qui n'est qu'un effet non pertinent (Neander 1991; Millikan 1989; Wright 1976). Celui-ci était aussi le grand problème de la formulation de Nagel. On peut donc conclure qu'ici le coût à payer pour avoir entièrement renoncé à la téléologie est trop élevé en termes de pouvoir explicatif. Cela en raison du fait qu'une notion de fonction de ce genre se présente comme trop large et non suffisamment déterminante.

Le débat qui a fait la suite, dans le sillage de cette perspective, essaye principalement de corriger cette faiblesse de la formulation originale de la théorie systémique par l'ajout de cadres visant à restreindre et rendre plus spécifique cette définition. Certaines options, par exemple, font appel à la cybernétique par la théorie du « goal-directed-system » (Par exemple Boorse 2002; Adams 1979). L'idée est, brièvement, que on peut attribuer des fonctions uniquement aux traits non seulement qui manifestent des capacités spécifiques pour le système, mais qui peuvent être détectés tel des buts de ce système. La cybernétique est invoquée afin de rendre compte de ce qu'on peut appeler proprement un but. D'autres perspectives font appel aux notions de fitness, de disposition ou encore de propension afin de délimiter l'attribution des fonctions aux traits pertinents (Par exemple Bigelow et Pargetter 1987; Ruse 1971). Il existe, ensuite, un ensemble très varié de propositions visant à unifier, ou rendre complémentaires, les aspects étiologiques et systémiques (Par exemple Walsh 1996; Griffiths 1993; Kitcher 1993).

Ici, nous n'allons pas prendre en compte dans le détail toutes ces formulations, ce qui sortirait du cadre de notre analyse. Ce que nous voulons faire

émerger est que en général, les éléments de compensation pour rendre plus performantes ces théories sont des éléments de la forme téléologique. L'appel à la cybernétique, par exemple, comme le montre Van de Vijver (2004), représente précisément l'introduction d'une structure causale en forme de téléologie. La téléologie n'est pas une propriété déduite d'une théorie efficiente, elle est la structure même des théories cybernétiques. Le fitness et le but dirigé (goal-directedness), par exemple, entraînent conceptuellement une disposition interne des traits considérés qui a tout à fait les caractéristiques d'un discours téléologique. Or, on n'est pas en train de dire que ces théories soient, pour cela, des théories métaphysiques. Le problème que nous détectons est plutôt le suivant : ces éléments sont supposés afin de rendre la théorie plus adaptée à son devoir explicatif, mais ils ne sont pas déduits de la théorie elle-même. Précisément dans ce sens une réflexion transcendantale se rend nécessaire. Afin d'explicitier mieux ce point, nous allons prendre en compte certaines approches qui se servent du cadre organisationnel pour construire une théorie des fonctions.

### 5.5 Téléologie et organisation

Certaines perspectives font appel au cadre organisationnel afin de construire une théorie de la fonction adéquate (Par exemple Toepfer 2012; Mossio, Saborido, et Moreno 2009). Ces positions, sensiblement différentes entre elles, partagent l'idée que l'attribution de fonction puisse se spécifier par la prise en compte des caractéristiques typiques de l'organisation biologique en tant que système d'auto-maintenance, différenciés et clos<sup>50</sup>. Ces perspectives ont le mérite de produire un cadre unifié des attributions fonctionnelles téléologiques et systémiques. Les fonctions

---

50 La notion d'organisation biologique, tel un système clos et différencié, a vu sa formulation en termes d'autopoïèses par Varela et Maturana (Varela, Maturana, et Uribe 1974). D'autres perspectives ont également donné des cadres d'organisation biologique en ces termes (Par exemple Gánti 2003; Rosen 1991). À partir de ces positions originaires, d'autres recherches se sont développées dans cette direction (Par exemple Kauffman 1993).

biologiques sont détectées comme les relations causales spécifiquement soumises à clôture dans un système cyclique, ou auto-maintenu.

Or, Toepfer (2012) observe explicitement que son cadre théorique ne fonde pas la téléologie. Cela non pas parce qu'il ne peut pas en rendre compte mais, plutôt, pour la simple raison que c'est le concept de téléologie qui sert à fonder la notion d'organisation cyclique. La définition même du concept d'organisme s'appuie sur un raisonnement téléologique. Pour cette raison on voit bien comment cette perspective ne naturalise pas la téléologie, dans la mesure où elle ne la déduit pas à partir de sa théorie mais la suppose faire déjà partie de la théorie. Toepfer développe un cadre selon lequel la téléologie porte un rôle méthodologique constitutif dans la mesure où elle exerce la fonction d'une structure conceptuelle qui n'a pas directement un pouvoir explicatif, mais qu'il convient de considérer premièrement comme un instrument descriptif pour identifier les systèmes biologiques organisés (Toepfer 2012, 216).

Dans le même esprit Quarfood (2006) développe une perspective selon laquelle la structure organisationnelle, la notion même d'organisme, dépend de la forme téléologique de causalité. À partir de cette réflexion il suggère d'établir deux niveaux méthodologiques de la théorie biologique : le premier, de forme téléologique, a spécifiquement le rôle de fournir une identification, au sens constitutif ; le deuxième, de forme mécaniste, a le rôle d'expliquer les relations causales. Ici on détecte un usage de la téléologie en forme constitutive, explicitement issue du cadre kantien.

## 5.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de regarder le débat des fonctions du point de vue de la constitution des cadres théoriques. Cela afin de détecter si un aspect crucial comme la téléologie pour la notion de fonction pouvait être naturalisé. Nous avons observé, en effet, que lorsque celle-ci est mise de côté, notamment dans

les perspectives systémiques, le pouvoir explicatif de la notion de fonction en ressort très affaibli. Elle n'est plus en mesure de détecter la spécificité des traits pouvant proprement être appelés fonctionnels. En ce sens les perspectives étiologiques se montrent plus distinctives par le fait d'exhiber un certain nombre de critères aptes à détecter de façon déterminante ce qu'il est légitime d'appeler une fonction. Toutefois, nous avons essayé de regarder ces théories en nous demandant si la téléologie y était bien naturalisée. Nous avons, en cela, découvert que si par naturalisation on veut dire déduction de la théorie, comme le langage courant dans ce débat le suggère, la téléologie n'est pas naturalisée dans ces théories. En effet, un caractère téléologique est toujours superposé à la théorie par l'intervention d'éléments qui portent, justement, cette forme causale spécifique.

Ensuite, nous avons détecté dans les théories qui font appel à un cadre organisationnel, des alternatives performantes pour surmonter les impasses du débat, et notamment de l'opposition entre les deux perspectives traditionnelles. Cela nous a amené à nous interroger sur la naturalisation de la téléologie dans ces cadres. Nous avons, encore une fois, découvert une superposition de la téléologie comme élément appartenant à la structure théorique et non déductible de celle-ci. Notamment nous avons observé la possibilité d'une réflexion autour de la téléologie au sens constitutif précisément transcendantal au sein du débat autour des fonctions (Toepfer 2012; Quarfood 2006). Or, le but de ce travail n'est pas celui de produire une théorie alternative au sein du débat des fonctions. Nous avons pris ce débat en guise de champ où certains éléments importants du lien entre téléologie et biologie émergent afin de les examiner par la perspective transcendantale que nous nous sommes donnée. Notre réflexion autour de la téléologie va, par ailleurs, dépasser ce contexte et proposer une interprétation plus générale du rôle constitutif que celle-ci peut remplir.

Ici, une dernière considération nous paraît intéressante. Comme nous l'avons vu, certaines difficultés émergent à l'intérieur du débat des fonctions. Notamment, il paraît difficile de détecter une unité entre les différentes possibilités, notamment dans

les cadres étiologique d'un côté et systémique de l'autre, de définir les fonctions. Il s'agit d'une situation d'impasse que Godfrey-Smith (1993) appelle un « consensus sans unité ». Or, les perspectives faisant appel à un cadre organisationnel semblent bien produire un type de réflexion pouvant unifier, ou remplacer, ces deux pôles opposés du débat. La centralité de la notion d'organisme, avec ses dynamiques spécifiques, comme objet privilégié de la biologie est certainement d'inspiration kantienne (Voir par exemple Huneman 2008; Van De Vijver 2004). En raison de ça, un certains nombres de protagonistes du débat autour des fonctions ont porté leur attention sur Kant (Par exemple Quarfood 2006; Lewens 2004; McLaughlin 2001). À ce sujet, par exemple Zammito (2006) observe que puisque la vocation de la biologie est naturaliste, le recours à Kant n'est pas vraiment intéressant. Par une analyse de la troisième *Critique* il considère que Kant affaiblit le pouvoir de la connaissance dans le jugement réfléchissant, réduisant, par cela, la biologie à un statut pré-scientifique et qu'en général cette perspective ne serait pas porteuse de solutions pour des problèmes posés dans un cadre naturaliste, parce que de toute manière cette perspective reste irrémédiablement transcendantale et, par cela, antinaturaliste (Zammito 2008). Or, nous avons pris cet exemple parce que c'est exactement en opposition avec cette dernière perspective que nous nous situons. Tout d'abord, comme nous l'avons déjà en partie montré, mais nous reviendrons sur ce point, la perspective kantienne, et transcendantaliste en général, n'est pas un antinaturalisme. Cependant, il est vrai qu'elle n'est pas façonnable en naturalisme naïf, car il est impératif de la situer dans le cadre plus large d'une philosophie transcendantale.

Dans le chapitre suivant nous allons spécifiquement réfléchir à la troisième *Critique* avec le but d'en faire ressortir le rôle épistémologique détecté par Cassirer. Ensuite, toujours dans l'esprit et en suivant le sillage de ce philosophe nous allons enquêter sur les possibilités déterminantes d'un jugement régulateur en analogie avec le principe causal transcendantal détecté pour la mécanique statistique qui était aussi régulateur selon Cassirer.

**TROISIÈME PARTIE**  
**PRINCIPE TÉLÉOLOGIQUE ET**  
**SINGULARITÉ DU VIVANT**





## CHAPITRE 6

# LA LOGIQUE DES ÊTRES VIVANTS : LE JUGEMENT TÉLÉOLOGIQUE

### 6.1 Introduction

Dans la partie précédente de ce travail nous avons enquêté sur certaines formes de théorisation en biologie qui se servent du concept de téléologie d'une façon naturalisée ou réduite, sans tenir compte de son rôle transcendantal. Dans le cas du réductionnisme lié à la biologie moléculaire, nous avons détecté un problème concernant l'attribution de spécificités fonctionnelles traitées comme des propriétés intrinsèques, ce qui supposait une téléologie interne au niveau causal fondamental. Le principe téléologique était, ici, concentré à l'intérieur même de la matière sur un mode réaliste, et il était implicitement considéré comme la condition de possibilité du repérage de ces spécificités fonctionnelles. Nous avons, ensuite, essayé d'analyser le débat autour de l'attribution des fonctions. Les philosophes engagés dans ce débat se sont explicitement posés le problème de la possibilité de naturaliser la téléologie, c'est-à-dire de la déduire d'une théorie sur les fonctions. Nous avons observé que, lorsque la téléologie est complètement mise de côté, la caractérisation des fonctions perd une grande partie de son pouvoir explicatif. C'est le cas, notamment, des perspectives systémiques. Cela a donc poussé certains courants de recherches alternatives, comme par exemple les perspectives étiologiques, à tenter une naturalisation de la téléologie. Nous avons, par ailleurs, montré que pour accomplir

cette naturalisation, ces courants de pensée étaient obligés de faire appel à des éléments portant déjà, dans leur propre structure conceptuelle, la forme téléologique. Nous n'avons, donc, pas vraiment pu détecter un lieu, dans les théorisations biologiques prises en compte, où la téléologie soit déduite des théories et non pas supposée par les théories. Ce fait nous suggère l'intérêt de nous interroger sur la place occupée par la téléologie dans le cadre des suppositions scientifiques légitimes qui constituent les *a priori* selon notre perspective. Pour cette raison, selon nous, il est intéressant de se placer d'un point de vue transcendantal et de s'interroger plus précisément sur la possibilité de construire un principe *a priori* téléologique.

Dans ce chapitre nous allons proposer ce principe transcendantal téléologique pour la biologie. Nous allons, ensuite, détecter par ce principe un certain nombre de caractéristiques dont les théories mathématiques doivent tenir compte pour construire des concepts constitutifs pour les sciences du vivant. La perspective transcendantale ici proposée se fonde, en effet, sur le rôle que jouent les mathématiques pour la construction des concepts spécifiques et constitutifs des sciences particulières. Comme nous l'avons dit, détecter un principe téléologique ne signifie pas simplement se poser du côté de la théorie, mais surtout exiger de construire des concepts d'ordre tels qu'un champ causal, un espace et un temps pertinents, etc., spécifiques du domaine biologique par le biais des mathématiques. Ce processus, décrit dans le deuxième chapitre, s'appuie sur le caractère synthétique des mathématiques et ne correspond donc pas à une formalisation pure, qui semblerait, pour une science empirique, tout à fait inadéquate. Le but de ce chapitre est donc celui de détecter les caractères à partir desquels les mathématiques peuvent construire des concepts constitutifs d'ordre pour les sciences du vivant. Cette proposition trouve, bien évidemment, son origine et sa source primaire dans les réflexions kantienne autour du jugement téléologique. En raison de l'inspiration kantienne que nous nous donnons, il sera nécessaire, tout d'abord, de légitimer la possibilité d'un tel processus constitutif. Cela notamment à cause des limites explicites posées par Kant à ce sujet, que nous allons examiner. Aborder la troisième

*Critique* d'un point de vue philologique ou génétique n'est pas le but de ce travail. Il s'agit d'une œuvre complexe à définir et à encadrer, aussi bien par une difficulté d'unité interne que par son rôle systématique externe dans le cadre de la philosophie critique générale<sup>51</sup>. Sur ce sujet, une vaste littérature existe, et on peut notamment mentionner des travaux d'interprétation plus spécifiquement adressés aux thèmes de la philosophie de la biologie, et donc du jugement téléologique interprété comme une *analytique du jugement biologique*<sup>52</sup> (Huneman 2011). Notre intérêt n'est pas, non plus, celui de rechercher une sorte de lecture nouvelle de l'œuvre kantienne afin de construire autour d'elle une cohérence explicative applicable aux sciences du vivant telles qu'elles se présentent aujourd'hui. Il s'agit, plutôt, ici, d'en emprunter la disposition critique posant le problème du côté de la structure du jugement. Cela dans l'intérêt explicite de renouveler ce questionnement aujourd'hui, tout en gardant un regard transcendantal, c'est-à-dire en se posant du côté des conditions de possibilité de construire un ensemble de concepts constitutifs pour les sciences du vivant. C'est pourquoi, la possibilité d'une telle construction ne sera pas directement trouvée par une exégèse de Kant. Elle s'inspirera plus largement de l'inflexion au niveau de la théorie de la connaissance produite par l'interprétation de Cassirer, que nous avons en partie déjà explicitée et qui provient du nouveau statut réfléchissant attribué par ce dernier à la causalité, à la suite de son analyse des constructions théoriques de la mécanique statistique et quantique. En effet, notre ambition est de tenter le même type d'élargissement et de relativisation des *a priori* que celui qu'a pratiqué Cassirer sur la philosophie kantienne, face aux nouveaux cadres mathématiques et physiques de son époque. Bien évidemment, afin d'atteindre notre but, il sera nécessaire de réfléchir aussi à des questions portant sur la structure de l'œuvre critique ainsi que sur ses possibles significations. Nous présenterons, tout d'abord les problèmes typiques rencontrés lors de la prise en compte de la troisième

---

51 On renvoie ici à l'introduction de Renaut à (Kant 1995, 7–81), qui offre une reconstruction de la genèse de l'œuvre ainsi qu'une analyse critique des principaux problèmes d'interprétation.

52 On renvoie par exemple à (Zammito 1992; McLaughlin 1990; Zumbach 1984; McFarland 1970). Bien qu'il puisse paraître anachronique de parler de sciences biologiques à cette époque, il est désormais assez répandu de reconnaître les problèmes que s'y posèrent, notamment dans l'étude des organismes, comme faisant partie des conceptions des sciences naturelles (Steigerwald 2006c).

*Critique* : notamment l'unité de l'œuvre, l'opposition entre jugement déterminant et jugement réfléchissant et l'antinomie, conséquente, entre mécanisme et téléologie. Il sera utile, dans ce cadre, de se servir de certaines interprétations plus récentes, même si elles sont assez éloignées du cadre interprétatif dont nous voudrions nous servir, parce qu'elles nous permettront de faire ressortir les problèmes épistémologiques à prendre en compte. Encore une fois, il semble important de le répéter, notre intérêt n'est pas d'affirmer qu'une certaine interprétation serait plus ou moins proche de la véritable perspective kantienne. Notre intérêt est de rendre opératoire un principe transcendantal de la téléologie en l'opposant, mais parfois simplement en le comparant, à des perspectives qui en font un concept naturalisé. En effet, la philosophie de la biologie accorde désormais un grand intérêt à la formulation kantienne du jugement téléologique, exprimée par la définition de l'organisme, ainsi qu'à la possibilité de s'en servir pour la construction de cadres théoriques pour le vivant. Avec le but explicite de progresser dans le débat actuel du problème de la téléologie et de la connaissance des organismes en biologie, certaines perspectives récentes considèrent pertinent, voire particulièrement éclairant (Quarfood 2004, 118), de revenir sur le discours kantien. C'est notamment en rapport avec la notion d'organisme formulée par Kant que certaines recherches s'inspirent à la troisième *Critique*, avec le but d'en tirer une version naturalisée et compatible avec des explications mécanistes.

Par ailleurs, un problème se pose précisément dans la recherche de cette compatibilité. Kant, comme nous allons le voir, semble explicitement nier la possibilité que l'explication téléologique soit compatible avec l'explication mécaniste, dans la mesure où il ne confère pas la dignité de science à la connaissance des êtres organisés et où, en même temps, il s'oppose à l'idée qu'on puisse vraiment trouver une fin naturelle dans la nature. En effet, c'est précisément en opposition à une métaphysique de la téléologie qu'il nie cette possibilité. Cette difficulté se manifeste dans le fait de *confiner* le jugement téléologique au jugement de type réfléchissant. La question, pour des perspectives *naturalisantes* est donc celle de

## CHAPITRE 6 LA LOGIQUE DES ÊTRES VIVANTS : LE JUGEMENT TÉLÉOLOGIQUE

concilier un pouvoir explicatif de type mécaniste, appartenant typiquement au jugement déterminant, et le jugement téléologique. Nous allons d'abord expliciter la notion d'organisme chez Kant, ensuite nous prendrons en compte, en esquisse, certaines perspectives qui s'inspirent d'une version naturalisée de cette définition. Ce cadre nous permettra de manifester le changement de regard que nous voulons proposer ici.

Ce sera, comme nous l'avons dit, par la prise en compte de l'interprétation de Cassirer que nous essayerons de mettre en place tous ces éléments nous permettant de justifier la construction de concepts d'ordre pour la biologie. Nous reconnâtrons, en premier lieu, la spécificité épistémologique du jugement réfléchissant qui est celle de produire un mouvement de la connaissance du particulier vers l'universel, à l'inverse de la physique. Nous découvrirons un premier moment d'autonomie par rapport à la physique dans la singularité de l'objet biologique qui nous amènera à détecter, dans le discours autour de l'organisation, non seulement un aspect matériel spécifique à l'objet de la biologie, mais la structure possible d'une construction de champ causal alternatif à celui de la physique. Nous prendrons en considération le fait que, contrairement à la physique de l'époque de Kant, la physique actuelle ne possède désormais plus un unique champ causal. Nous montrerons, en effet, que la référence à ce sujet kantien s'effectue souvent en utilisant une opposition, explicite dans l'antinomie du jugement de Kant, entre mécanisme et téléologie. Or, cela est tout à fait raisonnable lorsque on est dans le cadre d'une interprétation de l'œuvre de Kant parce que, chez lui, ce champ causal mécaniste se pose effectivement en alternative à la structure téléologique. Toutefois, lorsque la réflexion autour de Kant est employée dans le but de produire un cadre pour la biologie actuelle, il nous paraît nécessaire de considérer, que ce type de champ causal mécaniste et déterministe opposé à la téléologie a un champ d'application limité à la physique classique. Si on considère légitime la possibilité de l'extension de la notion même de causalité, entreprise par Cassirer à la suite de la formulation de la mécanique statistique, alors,

au sein de cette extension, il est possible de reconnaître à la forme téléologique de la causalité un statut constructif.

Une fois tous ces éléments explicités, nous reviendrons à l'inflexion produite par Cassirer à la théorie de la connaissance transcendantale et nous établirons un possible rapport entre explication mécaniste et explication téléologique. La valeur constructive, et ensuite constitutive<sup>53</sup>, de cette dernière ne sera plus empêchée par le fait de devoir prendre en compte le sujet dans ce processus. En effet, comme nous l'avons montré dans la première partie de ce travail, selon la perspective transcendantale le fait de prendre en compte les conditions de possibilités du côté du sujet devient bien une clause s'appliquant à toute connaissance possible. La question qui se pose, éventuellement, est de savoir si ces conditions de possibilité peuvent être objectives, et constituer alors une science, ou simplement subjectives. C'est pour cette raison, précisément, que nous allons fonder notre processus sur la construction mathématique, qui garantit ce type d'objectivité. Cela nous conduira à réfléchir au processus du schématisme transcendantal, notamment dans la forme d'un schématisme symbolique proposé par Cassirer, et à son possible rôle en biologie.

Or, avant d'entreprendre cette construction, une dernière précision s'impose. Ce travail se place dans le cadre de la recherche d'une construction théorique légitime pour la biologie qui soit autonome par rapport à la physique. Par ailleurs, cette autonomie ne signifie pas une autonomie des moments rationnels d'une science, dont la biologie aussi doit se servir pour construire des structures conceptuelles. C'est pourquoi les processus de construction mathématiques en physique réapparaissent fréquemment dans ce travail. Comme nous le montrerons plus précisément dans le chapitre suivant, par la prise en compte de la perspective de Bailly, Longo et Montévil, c'est précisément en explicitant comment les mathématiques construisent les concepts d'ordre pertinents pour la physique qu'on peut reproduire un mouvement analogue pour la biologie. Toutefois, cette analogie

---

53 L'inversion du processus de la connaissance du particulier vers l'universel nous amènera à reconnaître d'abord un rôle constructif, dans le sens de la construction des concepts qui, ensuite, deviennent constitutifs une fois adressés aux phénomènes biologiques.

ne doit résider que dans le geste théorique de construction de principes d'ordre et non dans l'activité d'emprunter ces principes d'une science à l'autre. Comme nous l'avons déjà remarqué, en effet, fonder des lois spécifiques à une science en s'appuyant sur les principes construits pour une autre science correspond à une réduction inadéquate qui se met en place par la simple juxtaposition de lois, sans une réorganisation des principes (Bailly et Longo 2006).

## 6.2 Les choses naturelles comme cause et effet d'elles-mêmes

Dans la deuxième partie de la troisième *Critique*, on trouve la *Critique de la faculté téléologique*. La toute première caractérisation kantienne des êtres organisés trouvés dans la nature est bien connue : « une chose existe comme fin naturelle quand elle est *cause et effet d'elle-même* » (Kant 1995, 362). Cette formulation impose, comme caractère principal de la compréhension des organismes, une circularité causale de l'ordre du tout vers ses parties. Kant précise par la suite ce type de circularité. La première forme de circularité causale concerne le genre. L'organisme vivant est cause et effet de lui-même parce qu'en produisant un autre organisme tel que lui il se conserve comme genre, et la cause du maintien de son genre est en même temps son effet. C'est par l'exemple d'un arbre que cette relation est exprimée :

Premièrement, un arbre produit un autre arbre selon une loi naturelle connue. Mais l'arbre qu'il produit est de la même espèce ; et ainsi il se produit lui-même selon l'espèce dans laquelle, d'un côté en tant que cause, continuellement produit par lui-même et de même sans cesse se reproduisant, il se conserve en permanence comme espèce. (Kant 1995, 362)

La deuxième forme de circularité causale concerne la croissance. L'organisme est cause de lui-même car il se développe, mais il est aussi son propre effet car il se développe à travers une substance qui est son propre produit :

Deuxièmement, un arbre se produit aussi lui-même comme individu. Cette sorte d'effet, nous la nommons, il est vrai, seulement croissance ; mais cela est à prendre en un sens tel que la croissance se distingue totalement de tout accroissement de grandeur selon les lois mécaniques et qu'il faut la considérer comme équivalente, sous un autre nom, à une génération. (Kant 1995, 362–363)



Enfin la troisième forme de circularité causale concerne l'auto-conservation de l'organisme. La conservation des parties a pour fonction celle du tout et la conservation du tout a pour fonction celle de ses parties :

*Troisièmement*, une partie de cette créature se produit aussi d'elle-même, de telle manière que la conservation d'une partie dépend de la conservation de l'autre, et réciproquement. (Kant 1995, 363)

La première forme de circularité causale porte sur le lien bilatéral entre les espèces et les individus exprimé par la reproduction, la deuxième porte sur l'auto-maintien, et la troisième sur la relation spécifique et réciproque qui se manifeste entre le tout et les parties dans les êtres organisés. Ces trois formes de circularité causale ont un pouvoir très puissant sur la compréhension intuitive des êtres vivants. Huneman (2008) met en évidence le lien entre la constitution de la notion d'organisme et les problèmes des sciences naturelles qui se posaient à Kant à l'époque. Il reconnaît dans la perspective kantienne, précisément dans cette notion d'organisme, le moment où toutes les questions ouvertes autour du problème de la connaissance des êtres vivants se fondent dans une perspective unitaire qui se pose comme germe et origine de la constitution d'une science biologique autonome. Cette perspective unitaire concentre dans son concept les notions d'adaptation, de fonction et de forme héritée (Huneman 2006). Il détecte notamment l'influence que ce concept unitaire d'organisation kantien a eu dans le développement aussi bien de l'anatomie comparée de Cuvier, que dans la morphologie de Goethe et de Geoffroy Saint Hilaire (Huneman 2006)

Il est possible de reconnaître certaines perspectives qui, par des voies différentes, considèrent la formulation kantienne des choses en tant que fins naturelles, comme une stratégie explicative des êtres organisés qui peut produire une spécificité explicative dans le cadre actuel des théories biologiques. Ces perspectives se dirigent donc principalement vers un questionnement autour de la possibilité de naturalisation de la téléologie et de son éventuel pouvoir explicatif en biologie. Ces champs de recherche sont intimement liés à la notion d'organisation. Une première grande inspiration dérivée d'une notion kantienne dans un cadre de pensée

naturalisant, est certainement à reconnaître dans la naissance de la notion d'autopoïèse (Weber et Varela 2002; Varela, Maturana, et Uribe 1974). Ces perspectives ont reconnu dans cette formulation une pertinence explicative très forte pour le vivant, en raison d'une opposition explicite à un réductionnisme qui soutient la possibilité d'expliquer le vivant à partir des seules lois physico-chimiques. En effet, cette formulation kantienne présente le double mérite de manifester d'emblée et de façon très claire aussi bien l'autonomie des êtres organisés par rapport aux lois simplement mécaniques, que les caractéristiques qui font de l'objet organisé un objet tout à fait spécifique, c'est-à-dire l'explicitation des différents niveaux d'organisation et les interactions circulaires *censées* reproduire, générer et maintenir une structure pertinente de cette même organisation. Ces trois aspects semblent bien représenter les points fondamentaux pour rendre compte des êtres vivants.

À partir de cette notion spécifique d'auto-organisation, beaucoup de modèles, ne se référant pas toujours explicitement à Kant, mais très proches de cette caractérisation d'auto-organisation circulaire dont la proximité avec la formulation kantienne est évidente (Van De Vijver 2004), ont été proposés afin de reproduire ces interactions spécifiques et fournir ainsi un cadre modélisé du vivant (Par exemple Gánti 2003; Kauffman 1993; Rosen 1991). Ces modèles, pour la plupart, se fondent sur la volonté de détecter les propriétés pertinentes pour définir les êtres vivants. Nous n'allons pas entrer dans les détails ici, mais il nous semble par ailleurs que ces perspectives sont, de manière générale, accrochées à un type d'explication lié à la causalité efficiente et tentent donc de réduire ces circularités causales à des comportements d'un système organisé décrit de manière à être compatible avec la causalité efficiente.

C'est d'autre part à travers une notion d'organisation explicitement kantienne, comme nous l'avons esquissé dans le chapitre précédent, qu'une téléologie naturalisée est recherchée sur d'autres axes. Walsh (2006), par exemple, après avoir montré l'insuffisance de l'explication mécaniste en biologie, observe que la notion d'organisme, considérée comme fin naturelle au sens explicitement kantien, joue un

rôle explicatif irréductible et qu'elle est donc pertinente en biologie. Toutefois, en raison de l'impossibilité imposée par Kant d'objectiver les fins naturelles, que nous prendrons en compte par la suite, se pose le problème de donner à ce concept d'organisme un pouvoir explicatif. Walsh, pour résoudre ce problème, fait explicitement appel aux perspectives sur l'auto-organisation que nous avons mentionnées auparavant. Se fondant sur ces modèles, il conclut que la finalité contingente des organismes est simplement un phénomène naturel et observable et qu'il n'est pas nécessaire de s'immerger dans l'analyse de la philosophie critique (Walsh 2006, 788), pour en adopter un concept naturel et explicatif qui, en raison du fait d'être naturel, est réconcilié avec l'explication simplement mécaniste. Or, il nous semble que ce genre de perspective se fonde sur un argument circulaire. Tout d'abord, comme nous l'avons remarqué dans le premier chapitre consacré au problème de la neutralité des observables, il ne suffit pas de dire que quelque chose est observable pour résoudre le problème de la téléologie. Nous avons, en effet, montré que la neutralité authentique de l'observation par rapport aux pré-concepts qui la structurent n'est pas immédiate. Dans notre analyse la notion même d'observable nous a paru toujours s'articuler avec un certain nombre de conditions non neutres. D'ailleurs, notre but est justement d'explicitier ces conditions qui, dans le cas des organismes, semblent bien appartenir à un type spécifique de causalité circulaire. Or, comme nous l'avons montré dans le chapitre 3, la causalité n'est pas à penser dans les choses. Elle n'est pas un élément présent dans les relations ontologiques entre les objets, mais une procédure de conformation de l'activité de la science à des lois. Pour cette raison, selon notre perspective il est tout à fait insuffisant de dire que, puisqu'on observe ce genre de causalité, elle est d'emblée naturalisée. De plus, la proposition de Walsh se fonde explicitement sur les travaux sur l'auto-organisation. Or, ces travaux, pour les raisons que nous venons d'explicitier, ne peuvent pas légitimement conclure que la téléologie est naturelle en s'appuyant sur le seul fait d'avoir construit un modèle qui permettrait de la déduire, car les modèles mêmes d'auto-organisation supposent une forme de logique téléologique (Toepfer 2012). De plus, il nous semble que ce modèle décrit par Kant, une fois pris dans un sens transcendantal que nous

allons expliciter, manifeste en réalité un pouvoir bien plus performant pour les sciences du vivant qui ne s'exprime ni dans le fait de détecter une structure dans les organismes, ni de proposer un type d'explication, mais d'offrir des principes d'ordre pertinents, dont les principes causaux font eux-mêmes partie. Certains auteurs nient cependant la possibilité de se servir de la définition d'organisme de la troisième *Critique*, trouvant la référence à Kant peu pertinente pour une biologie qui se veut naturaliste (Zammito 2006). D'autres manifestent une sensibilité forte pour le contexte transcendantal plus général et s'interrogent, alors, sur la possibilité d'un rôle constitutif de l'explication téléologique (Quarfood 2006; Quarfood 2004; Ginsborg 2015).

Ces courants philosophiques semblent toutefois partager l'idée qu'une explication scientifique, même lorsque elle souhaite garder l'autonomie et la spécificité de l'explication organisationnelle en biologie par rapport à la physique, devrait tout de même trouver un point d'articulation avec l'explication par une causalité mécaniste efficiente. Autrement dit, le pouvoir explicatif de la téléologie se met en place par une harmonisation, plus ou moins rigide selon les cas, avec l'explication mécaniste. Par exemple la perspective de Quarfood (2006), comme nous l'avons déjà mentionné, propose d'établir deux niveaux méthodologiques de la théorie biologique : le premier, de forme téléologique, ayant pour rôle de fournir une identification de l'organisme, au sens constitutif, le deuxième, de forme mécaniste, ayant pour rôle d'expliquer les relations causales.

D'autres perspectives encore, par un regard authentiquement transcendantal, détectent dans la troisième *Critique* l'impossibilité intrinsèque d'objectiver l'organisme et la conséquente nécessité de la prise en compte de l'observateur par la biologie (Kolen et Van de Vijver 2007; Van de Vijver et al. 2005). Ces perspectives inspirent, en partie, le point de départ de notre travail. En effet, notre but est celui d'explorer les conditions de possibilité du côté du sujet pour l'interprétation et la représentation des organismes, et plus généralement des objets biologiques. Par ailleurs, notre conclusion diffère sensiblement. En effet, au lieu de reconnaître

l'impossibilité de l'objectivation, nous allons proposer une extension de cette dernière, par la prise en compte du statut réfléchissant du principe de la causalité. Ces auteurs observent que la troisième *Critique*, justement en raison de la découverte de cette impossibilité d'objectiver le vivant, produit une sorte de *dé-dogmatisation* de tout l'esprit critique qui ne peut qu'assouplir la rigidité des formes transcendantales (Van de Vijver et al. 2005, 16). Autrement-dit, d'après cette perspective la découverte par Kant de cette résistance à l'objectivation des organismes, qui force à prendre en compte le sujet, produit une transformation de tout l'esprit transcendantal, jusqu'à aboutir, dans l'*Opus Postumum* (Kant 1986), à une symétrie réciproque entre le sujet et l'objet. Nous n'allons pas ici discuter cette perspective, que nous partageons. Par ailleurs, comme nous avons essayé de le montrer dans la première partie de ce travail, dès la *Critique de la raison pure* il n'est pas entièrement légitime de considérer de manière rigide le transcendantalisme. Nous avons, en effet, découvert que *a priori* ne signifie pas inné, mais originairement acquis (Kant 1985, 1351), ce qui nous permettait d'envisager cette symétrie de co-constitution entre les formes *a priori* et les phénomènes. De plus, comme le montre l'école de Marbourg, et tout particulièrement Cassirer, une perspective transcendantale, émancipée des éventuelles rigidités kantienne, se montre particulièrement pertinente pour un bouleversement de la notion d'objet ainsi que de la notion d'objectivation qui n'est, depuis la mécanique quantique, plus vraiment séparable de l'activité du sujet.

Nous remarquerons, en effet, que toutes ces différentes visions semblent, de manière générale, ne pas être sensibles aux importants bouleversements, du point de vue de la théorie de la connaissance, intervenus à la suite des nouveaux cadres de la physique. Cependant, ces transformations impliquent directement la notion de causalité et de déterminisme ainsi que son statut de principe déterminant et son caractère mécaniste. Cela, comme nous essayerons de le montrer, peut conduire à reconsidérer les rapports entre mécanisme et téléologie, notamment dans un cadre où le principe de causalité dévoile son statut réfléchissant de principe de conformité à une loi. Il est par ailleurs nécessaire de changer le niveau de l'interrogation. On ne se

posera plus la question de la forme des explications, mais celle de la forme des principes.

### 6.3 La *Critique de la faculté de juger*

Nous allons maintenant exposer les principaux nœuds théoriques de la troisième *Critique* autour desquels se produisent les interprétations les plus différentes, notamment dans le cadre de la philosophie de la biologie. Ensuite nous prendrons en compte quelques tendances générales des interprétations répandues en philosophie de la biologie, afin de donner un cadre à celle que nous voudrions suivre ici et montrer en quoi, tout en ne se constituant pas comme une interprétation directement concernée par le problème du pouvoir explicatif de la téléologie en biologie, elle peut proposer une voie vers un cadre transcendantal pour la biologie. Ces points représentent des enjeux capitaux pour notre construction théorique, parce que c'est à partir de ces contenus que nous détecterons les principes d'ordre pertinent pour la biologie. Dans le chapitre suivant nous essayerons de transférer ces principes d'ordre à des concepts tels que la criticité étendue et la géométrie du temps élaborées dans la perspective de Bailly, Longo et Montévil que nous prendrons en compte.

#### 6.3.a L'unité de la troisième *Critique*

Au sein de l'œuvre critique de Kant, la question du vivant trouve sa place dans la *Critique de la faculté de juger*. Celle-ci aborde sous les mêmes principes deux questions apparemment très éloignées : le goût, par le biais du jugement esthétique, et les êtres vivants, par le biais du jugement téléologique. Quel serait, donc, le lien entre le beau et la vie ? Loin d'être une évidence, l'unité de la troisième critique a paru hautement problématique à ses interprètes. Schopenhauer, par exemple, jugeait que Kant avait traité dans le même livre deux thèmes tout à fait hétérogènes (Schopenhauer 2004, 183)<sup>54</sup>. Souvent, l'unité de l'œuvre a été recherchée dans son rôle de pont architectural entre les deux autres critiques : elle

<sup>54</sup> Sur ce point voir aussi l'introduction de Philonenko à (Kant 1993, 11–12).

résulterait d'une nécessité d'articulation systématique par le biais d'un terme moyen entre deux facultés distinctes. La troisième *Critique* serait donc un lieu artificiel où Kant aurait satisfait son obsession de soumettre à des principes toutes les formes possibles de facultés avec leurs classements et sous-classements. Selon cette perspective, la nécessité de relier entendement et raison, trop distantes dans le cadre des *pouvoirs supérieurs de la connaissance*, serait la seule raison pour laquelle Kant aurait introduit une réflexion approfondie sur la faculté de juger. Les principes spécifiques qui lui sont assignés ne résulteraient par ailleurs que d'une analogie avec les autres facultés. D'ailleurs, si on prend strictement à la lettre un passage de l'introduction définitive de l'œuvre on trouve une formulation qui exprime effectivement la nécessité d'un pont entre facultés :

Les concepts de la nature, qui contiennent ce qui sert de fondement à toute connaissance théorique *a priori*, reposaient sur la législation de l'entendement. Le concept de liberté, qui contenait ce qui sert de fondement à tous les préceptes pratiques *a priori* non conditionnés par le sensible, reposait sur la législation de la raison. [...] Simplement, dans la famille des pouvoirs supérieurs de connaissance, il y a encore toutefois un moyen terme entre l'entendement et la raison. Celui-ci est constitué par la faculté de juger, dont on a des raisons de présumer, par analogie, qu'elle pourrait tout aussi bien contenir en soi, non pas sans doute une législation qui lui soit propre, mais néanmoins, un principe qui lui soit spécifique [...]. (Kant 1995, 155–158)

Désormais, plusieurs interprètes s'accordent à dire que l'unité de l'œuvre n'est pas à trouver dans ce rôle *architectural*, mais, malgré ce point en commun, la recherche de cette unité a donné lieu à une très grande variété d'interprétation qu'il n'est pas du tout possible de répertorier ici dans un cadre exhaustif. On peut esquisser trois grandes attitudes, toutes portant des arguments très hétérogènes entre eux. Certaines interprétations, par exemple, portent l'attention sur la primauté du jugement esthétique et fondent, à partir de là, le sens philosophique de l'œuvre (Par exemple McCloskey 1986; T. Cohen 1982; Coleman 1974) . D'autres, que nous regarderons d'un peu plus près par la suite, trouvent dans le jugement téléologique, notamment par ses implications autour de l'explication des organismes, le vrai point de départ de l'enquête sur l'unité de l'œuvre (Par exemple Ginsborg 2001; McLaughlin 1990; McFarland 1970). D'autres encore maintiennent un regard plus ample en détectant, par des voies différentes, une unité dans le système critique

kantien pris dans son complexe. Elles subordonnent la compréhension de la troisième *Critique* à ce cadre. Ces dernières, notamment exprimées par la tradition allemande, comptent une variété de positions très riche<sup>55</sup>. L'interprétation de Cassirer (2001a; 1995), que nous allons suivre ici, est certainement plus proche de ces dernières, parce qu'elle n'accorde ni au jugement esthétique ni au téléologique une primauté dans la structure de l'œuvre et garde un cadre plus général, centrant la problématique autour du jugement réfléchissant. Toutefois nous verrons que cette herméneutique, héritée en France par Alexis Philonenko, ne subordonne pas vraiment la troisième *Critique* aux autres, mais éclaire le système critique entier par celle-ci posant son centre sur le jugement réfléchissant.

### 6.3.b Jugement réfléchissant et jugement déterminant

Une autre question problématique de la troisième *Critique* est le statut du jugement réfléchissant, dont le jugement esthétique et le jugement téléologique sont des genres. Le jugement réfléchissant a souvent été considéré simplement comme un jugement non scientifique, parce-qu'il ne fait pas partie des types de jugements qui s'appliquent aux sciences mécaniques, traitées dans la première *Critique*. Le jugement réfléchissant est d'ailleurs introduit par Kant en opposition avec le jugement déterminant :

La faculté de juger en général est le pouvoir de penser le particulier comme compris sous l'universel. Si l'universel (la règle, le principe, la loi) est donné, la faculté de juger qui subsume sous lui le particulier est déterminante (même quand, comme faculté de juger transcendante, elle indique a priori les conditions conformément auxquelles seulement il peut y avoir subsumption sous cet universel). Mais si seul le particulier est donné, pour lequel l'universel doit être trouvé, la faculté de juger est réfléchissante. (Kant 1995, 158)

Réfléchissant signifie que le jugement projette par *réflexion* sa structure intérieure sur l'ensemble des impressions. Il a un sens simplement régulateur, c'est-à-dire qu'il est une simple maxime subjective. Ce jugement s'oppose au jugement déterminant qui *constitue* l'objet scientifique par le moyen d'une loi universelle. Ce jugement est notamment celui impliqué dans le cadre de la physique mathématique

---

<sup>55</sup> Pour un recensement de ces positions voir (Zammito 1992, 3–8).



dans la première *Critique*. À cette opposition entre deux types de jugements, qui suggère un confinement du réfléchissant à un cadre non scientifique car il lui est nié d'atteindre l'objectivité, s'ajoute l'avertissement que Kant donne au sujet de la possibilité d'une science mécaniste de la biologie :

Il est en effet tout à fait certain que nous ne pouvons même pas connaître de façon suffisante les êtres organisés et leur possibilité interne suivant des principes simplement mécaniques de la nature, bien moins encore nous les expliquer ; et c'est même si certain que l'on peut sans hésiter dire qu'il est absurde pour des êtres humains même simplement de concevoir un tel projet, ou d'espérer que puisse un jour surgir encore un Newton qui rende compréhensible ne serait-ce qu'un brin d'herbe d'après des lois naturelles que nulle intention n'a ordonnées ; bien au contraire faut-il absolument refuser ce savoir aux hommes. (Kant 1995, 395)

Nombre d'auteurs ont lu ce passage comme une sorte de dé-légitimation de la biologie en tant que science, tout en donnant une connotation négative à cet aspect de la pensée kantienne. Zammito (2006), par exemple, considère que Kant relègue la biologie à un statut pré-scientifique. La téléologie ne peut, selon ce point de vue, constituer un instrument explicatif sinon simplement dans la forme d'une analogie (Fricke 1990). Or, tout ce qui ressort de ce passage, c'est que pour Kant une science des êtres vivants fondée sur des *lois mécaniques* est impossible. Il reste à se demander si une autre forme possible de connaissance peut surgir. Pour dissoudre ce nœud il est indispensable de résoudre l'antinomie du jugement téléologique. C'est, en effet, ce à quoi ce sont notamment confrontées les perspectives *naturalisantes*.

### 6.3.c L'antinomie du jugement téléologique

Dans la *Dialectique du jugement téléologique*, Kant présente l'antinomie du jugement téléologique comme une conséquence immédiate de la question explicitée auparavant. En effet, d'un côté on peut appliquer des lois universelles pour lesquelles il n'est pas demandé un principe de la réflexion parce qu'un principe objectif lui est donné par l'entendement ; de l'autre côté, pour les lois particulières, la faculté de juger doit se donner elle-même un principe en raison de la nécessité qu'elle manifeste de trouver une loi dans les phénomènes de la nature ne serait-ce que dans une unité contingente (Kant 1995, 380). Ces deux formes semblent difficilement coexister et il

## CHAPITRE 6 LA LOGIQUE DES ÊTRES VIVANTS : LE JUGEMENT TÉLÉOLOGIQUE

se présente, alors, une antinomie que Kant formule d'abord en proposant un couple de maximes avec des thèses apparemment en contradiction ouverte entre elles :

*La première de ces maximes est la thèse* : Toute production de choses matérielles et de leurs formes doit être jugée comme possible d'après des lois simplement mécaniques.

*La deuxième maxime est l'antithèse* : Quelques produits de la nature matérielle ne peuvent pas être jugés comme possibles d'après des lois simplement mécaniques (le jugement qui les apprécie requiert une toute autre loi de causalité, à savoir celle des causes finales). (Kant 1995, 381)

Il s'agit ici d'une antinomie au niveau des maximes parce que dans la faculté de juger réfléchissante on n'a pas de principes constitutifs, mais uniquement des principes régulateurs. Par ailleurs, tout de suite après, Kant présente un couple parallèle, mais cette fois-ci constitutif, des thèses de la même antinomie :

*Thèse* : Toute production de choses matérielles est possible d'après des lois simplement mécaniques.

*Antithèse* : Quelques productions de ces choses ne sont pas possibles d'après des lois simplement mécaniques. (Kant 1995, 381)

Kant observe que cette dernière serait vraiment une contradiction sans solution, alors que le premier couple ne réside que dans une maxime du jugement réfléchissant et présente donc seulement l'illusion d'une contradiction. L'argument proposé par Kant comme solution à cette antinomie apparente est de mettre en évidence qu'il s'agit d'une confusion entre le jugement réfléchissant et le jugement déterminant. Puisque l'antinomie ne réside que au niveau du jugement réfléchissant, et que ce niveau ne permet pas la constitution des objets, alors il s'agit d'une apparente antinomie parce que la première maxime, qui impose de juger toute production de chose et de leur forme par des lois mécaniques, en réalité n'exclut pas que lorsque cela n'est pas possible il soit légitime de se servir d'une autre forme de causalité.

Or, cette solution a laissé très insatisfaits les interprètes récents, notamment dans la perspective de la philosophie de la biologie. McLaughlin (1990, 137), par exemple, considère qu'il n'existe pas d'interprétations convaincantes sur ce point, et

qu'il ne suffit certainement pas de se contenter de la confusion entre maximes et principes constitutifs. De plus, il considère que l'antinomie, réellement contradictoire, ne se présente pas uniquement au niveau du couple des principes constitutifs, mais qu'elle est bien présente déjà dans le couple de maximes mêmes et que pour cette antinomie aucune solution n'est proposée (McLaughlin 1990, 149). En outre, le Kant de la première *Critique* parle de la faculté de juger d'après des lois simplement mécaniques comme d'une faculté déterminante. Pourquoi se trouve-t-elle alors, dans la première maxime, présentée comme du ressort de la faculté de juger réfléchissante ? On est ici en présence d'un point crucial et très complexe qui a donné lieu à un débat interprétatif très vaste. On comprend bien quel est l'enjeu. Il s'agit ici de concilier ces deux formes qui sont en général considérées par ces types de critiques des formes d'explication. L'une, celle qui va de l'universel vers le particulier, et qui se sert de concepts déjà établis par l'entendement, est la forme mécaniste de l'explication. Il s'agit de la forme explicitée dans la *Critique de la raison pure*, mais ici elle se trouve posée comme une maxime de la faculté de juger réfléchissante. L'autre est celle qui, se trouvant devant l'hétérogénéité et la diversité des lois particulières, et ne disposant pas d'un concept universel offert par l'entendement, doit se donner un principe unifiant par la supposition d'une légalité trouvée dans une cause finale. Il s'agit de la forme typique du jugement réfléchissant. La question est donc, plus profondément, de concilier mécanisme et téléologie. McLaughlin, qui a beaucoup insisté sur cette différence, en effet, considère que le véritable enjeu est de comprendre plus finement ce que Kant veut dire par mécanisme et pourquoi son sens est d'abord explicité dans le cadre des jugements déterminants, comme dans la première *Critique*, et ensuite dans celui des jugements réfléchissants, comme c'est le cas de la première maxime de l'antinomie. Quelle est donc la relation entre le mécanisme exprimé dans la troisième *Critique* et la causalité de la première *Critique* ? Le point central de la solution de l'antinomie se déplace alors de la question du statut du jugement téléologique à l'ambiguïté de l'usage de la notion de mécanisme (Voir aussi Zanetti 1993). En effet, tout au long de l'œuvre critique, une distinction claire entre causalité et mécanisme n'est pas vraiment

stabilisée. Quarfood (2004, 161–166) observe que plusieurs possibilités d'interprétations s'offrent à ce point. La première consiste à dire qu'il s'agit du même principe, mais que Kant a changé d'avis dans le passage de la première à la troisième *Critique*. Il aurait décidé d'abord de lui attribuer un sens déterminant et constitutif pour l'affaiblir ensuite en un simple principe régulateur. La deuxième consiste à dire que le principe est le même, mais qu'il a deux rôles différents. La différence résiderait alors simplement dans la façon d'utiliser ce même principe, d'un côté de manière déterminante, de l'autre de manière réfléchissante. Zumbach (1984), par exemple propose une distinction au niveau du sens de l'explication et non du principe causal. C'est-à-dire que c'est la forme explicative même du principe qui peut être tantôt déterminante, tantôt réfléchissante. La troisième possibilité serait de dire que le concept de mécanisme diffère de celui de causalité, et qu'il ajoute quelque chose à la structure constitutive de la causalité efficiente. McLaughlin (1990), dans ce sens, considère que si le principe de causalité est déterminant, le principe du mécanisme est une maxime régulatrice. La causalité resterait donc constitutive, mais l'explication du tout à partir des parties, explication typique du mécanisme, serait simplement régulatrice et n'empêcherait donc pas la possibilité d'une explication holistique c'est-à-dire des parties à partir du tout, toujours dans un cadre régulateur. Afin de justifier ce point, il propose de reconnaître un glissement de sens du mécanisme de la première à la troisième *Critique*, lieu où celui-ci trouverait finalement son sens plus propre de simple possibilité régulatrice de la causalité (McLaughlin 1990, 154). Il considère que Kant reste accroché à la nécessité d'une explication réductionniste partout, c'est-à-dire que l'explication pour Kant devrait être toujours ramenée à un mécanisme. Il interprète alors la troisième *Critique* comme le lieu où serait établi un standard mécaniste pour toute explication biologique de l'organisme (McLaughlin 1990, 173–174). À partir de ces considérations il interprète la téléologie comme un mécanisme spécifique de l'organisme portant sur la relation entre le tout et les parties. Le fait de parler de mécanisme en termes de maxime régulatrice représenterait une sorte de compromis entre le fait des êtres organisés et la nécessité d'en donner une explication réductionniste et mécaniste. Une autre perspective

analogue dans l'interprétation, présentant toutefois des différences importantes, est celle de Ginsborg (2001) qui considère que le grand problème est de détecter comment il est possible de regarder quelque chose comme une finalité et en même temps comme une circonstance naturelle. Elle conclut que c'est exactement grâce à l'introduction d'une possibilité mécaniste dans les maximes du jugement réfléchissant également, que Kant peut parler d'une téléologie naturelle. Certaines perspectives, dans un esprit transcendantal, considèrent que le concept de fin naturelle est une condition de possibilité de notre connaissance des organismes, malgré le fait qu'elle ne dispose pas d'un pouvoir objectivant (Steigerwald 2006b; Quarfood 2006) .

Notre but ici n'est pas de proposer une solution à chacune des nombreuses questions soulevées dans ce débat, mais de proposer un principe transcendantal. C'est pour cette raison que, tout en gardant à l'esprit les solutions offertes par la littérature, nous allons déplacer notre point de mire du niveau des explications au niveau des principes. Cette esquisse des différentes interprétations a aussi pour but de mettre en évidence quels sont les points principaux de la question afin d'y revenir ensuite, par l'interprétation que nous avons choisi d'utiliser. Il est alors possible de soulever les questions suivantes. Est-il légitime de parler de fin naturelle au sens d'une téléologie naturalisée ? Où faut-il s'en tenir à un plan transcendantal ? Et dans ce dernier cas, est-ce que cela veut dire qu'on n'a pas un bon concept pour l'organisme en raison de son impossibilité constitutive ? Où alors, peut-on trouver une possibilité constitutive transcendantale dans le cas des jugements réfléchissants ? Pour répondre à ces questions nous avons d'abord besoin de reposer le problème de la troisième *Critique* à partir de l'interprétation que nous souhaitons suivre.

#### **6.4 La forme des individus et la formations des concepts**

Il faut tout de suite reconnaître que la lecture dont nous nous servons de la troisième *Critique* n'est certainement pas la plus répandue dans le débat des sciences du vivant, au contraire elle est même explicitement critiquée par certains interprètes

récents. Par exemple Mclaughlin (1990, 138), notamment en raison de l'interprétation de la solution de l'antinomie, considère que Cassirer se trompe en l'attribuant simplement à la confusion entre maximes et jugements déterminants. Nous reviendrons sur ce point pour montrer que l'interprétation de Cassirer se fonde sur un bouleversement du rapport entre la cause, le mécanisme, et la téléologie. Toutefois, la limite de la perspective choisie ici, dans le cadre d'une philosophie de la biologie contemporaine qui a tendance à s'en tenir surtout à la notion d'organisme formulée par Kant, se manifeste aussi par le fait qu'on ne trouvera pas le sens de la troisième *Critique* directement à partir d'une considération sur la possibilité d'une science biologique. En effet cette question trouve son origine dans une divergence importante d'interprétation. La tradition néo-kantienne de Marbourg, en raison de sa prédilection pour la question de la connaissance, a plutôt interprété la question de la téléologie à partir de la dichotomie entre jugements réfléchissant et déterminants dans le cadre plus ample déployé le long de toute la *Critique* kantienne. Cette interprétation a radicalisé l'opposition entre constitutif et réfléchissant en confinant la téléologie à une simple projection subjective sur les organismes. La téléologie perd ainsi tout son pouvoir explicatif potentiel, qui est au contraire recherché par les interprétations plus répandues dans le contexte d'une philosophie de la biologie. Ces dernières perspectives ont plutôt rejeté le point de l'école de Marbourg, trouvant une pertinence plus profonde dans le rapport entre la considération des choses comme fins naturelles et le statut empirique, ou constitutif, des organismes (Par exemple McLaughlin 2015; 1990; Quarfood 2006; 2004; Ginsborg 2006; 2001). Toutefois, l'opposition radicale entre jugements déterminant et réfléchissant est certainement une conséquence de l'interprétation de Herman Cohen et Paul Natorp, mais chez Cassirer les choses sont sensiblement différentes (Philonenko 1989). Si Cohen aborde toute la genèse de la méthode kantienne uniquement à partir de sa réflexion autour de la mécanique newtonienne, donc de la première *Critique* (H. Cohen 2001a), Cassirer affirme sans cesse la primauté de la troisième *Critique* jusqu'à faire pivoter autour d'elle le sens entier de la théorie de la connaissance, élargi petit à petit à une théorie de la culture. Le statut réfléchissant du jugement devient alors le cadre

où s'inscrit le processus constitutif, qui ne se trouve pas affaibli par cela, mais plus précisément élargi à un geste philosophique trouvant, entre autres, la causalité mécaniste parmi ses possibilités. Or, l'importance du jugement téléologique pour les sciences du vivant, et notamment pour la théorie des organismes, n'est certainement pas négligé par Cassirer. Il y reconnaît, au contraire, un point de départ pour la construction de la biologie en tant que discipline autonome et irréductible à la physique et cela est manifeste aussi dans toute sa théorie de l'organisme d'inspiration explicitement kantienne et goethéenne (Cassirer 1995)<sup>56</sup>. Par ailleurs, comme nous le verrons, l'interprétation de Cassirer reste plus large et, nous pensons, met en lumière certains aspects épistémologiques qui peuvent se montrer utiles dans la construction de principes que nous voulons mettre en place. Dans sa riche biographie philosophique de Kant intitulée *Kant Leben und Lehre*, Cassirer (2001a) trace la genèse philosophique du problème du jugement réfléchissant dans le cadre de l'attitude critique. Nous voudrions ici parcourir certains points qui seront éclairants pour notre discussion de la possibilité d'une téléologie transcendante.

#### 6.4.a Le jugement réfléchissant

Afin de comprendre le sens philosophique de l'œuvre, ainsi que son rôle dans le cadre plus ample du criticisme, Cassirer (2001a, 294) suggère de revenir sur la toute première définition que Kant donne du jugement dans la troisième *Critique*, avant même de poser la distinction entre jugement déterminant et réfléchissant : « La faculté de juger en général est le pouvoir de penser le particulier comme compris sous l'universel » (Kant 1995, 158). Ce point n'est pas à interpréter comme une question liée à l'explication. La problématique est plus vaste, comme observe Cassirer, elle est tout de suite installée sur le terrain de la formation des concepts. Le rôle du jugement, en effet, est de rassembler les exemplaires singuliers sous une universalité par laquelle ils sont pensés, c'est-à-dire, précisément, sous le concept. Qu'en est-il donc du rapport problématique entre particulier et universel, mis d'emblée par Kant au centre de l'enquête par sa définition de la faculté de juger en

---

<sup>56</sup> Sur ce point voir aussi (Vasta 2011; Krois 2004).

général ? Pour la science mécaniste de la première *Critique*, le rapport entre universel et particulier posait peu de problèmes, puisque l'universel était donné d'avance par la forme des concepts *a priori*. On lit ainsi dans la *Critique de la raison pure* : « Si l'entendement en général est défini comme le pouvoir des règles, la faculté de juger est le pouvoir de *subsumer* sous des règles, c'est-à-dire de distinguer si quelque chose s'inscrit ou non sous une règle donnée » (Kant 2001, 221). L'entendement, est le pouvoir des règles, parce que les règles lui appartiennent comme formes *a priori* ; le jugement n'a donc qu'à subsumer sous ces règles déjà données. C'est au niveau du mouvement contraire, celui qui va du particulier vers l'universel, que la question devient difficile. Ici ni la forme du concept, ni la règle ne sont données d'avance. Ce n'est plus à l'entendement que cette faculté de juger fait référence. Autrement dit, lorsqu'il s'agit des jugements déterminants, la question est de comprendre comment se couplent, en s'accordant, les formes *a priori* et les contenus de la synthèse de l'imagination issue de l'intuition<sup>57</sup> ; mais lorsqu'il s'agit du jugement réfléchissant, le problème est de trouver la règle transcendantale qui *autorise* de construire une forme générale de concept applicable à des éléments particuliers. La question est posée au niveau de la théorie de la connaissance plus que au niveau du statut des objets issus de ces formes du jugement.

Afin de dévoiler l'enjeu dont il est question ici Cassirer (2001a, 294) montre que dans l'histoire de la philosophie le problème de la formation des concepts dans le mouvement de connaissance qui va du particulier vers l'universel, est intimement lié à la question de la forme du monde. La téléologie métaphysique qui en découle constitue l'horizon problématique dans lequel évolue Kant. Sans entrer dans les détails de l'histoire tracée par Cassirer à ce sujet<sup>58</sup>, il est intéressant de proposer

---

57 Il vaut la peine ici de rappeler la place spécifique que l'imagination a dans la *Critique de la raison pure*. Elle ne fait pas partie simplement de la sensibilité, mais elle porte les contenus issus de la sensibilité tout en étant transcendantale. On renvoie ici au chapitre 1. Sur ce point voir aussi (Palumbo 1984).

58 On renvoie ici aux travaux de Ernst Cassirer sur l'histoire de la formation des concepts où l'on voit la liaison entre le problème de la formation des concepts universaux à partir du singulier et la question de la forme du monde (Cassirer 2001b). Voir aussi (Cassirer 2001a, 294–307).



comment il interprète la façon dont Aristote aborde la question du vivant<sup>59</sup> Cela nous permettra de comprendre la nature conceptuelle, dans le sens profond de son enjeu dans la formation des concepts, de cette problématique téléologique à la fois héritée et bouleversée par Kant.

#### 6.4.b La forme et le but du vivant – La perspective d'Aristote

C'est à partir de sa célèbre théorie des quatre causes (Aristote 2000, 145–148)<sup>60</sup> qu'Aristote aborde la question du vivant. Dans ce contexte il attribue une priorité absolue à deux sortes de causes : le « en vue de quoi » (la cause finale) et le « par nécessité » (la cause formelle). Cela en opposition aux deux autres types de causes (la cause efficiente et la cause matérielle) incapables selon lui de fournir une explication des dispositions anatomiques des animaux (Aristote 2011, 105–107). Selon Aristote, la question du vivant ne peut pas être abordée par le seul biais de la constitution matérielle des organismes, c'est-à-dire à travers la relation entre les propriétés de leurs composantes matérielles. L'explication par les causes matérielles et efficientes donnerait en effet une caractérisation seulement contingente de la morphologie des êtres organisés. La question du vivant, ou plus généralement des entités organisées, n'est pas réductible aux parties matérielles qui les composent<sup>61</sup>. C'est par la forme qu'on a une explication du singulier ; c'est donc en dévoilant le but de cette forme qu'on obtiendra, selon Aristote, une explication universelle des organismes singuliers. Ici l'interrogation porte entièrement sur la façon dont le particulier se rapporte à son universel. Le monde des formes essentielles (logiques,

---

59 Pour une étude détaillée sur la question de la biologie chez Aristote on renvoie ici à (Lennox 2001; Devereux 1990). Sur la question plus spécifique de la téléologie et de la biologie chez Aristote voir (Pellegrin 2008).

60 En résumé, la théorie des quatre causes consiste chez Aristote à s'interroger sur le monde à partir des différentes causalités suivantes : la cause matérielle (la matière qui constitue une chose), la cause formelle (l'essence de cette chose), la cause efficiente (ce qui produit la chose), et la cause finale (ce « en vue de quoi » la chose est faite).

61 Chez Aristote, comme chez Kant, les œuvres d'arts et de la technique aussi ne peuvent pas être réduites aux causes matérielles. Cependant ici pour Aristote la cause formelle et la cause finale ne coïncident pas. Cela parce que dans le cas des œuvres artificielles le but est externe et non pas interne à la chose même. La question pour Kant est bien plus fine puisque, comme on essaye de montrer, la structure du jugement réfléchissant est également pertinente à chaque fois que le sujet s'adresse à la compréhension du *fait de prendre une forme organisée*.

conceptuelles, substantielles) n'est présent dans les phénomènes qu'en tant que force dirigée vers des buts. Il n'est pas détaché des choses comme l'étaient les idées platoniciennes. La forme du concept universel de l'organisme et la forme morphologique de l'organisme sont tout à fait indissociables chez Aristote. La nécessité de l'être organisé, sa forme essentielle, est parfaitement coïncidente avec la nécessité dans laquelle il se trouve d'adopter une certaine forme morphologique et géométrique spécifique : « Or la nécessité signifie tantôt que si cela, le « en vue de quoi », doit être, il est nécessaire que telles choses soient le cas, tantôt que les choses sont telles parce qu'elles ont telle nature (Aristote 2011, 109) ». C'est par cette nécessité que s'articule le rapport entre les parties et le tout. Ce rapport serait en revanche contingent s'il était abordé par les causes matérielles. Il y a donc un lien intime entre les causes formelles et les causes finales. Un lien qui se manifeste dans l'articulation du rapport entre le tout et ses parties ainsi que dans le rapport, du même genre, entre la forme universelle et sa manifestation particulière. Or, observe Cassirer, le moyen terme entre le particulier et l'universel et entre la matière, morphologique, et la forme substantielle est la notion de développement. Cassirer (2001a, 295) montre qu'il s'agit d'un lien entre la caractéristique géométrique de la structure propre des êtres organisés (la forme au sens morphologique) qui, n'étant pas déjà sa propre substance universelle, *tend* vers le type général du concept (la forme au sens formel). La tendance vers l'universel s'accomplit dans le particulier, par sa propension à adopter une forme organisée guidée par des buts internes. Chez Aristote la forme du singulier organisé est affectée du double sens de formelle et de morphologique. Ce concept de développement, qui chez Aristote est aussi bien formel, parce qu'il relie le particulier vers l'universel, que connecté au devenir organique, retrouve par exemple son sens purement formel dans le néoplatonisme par l'idée d'une dérivation substantielle dans la forme métaphysique de l'émanation. Mais c'est précisément dans ce contexte philosophique que, pour la première fois, se relient les notions du beau et de l'organisme. Les deux ont leur origine commune dans le problème de la forme. C'est le *nexus* de la forme qui relie la génération de l'organisme et la génération de l'œuvre d'art.

Il faut pouvoir tenir compte de cet antécédent historique pour comprendre la théorisation kantienne puisque, comme on l'a vu, chez Kant la question se déplace du côté de la formation du concept universel à partir du particulier. C'est à ce moment théorique, nous pensons, qu'il intègre la question morphologique, au sens de la géométrie des formes organisées, en se donnant un principe de construction pour les appréhender. Cassirer (2004a, I:152), observe que, si dans la première *Critique* la possibilité de la connaissance de la nature semblait exclure toute autre forme de connaissance ; toutefois dans la troisième *Critique* Kant propose une légalité propre au plan de la méthode en biologie.

#### 6.4.c Le renversement critique de la question

On peut à présent revenir sur le sens théorétique du jugement réfléchissant. Lorsque Kant introduit la question du vivant à l'intérieur du jugement de type réfléchissant, d'après Cassirer (2001a, 303–305) il assume cette proximité de sens entre la forme conceptuelle, par laquelle on pense le vivant, et la forme morphologique *réelle*, que le vivant adopte. Il hérite cette conception mais, de façon cohérente avec le programme méthodologique de la perspective critique, il renverse la question. Il ne se propose pas de trouver les conditions de l'existence des structures finalistes et téléologiques à l'intérieur de la nature. Au lieu de cela, comme l'explique Cassirer, Kant essaie d'établir la direction typique que prend notre raison lorsqu'elle juge un être en tant qu'être tendant vers une fin. Kant admet le lien profond entre la forme et le but, mais cette fois la coïncidence se manifeste dans la formation du concept universel de l'être organisé. Autrement dit, elle se manifeste à l'intérieur de la forme (au sens formel) d'une connaissance possible. Le renversement typique du criticisme consiste précisément à avoir détaché le concept de finalité de son statut ontologique. Celui-ci ne se voit plus conférer une existence métaphysique dans la nature. Il devient un instrument que le jugement utilise dans le processus d'objectivation.

Cassirer (2001a, 293), en introduction du problème de l'unité de la troisième *Critique* observait que le procédé fondamental de la méthode transcendantale de Kant est de poser un fait et de s'interroger sur ses conditions de possibilité. Pour ce qui est de la *Raison pure*, le fait est représenté par la forme et la structure des mathématiques et de la physique mathématique. La *Raison pratique* trouve quant à elle son fait dans le comportement partagé des êtres rationnels et dans les critères communs d'évaluation morale. Dans le domaine de la *Faculté de juger*, il peut maintenant répondre que le fait auquel s'adresse le questionnement transcendantal est l'acte d'assumer une forme organisée, qu'on retrouve aussi bien dans l'art que dans les organismes vivants. La question centrale réside donc ici dans la recherche des conditions de possibilité pour penser ce mouvement vers les formes (morphologiques) individuelles et organisées, par un mouvement des formes (conceptuelles) universelles. La finalité se trouve à l'intérieur de la structure du jugement comme condition de possibilité de la construction d'une règle pertinente pour un processus de connaissance allant du particulier vers l'universel. Si pour Aristote la forme essentielle et logique de l'organisme guidait la forme morphologique, parce qu'elle était présente aux phénomènes en tant que force agissante, ici les deux aspects de la notion de forme se constituent mutuellement à l'intérieur de la formation des concepts. Cela signifie que c'est la forme finaliste *formelle* du concept en tant que règle qui structure le possible rapport morphologique entre le tout et ses parties dans les êtres organisés. Mais à l'inverse c'est à partir de l'impression de la forme morphologique des êtres organisés que le jugement structure sa forme conceptuelle pour en faire une règle. En bref, la téléologie constitue la forme du concept indispensable pour penser le vivant. À l'intérieur de cette perspective la finalité n'est pas présente dans les phénomènes en tant que cause existante dans la nature, mais elle n'exprime pas non-plus l'aveu d'une impossibilité de connaître la nature vivante. Elle relève de la faculté de juger réfléchissante qui est le mouvement de la connaissance qui va du particulier vers l'universel.

Dans ce sens on peut comprendre comment la perspective épistémologique unifie la troisième *Critique* (Garroni 1976, 16–19). Le lien entre le jugement esthétique et le jugement téléologique, selon cette perspective, se manifeste dans la spécification d'un principe ayant son origine dans le fait d'être un jugement réfléchissant (Dumouchel 1994). La spécification de principes universels pour les êtres organisés passe par la structuration, autour de la logique téléologique, d'une règle que le jugement se donne à lui-même. C'est précisément en ce sens que le jugement est réfléchissant, parce qu'il se donne un principe en lui donnant forme autour du particulier. Ce principe ne subsume pas simplement le particulier comme le faisait le jugement déterminant, puisque c'est autour de lui qu'il s'est constitué. Sa légitimité n'est pas objectivante au sens fort puisque, si c'était le cas, la finalité, si soigneusement et finement soustraite à la nature pour lui donner un sens transcendantal, retomberait immédiatement dans les êtres eux-mêmes. Sa légitimité est cependant régulatrice au sens d'une règle de l'entendement construite par le jugement lorsque celui-ci porte sur le *fait de prendre une forme organisée*. Pour mieux comprendre cette perspective il est possible de considérer que les jugements déterminant et réfléchissant ne sont peut-être pas deux types de jugements complètement opposés qui occupent deux places différentes à l'intérieur des facultés de l'homme. Ces deux jugements s'articulent comme deux mouvements opposés de la même faculté unificatrice qui est le pouvoir de synthèse *a priori* (Garroni 1976). Il ne faut pas ici oublier la manière dont la faculté de juger est présentée dans la première *Critique* et surtout le rôle qu'elle occupe par rapport à l'entendement : « Si l'entendement en général est défini comme le pouvoir des règles, la faculté de juger est le pouvoir de *subsumer* sous des règles, c'est-à-dire de distinguer si quelque chose s'inscrit ou non sous une règle donnée » (Kant 1995, 221). Essayons, comme on vient de le suggérer, d'approcher cela par le biais du jugement réfléchissant tel qu'il est décrit dans la troisième *Critique* : « ... si seul le particulier est donné, pour lequel l'universel doit être trouvé, la faculté de juger est *réfléchissante* ». La faculté de juger s'organise autour de l'articulation de l'universel et du particulier et selon cette perspective elle adopte un mouvement différent. Dans le cas d'une

connaissance qui trouve le particulier à travers l'universel, le jugement structure l'appréhension du particulier par la règle de l'universel. Au contraire lorsqu'il s'agit, comme c'est le cas de la biologie, d'une connaissance qui part du particulier pour aller vers l'universel, alors le jugement doit constituer la règle. Il lui faut trouver l'universel, c'est-à-dire supposer une nouvelle légalité de la nature ; mais une légalité qui reste contenue dans le jugement en tant que règle. Le mouvement réfléchissant du jugement est en somme le processus de connaissance qui procure un concept universel à une image particulière<sup>62</sup>. Par ailleurs, nous avons aussi découvert que ce dernier processus se manifeste par la notion de *développement*. Il s'agit d'une *tendance* vers la forme. Le jugement réfléchissant ne porte pas sur la forme organisée, mais sur le *fait de prendre une forme organisée*. Il est donc nécessaire de reconnaître cette dynamique du développement aussi bien du côté de la *tendance* à une forme morphologique, que du côté de la *tendance* à une forme conceptuelle. Une espèce d'instabilité de la forme, toujours en transformation (dans le sens de passer d'une forme à une autre) semble ouvrir à la possibilité d'appréhender la variabilité (selon les types circulaires de la causalité mentionnés auparavant), plus que la stabilité des formes. Cette possibilité se *réfléchit* sur la construction des concepts qui, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, doivent porter cette dynamique de la *transformation* dans le sens d'une *réorganisation permanente*. Dès lors, loin d'être inadéquate pour devenir une science au sens du criticisme, la biologie nécessite un procédé d'application des relations causales distinct du jugement déterminant. Ce procédé est le mouvement réfléchissant de la faculté de juger. Il s'agit d'un principe indispensable à la compréhension de la structure particulière des êtres organisés, la causalité mécaniste n'étant pas capable de rendre compte de la spécificité du *fait d'adopter une forme organisée*.

Le problème, donc, est centré autour de la théorie de la connaissance et de la question des concepts, et non pas autour du statut empirique et de l'explication du vivant. Il s'agit d'un point important et assez divergent de la perspective de Cassirer

---

62 Sur ce point voir l'introduction de Philonenko à (Kant 1993, 9–12).

parmi toutes les perspectives sur Kant que nous avons mentionnées plus haut. Par ailleurs, nous pensons que ce point de vue met en évidence plus précisément la question problématique qui ne se déroule pas tant au niveau de l'explication, mais au niveau de la construction de principes, par lesquels ensuite il est légitime de déployer une explication. Nous avons détecté dans ce cadre certains points fondamentaux qui nous semblent pertinents pour la théorisation en biologie et qui se somment aux éléments déjà explicités dans la notion d'organisme. Le premier est la singularité du vivant, en opposition à l'objet physique. L'autre point pertinent est la prise en compte de la recherche d'universalité au niveau de la trajectoire de l'événement consistant à *prendre une forme*. Nous apercevons ici un changement majeur par rapport à l'objet de la physique, dans le contexte kantien. Si l'objet physique est dans le cadre des facultés de l'universel, parce qu'il est constitué par des concepts universels, l'organisme est dans le domaine des facultés du particulier et c'est par la tendance à une forme conceptuelle et morphologique qu'une universalité est à trouver. Or, une fois détectés ces points fondamentaux il reste à se demander si un principe déterminant est possible en biologie, alors que chez Kant il est, semble-t-il, nié.

### **6.5 Causalité et détermination en biologie**

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 3, le problème de la causalité s'est posé en physique à la suite de l'instauration des nouveaux cadres théoriques de la mécanique statistique et quantique. Cassirer, en réponse à ces nouveaux cadres théoriques comme nous l'avons vu, déplace le principe de causalité d'un domaine constitutif à un domaine réfléchissant par la prise en compte de son statut régulateur. Il convient ici de rappeler brièvement ce processus, que nous avons examiné auparavant. Tout d'abord il y a une différence entre les principes et les lois. Les lois, étant des énoncés autour des phénomènes, sont subordonnées aux principes, qui, eux, sont des règles en conformité desquelles les lois peuvent être établies (Cassirer 2004b, 65). Or, au principe de causalité est attribué une place encore plus abstraite. Cassirer l'interprète comme une maxime parce qu'il représente une idée régulatrice

projetée sur la nature qui permet d'attribuer une uniformité aux phénomènes. Le fait d'avoir détecté cette nature régulatrice du principe de causalité afin d'en étendre les possibilités, et non pas de lui interdire une détermination, permet de comprendre, dans le cadre de la physique statistique et classique, comment une légalité de la moyenne des variables est trouvée *malgré* l'indéterminisme au niveau élémentaire. Comme nous l'avons dit, cet indéterminisme est interprété par Cassirer comme l'impossibilité dans laquelle se trouve la théorie d'exercer un pouvoir déterminant au niveau qu'on attendrait dans le cadre de la mécanique classique, mais il serait faux de d'assigner les propriétés indéterministes à la nature même des objets. C'est précisément dans les possibilités déterminantes du sujet, grâce à la projection du principe régulateur de causalité, qu'une légalité de la nature se manifeste encore, mais à un autre niveau. Le principe de causalité, pour résumer, doit, donc, être compris dans le sens d'une assertion transcendantale légitime seulement lorsqu'elle concerne notre forme de connaissance et non pas les objets. Mais sa nature régulatrice en fait un principe ni rigide ni fixé. La seule chose fixe, selon cette perspective, est la recherche d'une légalité de la nature et c'est uniquement en cela qu'intervient un principe de causalité, conçu et élargi à un simple principe de conformité à une loi. Dans ces conditions, le principe de causalité manifeste toute sa souplesse dans l'exigence de conformité à une loi, comme le montre d'ailleurs le passage de la physique classique à la physique statistique et quantique. Pour revenir à Bachelard :

Nous dirions plus généralement que le principe de causalité se subordonne à ce que la pensée objective exige et qu'en cela il peut bien être dit encore la catégorie fondamentale de la pensée objective. (Bachelard 1991, 115)

D'après notre analyse, il nous semble possible de dire que la pensée objective en biologie exige une causalité téléologique. Cela veut dire, pour rester dans un parallèle avec le processus d'extension de la causalité détecté dans la physique, que si dans la mécanique classique la détermination était au niveau des objets singulier, à partir de la mécanique statistique la détermination se produisait dans des comportements moyen, et en biologie une détermination se produit au niveau des



*réorganisations* des organismes. Dans le chapitre suivant nous expliciterons les conséquences conceptuelles de cet aspect pour l'objectivation en biologie. Le parallèle avec la mécanique statistique nous permet d'explicitier quelque chose de vraiment important au niveau du statut des objets. S'il peut paraître naturel d'attribuer une valeur ontologique, ou simplement un statut d'observable si cela semble moins engageant, aux objets de la mécanique classique, cela devient bien plus problématique au niveau des comportements moyens et des états de systèmes qui constituent les objets légitimes de la physique statistique et quantique. Cela nous force à reconnaître le statut constitutif des objets de la science en général, dans la mesure où ils dépendent du niveau de détermination porté par la théorie. Il en est de même pour les dynamiques des organismes, qui selon notre perspective ne sont pas des éléments d'ontologies ou plus proprement des observables, mais simplement les lieux où la détermination en biologie s'avère. Et ce regard permet aussi de résoudre tout problème métaphysique, probablement non neutralisé tant qu'on en reste au niveau des observables (parce qu'on pourrait être amenés à dire qu'on observe de la téléologie dans les organismes, ce qui produirait un engagement métaphysique très dangereux), puisque ici la téléologie est la forme même de la détermination. C'est dans ce sens qu'il nous semble pertinent de proposer une notion transcendantale de la téléologie.

D'autre part, comme nous avons essayé de le montrer, le problème que soulève la téléologie ne semble jamais définitivement résolu. Tantôt la biologie fait appel à la notion de programme, tantôt elle naturalise la téléologie par la prise en compte de l'organisme, qui, comme nous l'avons vu, porte une structure théorique de nature téléologique. On pourrait simplement répondre, en accord avec un large courant de pensée, que la théorie de l'évolution offre la solution définitive dans la mesure où elle semble expliquer la téléologie par la structure mécaniste de son explication. Or, Cassirer montre que la fécondité de la théorie de l'évolution réside précisément dans le fait de n'avoir pas renoncé à une causalité téléologique critique, c'est-à-dire à la téléologie prise comme principe régulateur. D'après Cassirer, en

## CHAPITRE 6 LA LOGIQUE DES ÊTRES VIVANTS : LE JUGEMENT TÉLÉOLOGIQUE

effet, c'est précisément à l'intérieur même de la genèse de la théorie de Darwin que s'accomplit un passage d'une téléologie métaphysique à une téléologie critique<sup>63</sup>. Il s'agit d'un passage du même type que celui, détecté ailleurs, qui allait de la substance à la fonction ; mais ce qui est intéressant c'est que pour Cassirer ce passage s'accomplit à l'intérieur de la pensée même du naturaliste anglais. En effet, lorsque Darwin admet :

Néanmoins je n'ai pas, autrefois, suffisamment appuyé sur l'existence de beaucoup de conformations qui, autant que nous en pouvons juger, paraissent n'être ni avantageuses ni nuisibles ; et c'est là, je crois, l'une des omissions les plus graves qu'on ait pu relever, jusqu'à présent, dans mon ouvrage. Qu'il me soit permis de dire comme excuse que j'avais en vue deux objets distincts : le premier, de démontrer que l'espèce n'a pas été créée séparément, et le second, que la sélection naturelle a été l'agent modificateur principal, bien qu'elle ait été largement aidée par les effets héréditaires de l'habitude, et un peu par l'action directe des conditions ambiantes. Toutefois je n'ai pu m'affranchir suffisamment de l'influence de mon ancienne croyance, alors généralement admise, à la création de chaque espèce dans un but spécial ; ce qui m'a conduit à supposer tacitement que chaque détail de conformation, les rudiments exceptés, devait avoir quelque utilité spéciale, bien que non reconnue. Avec cette idée dans l'esprit, on est naturellement entraîné à étendre trop loin l'action de la sélection naturelle dans le passé ou dans le présent. Quelques-uns de ceux qui admettent le principe de l'évolution, mais qui rejettent la sélection naturelle, paraissent oublier, en critiquant mon ouvrage, que j'avais les deux objets précités en vue ; donc, si j'ai commis une erreur, soit, ce que je suis loin d'admettre, en attribuant une grande puissance à la sélection naturelle, soit, ce qui est probable en soi, en exagérant cette puissance, j'espère au moins avoir rendu quelque service en contribuant à renverser le dogme des créations distinctes. (Darwin 1891, 89)<sup>64</sup>

Cassirer (1995, IV:212) y détecte la renonciation définitive à toute téléologie métaphysique et son remplacement par une structure dynamique critique de la téléologie, une téléologie sans optimisations et sans fins. La notion d'évolution, libérée de toute dérive anthropomorphe liées à une idée de *direction*, met en place cette légalité nouvelle, cet ordre alternatif au mécanisme qu'est l'ordre dynamique qu'on pourrait provisoirement appeler de la co-constitution. Mais c'est en se couplant avec la morphologie, notamment d'inspiration Goethéenne<sup>65</sup>, que Cassirer voit

---

63 Ici il paraît important de rappeler que Cassirer, juif allemand exilé d'abord en Suède et après aux États-Unis à cause du nazisme, fut particulièrement dur et intransigeant contre toute interprétation anthropomorphe et sociale du darwinisme et notamment contre la notion de sélection naturelle comme survéance de l'espèce meilleure (Vasta 2011; Krois 2004), mais il a lui-même reconnu qu'il n'est pas légitime d'attribuer ses dérives à la théorie darwinienne.

64 En partie cité dans (Cassirer 1995, IV:212–213).

65 L'analyse de connaissance biologique de Cassirer est très vaste et s'accomplit dans une anthropologie culturelle où la notion morphologique occupe une place de premier ordre, cette

s'accomplir la possibilité d'une science critique, transcendantale, des organismes : une morphologie dynamique qui n'est pas un fait mais un autre type causal, une autre forme de légalité demandée à la nature. En effet, le philosophe reconnaît à Goethe le mérite d'avoir inventé une nouvelle catégorie scientifique, radicalement différente des catégories de la physique : la catégorie de morphologie. Et par ailleurs, Cassirer, tout en restant profondément inspiré par la perspective de Goethe, lui reproche de nier la possibilité d'une mathématique pour ce type de compréhension (Cassirer 1995, IV:189).

Quel devrait-donc être le rôle des mathématiques envers cette nouvelle légalité appliquée à la nature ? Comme nous l'avons dit, les mathématiques dans notre perspective ont un rôle de construction des concepts. Mais, nous avons découvert une forme de connaissance différente pour la biologie, par rapport à celle qui consistait à appliquer des concepts donnés par l'entendement, selon le langage kantien. Là, dans le domaine de la première *Critique*, c'était le schématisme transcendantal qui garantissait la construction des concepts<sup>66</sup>, grâce au fait qu'il est fondé sur le pouvoir de l'imagination productrice, activité spontanée capable de déterminer *a priori* la sensibilité en correspondance avec les catégories. Ce pouvoir de la faculté de connaître avait pour rôle d'exhiber la règle de la représentation, règle univoque et stabilisée dans la formation du concept dans la synthèse *a priori*. Mais quel serait donc l'élément exhibant la même règle de représentation, dans un mouvement de la connaissance qui va du particulier vers l'universel ? Ici, selon notre perspective, la règle de la représentation est à chercher dans la nature singulière et dynamique des êtres organisés comme ils se présentent : non pas dans la forme d'une ontologie renouvelée, ou naïvement dans le fait de l'avoir observé, mais dans la réciprocité de la relation avec les objets qui est, d'après Cassirer (1972), symbolique. Autrement dit, c'est par les conséquences intuitives des dynamiques des êtres

---

notion, chez l'auteur est profondément inspirée de Kant et de Goethe. Il n'est pas possible ici de prendre en compte entièrement la richesse de la philosophie de Cassirer à ce sujet, on renvoie à (Cassirer 1995; Cassirer 1991a).

66 Voir chapitre 1.

organisés, dans le sens de l'intuition que nous avons reconnu à la perspective transcendantale, que les règles de représentation peuvent être exhibées. Mais, nous explorerons dans le chapitre suivant que cela entraîne une autre grande différence de l'objectivation en biologie par rapport à la physique. Cette différence réside dans l'instabilité de la construction des concepts pour la biologie en raison de la dynamique de *réorganisation*. Dans ce sens, comme nous le verrons, une objectivation au sens de la physique ne se réalise pas, mais il convient de changer la notion même d'objectivation et d'objet pour la biologie. Il convient, en effet, de reconnaître dans ces deux notions cette dynamique de la *réorganisation*.

## 6.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé d'esquisser la problématique de la téléologie dans le débat en philosophie de la biologie, notamment en référence à la notion d'organisme chez Kant. Nous avons vu que celle-ci est souvent traduite en description empirique, ou en forme d'explication, pertinente pour le vivant en raison de son autonomie vis-à-vis de l'explication simplement physique. Nous avons, par ailleurs, essayé de réfléchir à son statut de principe, dans le sillage de la perspective transcendantale que nous nous sommes donnée. Nous avons, par ce parcours, découvert la possibilité de détecter un principe causal alternatif à la causalité mécaniste qui se manifeste comme l'exigence d'une nouvelle légalité de la nature. Nous nous sommes ainsi interrogés autour du statut des mathématiques, par rapport à cette nouvelle structure causale régulatrice. Dans le chapitre suivant nous allons prendre en compte une perspective qui propose une réorganisation des principes constructifs pour la biologie. Nous identifierons dans cette réorganisation la mise en place du rôle constructif du principe que nous avons détecté. Notamment nous essayerons de coupler conceptuellement la spécificité de la *réorganisation* formelle et morphologique que nous avons trouvé dans le jugement téléologique avec le cadre de la *criticité étendue*.



## CHAPITRE 7

### LA SINGULARITÉ DU VIVANT

#### 7.1 Introduction

Le but de la partie précédente de notre travail était de reconnaître une place transcendantale *a priori* légitime pour un type spécifique de causalité qui semble bien être très pertinent dans la théorisation biologique : le principe de causalité téléologique. Nous avons montré le rôle régulateur de la maxime de la causalité en général, en tant que principe qui exige une conformité à une loi. Nous avons, ensuite, essayé de reconnaître la téléologie, issue de la formulation kantienne, comme une des possibilités causales de la pensée objective, alternative au mécanisme. Or, ces alternatives, dans le jeu de la construction des concepts pour parler de la nature, ne s'excluent pas mutuellement. C'est précisément en ce sens que l'on peut comprendre la solution que Cassirer (2001a) offrait de l'antinomie kantienne, considérée, comme nous l'avons vu, insuffisante par McLaughlin (1990). Pour Cassirer l'antinomie entre le concept téléologique et la causalité mécaniste disparaît dès qu'on pense les deux comme deux modes d'ordre possible, par lesquels nous essayons de parvenir à l'unité du divers. De cette manière, d'après Cassirer, l'harmonie entre deux maximes complémentaires et compatibles, correspondant à deux ordres de la raison, prend la place d'une dichotomie métaphysique autour de l'existence de ces ordres dans la nature. Grâce à cette démarche la téléologie n'est plus une force interne à la nature, ni transcendante, comme c'était le cas pour Aristote ou pour Leibniz, mais elle n'est pas

non plus l'*asylum ignorantiae*, c'est-à-dire le refuge de la pensée qui ne peut pas expliquer les choses, comme le pensait Spinoza (Cassirer 2001a, 305). La téléologie correspond à une structure causale conceptuelle, ou plus précisément, à un principe d'ordre en conformité duquel on peut parvenir à une constitution objective des phénomènes organisés. D'autre part nous avons mis en évidence, notamment grâce à une histoire critique de la notion de cause en physique, que la causalité efficiente n'est pas plus *réelle* ou *présente dans la nature* que d'autres types de légalité possibles. Selon la perspective que nous avons tenté de déployer dans ce travail, la causalité réside dans la forme de la connaissance et n'est pas une propriété des objets et non plus une relation ontologique entre les objets. Il devient donc admissible de reconnaître que d'autres principes d'ordre puissent se montrer plus pertinents pour les sciences du vivant. Or, il est important de le préciser, la spécificité de la forme causale téléologique ne correspond pas simplement à un type alternatif d'explication. Si c'était le cas, on devrait pouvoir reconduire cette forme explicative au principe causal efficient et mécaniste, mais cette réduction nous a paru tout à fait problématique. En effet, les explications sont subordonnées aux principes. Le fait d'avoir trouvé un rôle de la téléologie au niveau des principes organisateurs, nous permet de mettre en place, ensuite, un ensemble de structures conceptuelles, de lois, de mesures, d'observables pertinents, conformes à ce principe, et donc aussi une forme explicative.

Nous avons déjà vu comment la théorie de l'évolution peut être interprétée comme une représentation des phénomènes du vivant conforme, précisément, à ce principe. Lorsque la théorie de l'évolution renonce à une finalité interne, donc à toute idée d'adaptation par optimisation, et prend en charge la contingence des phénomènes évolutifs, elle ne renonce par pour autant à une explication théorique. Elle impose un ordre à l'interprétation qui se structure selon une logique du type de la co-constitution, de l'organisation, de son maintien, de l'adaptation, mais ne déduit pas, pour autant, des fins ontologiquement présentes dans la nature, ou externes et transcendantes. Pour reproduire à nouveau un parallèle avec la mécanique statistique

on peut remarquer que, face à l'indéterminisme au niveau microscopique, elle ne renonce pas à une représentation théorique, mais impose une nouvelle légalité sur les comportements selon la forme du probabilisme. Par ailleurs, elle n'en déduit pas un indéterminisme intrinsèque à la nature. Cette affirmation dépasserait considérablement le domaine d'une théorie scientifique et obligerait à se pencher vers une métaphysique de la nature.

Or, une fois affirmé la fécondité d'un principe causal téléologique, nous voulons, dans ce dernier chapitre, interpréter un possible processus de construction d'un ensemble de principes d'ordres spécifiques pour la biologie, à partir de ce type de légalité que nous avons explicité. Nous allons essayer de parcourir ce processus par la prise en compte de la démarche théorique adoptée et développée par Bailly, Longo et Montévil. Cette approche, comme nous allons le détailler par la suite, établit une comparaison par dualités et oppositions conceptuelles entre physique et biologie jusqu'à montrer un renversement des observables de la biologie par rapport à la physique et une nécessité de principes de constructions différents et spécifiques pour la biologie. Autrement dit, par la prise en compte du processus de construction conceptuelle que les mathématiques exercent sur la physique, cette perspective propose une réorganisation des principes pertinents pour la biologie.

Cependant, avant de progresser dans le développement de notre thèse, il sera indispensable de revenir rapidement sur certains résultats théoriques de notre travail afin de préciser notre langage et de le préparer au type d'analyse que nous allons entreprendre dans ce chapitre conclusif. Nous avons, jusqu'à présent, parlé de téléologie comme d'un principe *a priori* et transcendantal. Nous avons aussi identifié son pouvoir constructif dans le fait de produire, par le biais des mathématiques, un ensemble de concepts organisateurs. Nous avons précisé que les mathématiques sont synthétiques. En définitive, nous avons expressément choisi de rester dans le cadre d'un langage kantien. C'est, en effet, à partir de ce cadre que nous avons pu repérer philosophiquement les points essentiels à notre théorisation. Nous pouvons, à présent, essayer de nuancer notre langage, peut-être inconfortable pour la biologie,



puisque lorsque l'on parle de *principe téléologique* on est toujours contraints de préciser dans quelle mesure et par quel processus on s'écarte d'une correspondance métaphysique et selon quelles conditions ce principe peut avoir une validité objective.

Une fois cette tâche accomplie, nous aurons les éléments spécifiques pour parcourir le processus de construction mathématique dont nous avons parlé, proposé par la démarche de Bailly, Longo et Montévil. Nous discuterons, tout d'abord, l'inversion entre généralité et spécificité dans le passage de la physique à la biologie. Ensuite nous prendrons en compte certains résultats de cette approche comme la criticité étendue et la géométrie du temps. Au cours de ces analyses nous montrerons précisément un ensemble de procédés théoriques en conformité avec le principe que nous avons mis en évidence.

### 7.2 Principe d'intelligibilité

Notre analyse nous a permis de faire émerger certains points spécifiques de ce principe ainsi que de son processus constructif. Nous allons les expliciter afin de les considérer par delà le langage kantien.

#### 7.2.a Mathématiques synthétiques et *a priori*

Afin de définir ultérieurement notre principe téléologique, nous allons tout d'abord clarifier et stabiliser son statut dans le processus de la connaissance. Si dans le langage kantien nous étions en présence d'une maxime, c'est par le tournant de Cassirer que nous avons reconnu une validité de principe *a priori* déterminant à cette maxime. Or, il convient de le rappeler ici, dans la première partie de ce travail nous avons constaté qu'un principe *a priori*, déjà pour Kant, n'est pas un principe inné et immuable. Par la prise en compte d'une histoire critique des évolutions des concepts en physique, il nous a paru clair que les *a priori* ont une nature plastique et se conforment aussi bien historiquement que en co-constitution avec l'intuition.

Autrement dit, si chez Kant les *a priori* étaient des dispositions formelles du sujet pouvant être modifiées par la représentation d'un objet, après la prise en compte de la perspective de Cassirer nous pouvons dire que ces dispositions formelles se constituent mutuellement dans l'acte même de représenter. C'est-à-dire, plus précisément, que les formes de représentation ne sont pas indépendantes des objets de la représentation et *vice versa*. Or, si nous insistons sur cet aspect c'est parce que il devient crucial dans un cadre comme le nôtre où nous nous proposons de rechercher le rôle des mathématiques dans ce processus. Il est, en effet, indispensable de reconnaître cette réciprocity pour les mathématiques aussi.

Nous avons déjà, en partie, explicité le fait que la construction des concepts des mathématiques est un processus synthétique et non purement analytique. Dans le premier chapitre, nous avons précisé cette différence importante par la prise en compte de l'opposition kantienne entre logique générale et logique transcendantale. Par cet avertissement nous avons voulu nier toute possibilité d'une formalisation pure, logique, de la physique et a fortiori de la biologie. Cette possibilité, en effet, nous paraît hautement inappropriée à une science empirique comme la biologie. Il convient donc d'explicitier plus précisément, tout en progressant dans notre but de nuancer notre langage, ce qu'est le caractère synthétique des mathématiques. Nous allons, par cela, avancer d'un pas vers la démarche théorique que nous voulons prendre en compte dans ce chapitre.

La caractérisation de *synthétique* donnée par Kant aux mathématiques permettait déjà de comprendre la nature de ce processus et sa connexion intime avec l'activité même de la représentation. Nous avons vu dans le deuxième chapitre que, par la doctrine du schématisme, Kant met en évidence dans l'exposition d'une règle de construction le caractère d'universalité du concept mathématique. Pour cette raison, ce concept est aussi bien concerné par l'activité de la représentation, que par la stabilisation de cette activité. Autrement dit, d'un côté il se co-constitue par l'interaction avec le geste de la représentation, de l'autre côté il élève ce geste à une règle de représentation qui devient, par cela, universelle.

Or, sans entrer dans le débat des fondements des mathématiques, parce que cela dépasse les buts de ce travail, il paraît cependant important de reconnaître le sillage de cette position synthétique dans les développements suivants des orientations plutôt phénoménologiques et constructivistes des mathématiques qui sous-tendent la perspective explicitée dans ce chapitre. Notamment, la liaison se fait par Husserl (1974) qui souligne avec vigueur, explicitement inspiré par Kant, cette dynamique synthétique et constructive, au sens transcendantal, des mathématiques. Le point important pour notre travail est à reconnaître dans le fait que ces perspectives dévoilent le caractère mobile et plastique de la construction et de la stabilisation des concepts mathématiques, par la prise en compte des processus cognitifs, de l'historicité et de l'intersubjectivité, en opposition à une vision rigide formelle, ou platonicienne à la Frege<sup>67</sup>, où toute analyse des processus de la genèse de ces concepts est, par principe, accusée de psychologisme (Longo 2003). Cette position, tout à fait voisine de l'attitude de Cassirer qui est de reconnaître dans les mathématiques, ainsi que dans toute manifestation de la pensée objective, le rôle des pratiques culturelles (Voir sur ce point Lassègue 2003), est d'importance capitale pour comprendre le rôle constructif des mathématiques dans la perspective que nous essayons de produire ici. C'est, en effet, aux mathématiques conçues de cette manière qu'est confié le rôle du repérage d'invariants et de régularités et de leur stabilisation dans des concepts<sup>68</sup>. Ici on reconnaît précisément les deux aspects, respectivement, du *synthétique* et de l'*a priori*. Le repérage des récurrences pertinentes revient au côté d'interaction et de co-constitution des concepts mathématiques avec la perception et la représentation ; alors que le côté universel ressort du fait que les mathématiques sont le lieu où ces régularités se posent, se cristallisent et se stabilisent, constituant, ainsi, les instruments de la pensée objective. Il est important de préciser ce point, car, autrement, la source théorique de la perspective que nous prenons en compte ici ne

---

67 Voir chapitre 2.

68 Nous verrons par la suite qu'en biologie il est possible de réfléchir à ce processus de manière sensiblement différente que pour la physique, en raison du mouvement entre particulier et universel comme nous l'avons déjà esquissé par la prise en compte de la perspective kantienne en biologie. On renvoie au chapitre 6.

serait pas compréhensible (Bailly et Longo 2006, chap. 1). En effet, réorganiser les principes et les concepts pour les sciences du vivant par une transition conceptuelle à partir du rôle que les mathématiques portent en physique n'aurait aucun sens si on considérait les mathématiques comme une collecte d'éléments simplement fixes dans l'abstrait. Nous avons donc éclairci, dans le sens le plus large possible, le côté synthétique et *a priori* des mathématiques.

### 7.2.b Schématisme transcendantal, principe causal et symétries

Nous avons amplement discuté le sens élargi de principe régulateur qu'il convient d'attribuer à un principe causal en général. Un principe causal correspond donc à un principe qui exige une conformité à une loi. Par ailleurs, afin d'explicitier encore mieux les éléments pertinents pour caractériser notre principe, il convient de considérer que la notion même de loi causale en physique a, de plus en plus, été absorbée et substituée par la notion de symétrie (Van Fraassen 1994). Une loi physique, en ce sens, n'est pas une régularité intrinsèque à la nature, mais plutôt l'expression d'une géodésique (principe de moindre action) dans un espace mathématique adéquat<sup>69</sup>. Cet espace, comme nous l'avons dit dans le troisième chapitre, ne se limite pas à l'espace intuitif proche de la géométrie euclidienne. Il s'agit, bien au contraire, d'un espace mathématique abstrait construit de manière à être pertinent pour décrire les déterminations des trajectoires des phénomènes physiques (par exemple l'espace-temps riemannien pour la relativité et l'espace de Hilbert pour la mécanique quantique). Un cadre de symétries, et de brisures de symétries, se situe au niveau de cet espace abstrait et représente alors la façon dont on rend intelligibles les phénomènes en question par le repérage de certaines stabilités par rapport à des transformations (Bailly et Longo 2006, chap. 4). Autrement dit, c'est par l'exposition des symétries et des brisures de symétries qu'on produit une limitation convenable à la constitution même de l'objet, par la prise en compte des invariants par rapport à un groupe de transformation. Cette limitation a

<sup>69</sup> C'est à partir du théorème de Noether que s'établit une corrélation entre les symétries (et donc les invariants mathématiques) et la conservation des grandeurs physiques, permettant ainsi de comprendre cette dernière (Bailly et Longo 2006, 159).

précisément la forme de la détermination que nous avons déjà reconnue précédemment et qui se charge ici de tout son sens de geste géométrique au caractère authentiquement transcendantal.

Pour relier ce processus au langage kantien, l'exhibition d'un cadre de symétries et de brisures de symétries dans l'espace abstrait pertinent en physique correspond à l'exhibition d'une règle de construction qui était le rôle du schématisme transcendantal. Bien évidemment, il ne faut pas oublier que pour le Kant de la première *Critique*, l'espace est une intuition pure et *a priori* qui a la forme de l'espace euclidien et qui, ajouté au temps, constitue la condition de possibilité de l'expérience. Le schématisme, dans sa forme originale, ne prévoit donc pas de construction d'espaces pertinents. Au contraire, le geste géométrique de l'imagination productrice de *dessiner* et de *tracer*, produisant par cela des déterminations, avait lieu à l'intérieur même de cet espace euclidien comme forme de l'intuition pure<sup>70</sup>. Cependant, comme nous l'avons vu, une perspective transcendantale au sens plus large n'exclut pas la possibilité de la construction de l'espace-temps. Cassirer produit, à ce sujet, une extension au niveau des intuitions *a priori* de l'espace et du temps en les transformant en structures conceptuelles, donc soumises, elles aussi à ce processus de la détermination.

Pour revenir à la doctrine du schématisme, cette exhibition de la règle de construction avait précisément le rôle de la stabiliser dans un universel. Exposer cette règle signifie, donc, produire la transition entre l'universel et le particulier. Or, depuis que cette notion plus abstraite de symétrie prend la place d'une ontologie de la loi, on observe aussi une révolution des notions d'universel et de particulier. Van Fraassen montre, en effet, qu'à partir de ce cadre théorique le pôle de l'universalité ne se manifeste plus dans la généralité d'une loi portant sur un ensemble de cas particuliers. La vraie généralité consiste à isoler la structure pertinente d'un problème, c'est-à-dire ses symétries (Van Fraassen 1994, 384). Le concept philosophique d'universalité laisse donc la place au concept mathématique

---

70 Voir chapitre 2.

d'invariance par rapport à un groupe de transformation. Pour résumer, en physique, bien que différents cadres de constitution coexistent sans pouvoir se réduire l'un à l'autre (relativité générale et mécanique quantique par exemple) le passage à l'objectivité se fait par le repérage des invariances dans l'espace abstrait construit de manière appropriée et l'exhibition des symétries et brisures de symétries pertinentes. Nous reconnaissons ici le passage de la substance à la fonction que Cassirer (1977) détectait précisément dans le fait de *désubstantialiser* la structure même de l'universel dans le passage épistémique qui va de l'abstraction aristotélicienne à la fonction mathématique des concepts. Un ensemble de lois est donc mieux représenté par un ensemble de symétries, et de brisures de symétries, détectées dans un espace pertinent. Par ces caractérisations se précise aussi la notion plus large de champ causal que nous avons voulu exprimer dans ce travail. Dans ce cadre théorique on comprend comment les notions d'invariance mathématique, de symétries et d'espace s'enchevêtrent dans le processus de la détermination, dans l'esprit *d'exiger la conformité à un cadre pour l'intelligibilité d'une phénoménalité spécifique*. Notre principe causal en général peut donc abandonner son terme renvoyant à la simple causalité et devenir un principe plus général d'intelligibilité parce que son rôle est celui de guider la construction des éléments pertinents à la détermination : symétries, invariants et espaces. Nous sommes ici encore dans un cadre général issu de la physique mathématique. Nous allons voir par la suite que le principe téléologique exerce ce rôle de guide pour la biologie aussi bien en exposant les relations pertinentes de l'objet qu'en manifestant, dans sa structure, un type spécifique de construction qui diffère en partie de celui de la physique.

### 7.2.c Téléologie

Bien que le rôle transcendantal de notre principe téléologique ait été stabilisé, et qu'il soit donc, d'un point de vue théorique, désormais préservé de toute confusion avec une affirmation métaphysique sur la nature, sa formulation reste problématique. Le problème provient du terme téléologie qui semble toujours renvoyer inexorablement à un sens métaphysique. Comme nous l'avons remarqué, certains

biologistes, notamment à partir de Monod (1970), ont préféré substituer à ce terme le terme apparemment plus neutre de *téléonomie*. Or, cette substitution ne nous satisfait pas. En effet, elle ne couvre pas le sens que nous avons essayé de déployer pour notre principe pour deux raisons. Tout d'abord, un point de vue étymologique nous montre que la neutralité de l'expression n'est qu'apparente. Le terme *téléologie*, comme cela est très bien connu, provient du grec et se compose de *telos* (fin, but) et *logos* (discours, pensée). S'il y a un aspect problématique du point de vue de la métaphysique, il ne se trouve certainement pas au niveau du *logos*, mais certainement du *telos*. Nous ne voyons pas comment la substitution de *logos* par *nomos* (loi) rendrait moins problématique le fait de prendre en compte les buts. Autrement dit, en quoi une loi des buts serait-elle moins problématique qu'un discours sur les buts ? Au-delà de cette simple question de mots, une raison plus profonde nous amène à considérer comme inadéquat ce terme pour nommer notre principe.

Comme nous l'avons montré, le principe d'intelligibilité que nous avons trouvé en général, et auquel nous donnons la forme logique de la téléologie, dans notre perspective n'est pas une loi ou un ensemble de lois. Le système des lois, que nous appellerons maintenant de symétries et de brisures de symétries, y est subordonné. Son rôle est celui d'exhiber la légitimité du repérage des invariants, des symétries, de l'espace pertinent, etc. En outre, nous pensons que le côté problématique du terme, c'est-à-dire le côté du *telos*, peut désormais être mieux explicité par un ensemble de caractéristiques liées à l'organisation aussi bien morphologique que formelle (donc conceptuelle).

Nous exposons en résumé les caractéristiques que nous avons reconnues dans le chapitre précédent à ce principe téléologique. Le principe d'intelligibilité téléologique a la spécificité de guider la construction aussi bien par l'exposition des relations pertinentes du côté de l'objet que du côté de la construction même.

Du côté de l'objet – transformation morphologique

L'aspect qui nous a paru très important, du côté des relations pertinentes pour l'objet, est la forme causale circulaire que la téléologie exprime. La caractérisation de chose comme « cause et effet d'elle-même » (Kant 1995, 362), pour le vivant manifeste bien, en premier lieu, cette structure causale circulaire typique de l'organisation. Nous avons vu que cette circularité ne concerne pas simplement une réciprocité causale, mais plutôt une dynamique de cette réciprocité. Elle concerne, en effet, le *fait de prendre une forme organisée* dans les trois sens d'adaptation, de fonction et de forme héritée (Huneman 2006). Sa caractéristique principale réside, alors, non pas dans la constatation d'une morphologie définie, mais dans la prise en compte précisément d'une dynamique évolutive (phylogenèse et ontogenèse) de l'organisation qui se met constamment en place et qui se ré-organise. En ce sens elle ne rend pas compte d'une forme, mais du *fait de prendre une forme organisée*. Autrement dit, sa pertinence pour le vivant revient au fait de considérer, plus que l'émergence de la structure d'une forme organisée, le mouvement de transformation (dans le sens du passage d'une forme à une autre) même de la morphologie dans une émergence de formes organisées en interaction continue et en mouvement dynamique. En effet, on trouve toujours une tension de co-constitution dans les trois formes de circularité causale exprimées par Kant du type logique du tout vers les parties. L'adaptation, par exemple, ne se conçoit pas comme une organisation mise en place une fois pour toute par l'expression d'une forme adaptée à un certain contexte. Bien au contraire elle engendre une dynamique continue de réorganisation. L'interaction circulaire qui se manifeste dans le fait d'être aussi bien cause et effet de soi-même est présente toujours et uniquement dans un mouvement dans le temps et dans une historicité où le *fait de prendre une forme ne s'itère* jamais de manière identique. Il est très important de distinguer ce point de la simple caractérisation du principe téléologique kantien qui inspire les théories sur l'organisation (Par exemple Varela, Maturana, et Uribe 1974). Ce que Cassirer discerne de spécifique dans ce principe réside dans la *tension vers la forme* qui est une dynamique. Dans ces



transformations continues ce qui se préserve est le mouvement circulaire, la co-constitutivité et le compatible (c'est-à-dire l'émergence réciproque de compatibilité entre niveaux d'organisations en interaction).

Or, si l'on s'arrête à cet ensemble de propriétés relationnelles pertinentes du côté de l'objet que notre principe impose, et si l'on se penche sur le cadre de l'objectivation qu'on vient d'esquisser pour la physique, on est amené à dire que le principe téléologique a donc le rôle, en premier lieu, d'exhiber un ensemble de symétries pertinentes dans un espace construit de manière appropriée qui porte cette circularité de la dynamique de la forme. Éventuellement on sera amené à vouloir introduire une spécificité du temps historique, parce que le fait de prendre en compte une dynamique de la morphologie l'impose. Par ailleurs, dans le chapitre précédent nous avons vu que notre principe téléologique manifeste aussi cette spécificité *d'adopter une forme organisée* dans le processus même de la construction conceptuelle. Le processus objectivant n'est plus le même parce que, cette fois-ci, il semble se manifester une dynamique du type de la réorganisation et de la transformation aussi au niveau de la formation des concepts. Nous allons expliciter ce point.

Du côté de la construction du concept – transformation formelle

Dans le chapitre précédent nous avons remarqué que la spécificité du jugement téléologique résidait surtout dans le fait d'être une forme de la connaissance qui va du particulier vers l'universel. En raison de ce renversement du processus de la connaissance, nous avons remarqué que la forme de la règle de construction manifeste un mouvement de *tendance* vers l'universel, produisant par cela le même type de dynamique trouvé du côté de l'objet. Nous avons vu, en effet, comment dans la pensée de Kant la question du *prendre une forme* du concept et celle de *la prise de forme organisée* du vivant trouvent une réciprocité du côté du jugement. Or, en raison de cette réciprocité, selon notre perspective, la construction des concepts pour le vivant présente elle aussi les caractéristiques que nous venons d'identifier du côté

des relations pertinentes pour l'objet. Il convient donc de penser ce processus de construction même à partir du caractère de transformation (dans le sens spécifique de passage continu d'une forme à une autre forme, cette fois-ci un passage formel). La plasticité de la forme morphologique, en constante métamorphose et réorganisation, semble, selon notre principe, devoir correspondre à une sorte de plasticité des concepts organisateurs.

Si on revient à un langage kantien, il est possible de détecter une différence importante avec le processus d'objectivation que nous avons explicité pour la physique. Dans le cas de la physique l'objectivation consistait à exposer la règle de construction, et on obtenait par cette exhibition une universalité. Autrement dit l'universel résidait dans le fait que la règle de construction était valide pour la construction de toute la classe d'objets de même nature. La règle de construction représentait donc l'universel. Or, ici, dans le cadre du jugement réfléchissant, en raison de ce mouvement de tension vers l'universel, la forme générale de la règle est soumise, elle aussi, à cette dynamique de transformation. Autrement dit, l'individuation objective de l'évolution de la forme (morphologique) passe par une évolution de la construction de la forme (formelle). Nous allons voir comment ce processus s'articule à une considération fondamentale de la démarche suivie ici.

### **7.3 Criticité étendue**

#### 7.3.a Dualités conceptuelles, généralité et spécificité

La perspective que nous voulons prendre en compte dans ce dernier chapitre nous semble manifester précisément, selon certaines conditions que nous allons détailler, cette tension de transformation que nous avons reconnue dans le principe téléologique kantien, non seulement du côté de l'objet comme fait empirique, mais aussi dans la construction même des principes organisateurs pour cerner l'objet vivant. À la base de cette démarche théorique il y a, tout d'abord, une pratique d'opposition conceptuelle entre la dimension de l'inerte et celle du vivant qui montre

en premier lieu un renversement des paramètres et des observables (Frezza et Longo 2010; Bailly et Longo 2006). Le premier de ces renversements porte sur la nature théorique des objets et de leurs trajectoires. En physique les objets sont génériques, leurs propriétés sont des invariants des expériences et de la théorie, alors que les trajectoires sont spécifiques, elles sont des possibles qui s'expriment par le principe géodésique. La généralité de l'objet physique est permise par la spécificité de sa trajectoire : l'objet peut être générique car il suit une trajectoire spécifique. C'est cette trajectoire qui permet de subsumer des phénomènes différents et même d'apparences différentes en un objet générique. Réciproquement, il faut un objet générique pour pouvoir décrire et a fortiori objectiver une trajectoire spécifique. À l'inverse en biologie les objets ne sont pas interchangeables, l'un ne vaut pas l'autre, comme c'est le cas en physique, en raison de la variabilité des individus à tout niveaux et leur spécificité, voire leur unicité historique. L'objet de la biologie est donc spécifique alors que les trajectoires (phylogénétiques, ontogénétiques) sont génériques : elles sont des possibles. Ces trajectoires, en effet, se mettent en place selon une compatibilité contingente qui se co-constitue dans le type des différentes interactions que nous avons identifiées auparavant. Bref, elles sont conceptuellement interchangeables, dans les limites de leurs dynamiques historiques.

Or, cette première opposition conceptuelle renvoie immédiatement au niveau de la formation des concepts et donc de la construction des principes organisateurs pertinents. En effet, comme nous l'avons dit, en physique le principe géodésique porte le rôle de la détermination objective. La remarque de l'absence de ce principe en biologie, en raison de la généralité des trajectoires, pointe du doigt l'importante difficulté de l'objectivation pour le vivant, la même difficulté que Kant reconnaissait dans le mouvement de la connaissance qui va du particulier vers l'universel. En effet, c'est bien au niveau de l'universel, désormais exprimé en physique par la généralité d'un principe géodésique, que la question se pose. C'est donc précisément au niveau de la forme du principe de construction que la biologie manifeste un premier grand bouleversement par rapport à la physique. Afin de détecter un processus adéquat, il

est nécessaire tout d'abord de tirer toutes les conséquences de cette importante opposition. Comme nous avons vu, en effet, dans la détermination même en physique s'entrelacent l'invariance mathématique, les symétries et la construction de l'espace pertinent. Il convient donc de comprendre quel est le rôle de ces éléments lors du cas où le passage à la généralité ne peut pas se faire par l'exhibition d'un principe géodésique.

### 7.3.b Symétries et brisures de symétries

À ce sujet, Bailly, Longo et Montévil prennent en considération la possibilité d'une extension des concepts à partir de la physique. Le cadre théorique de la physique qui semble le plus proche de pouvoir rendre compte des interactions complexes en biologie est certainement celui des systèmes critiques (Longo et Montévil 2011b; Bailly et Longo 2008c; Bailly et Longo 2006). Si nous reconsidérons les caractéristiques que nous avons reconnues du côté des relations pertinentes pour l'objet biologique, notamment les relations de la dynamique de l'organisation (au sens large que nous lui avons accordé de *fait de prendre une forme organisée*) et la transformation des formes en co-constitution continue, un aspect pertinent semble bien être celui de transition critique et d'émergence de structures auto-organisées. Plusieurs théories du vivant se sont, en effet, adressées aux cadres de la physique des systèmes critiques lui empruntant, par des voies différentes, les analyses des systèmes complexes, des états loin de l'équilibre, de l'émergence de l'ordre et des structures et de la criticité auto-organisée (Kauffman 1995; Bak, Tang, et Wiesenfeld 1988)<sup>71</sup>. En général les systèmes de type critique manifestent une construction des espaces de transition (espace de phase) par des traits morphologiques et ajoutent, en opposition aux autres cadres de la physique des systèmes à l'équilibre, une direction du temps permettant d'interpréter ces transitions de manière irréversible. Ces caractéristiques permettent, effectivement, d'approcher le cadre de la physique des systèmes critiques de la biologie. Par ailleurs, les auteurs considèrent que ces éléments, tout en inspirant l'analyse, ne suffisent pas pour la

---

<sup>71</sup> Sur ce point voir (Bailly et Longo 2008c).

biologie et nécessitent une réorganisation. Cette insuffisance provient du fait que ces cadres théoriques « ne représentent que la “friction physique” du vivant à son intérieur ou à son environnement » (Bailly et Longo 2008a, 61) et restent, donc, incomplètes. Leur structure théorique, leurs concepts mathématiques propres, *limitent* l'analyse aux transitions ponctuelles par rapport à un nombre modeste de paramètres. Par ailleurs, le vivant semble violer cette ponctualité dans la mesure où il exhibe un nombre de paramètres plus grand, mais surtout parce qu'il semble se poser dans un état prolongé de cette criticité : une criticité étendue (Longo et Montévil 2013; Longo et Montévil 2012b; Bailly et Longo 2008c; Bailly et Longo 2006).

Essayons d'interpréter ce problème d'un point de vue de la théorie de la connaissance et de la formation des concepts que nous avons jusqu'à présent déployées. Les relations pertinentes pour l'objet biologique, notamment manifestées par la circularité causale, l'auto-organisation, la co-constitution, bref l'interaction complexe à plusieurs niveaux et connectée avec une irréversibilité du temps et une historicité, ont bien été cernées et établies par les analyses qui ont voulu se pencher sur le cadre théorique des systèmes de type critique. Cependant, ces analyses sont restées dans le cadre de la physique produisant, en raison de cette limite, un type d'explication partiel qui rend compte de l'émergence des formes organisées, dans le passage par une transition critique, mais ne permet pas de comprendre le fait même de se trouver de manière continue dans ces transitions. Nous avons essayé de montrer cette différence aussi dans le cadre kantien quand nous avons remarqué que la pertinence des circularités causales n'est pas dans la possibilité d'exhiber une morphologie mais plutôt la *tension* à une morphologie. Or, comme nous l'avons dit, le principe d'intelligibilité que nous avons mis en évidence n'est pas un principe de la physique, il exige une réorganisation des principes de construction selon la forme de cette tendance. En effet, ce cadre se manifeste précisément dans la démarche théorique que nous sommes en train d'explicitier.

L'*extension* du système critique à la *situation critique étendue* nécessite une extension correspondante des concepts organisateurs. Cette extension porte la forme

du principe d'intelligibilité spécifique. Si nous revenons à la question du principe géodésique, qui constitue le pilier de la généralité en physique et qui en biologie n'est plus valide (parce qu'il ne permet plus un regard constitutif du biologique, au niveau des observables pertinents : les phénotypes, les organismes), nous pouvons voir comment la transition conceptuelle produite par les auteurs porte effectivement ce principe de transformation continue dans une nouvelle construction pertinente de symétries et de l'espace-temps. Les éléments qui induisent cette réorganisation des concepts, à partir des systèmes critiques de la physique, sont la non-ponctualité des transitions critiques et l'impossibilité d'établir au préalable un espace de phases possible pour le repérage des processus. Prenant le cadre darwinien comme notre cadre de référence, nos observables propres sont les organismes et les phénotypes. Dans ce cadre, en effet, les espaces de phases ne sont pas donnés, comme c'est le cas pour les systèmes critiques physiques. Cela précisément en raison de la généralité des trajectoires qui s'expriment comme des possibles compatibles, mais tout à fait imprédictibles (Longo et Montévil 2013; Bailly et Longo 2008c).

Dans les systèmes critiques les transitions de phase sont exprimées, du point de vue théorique, par des brisures de symétries. Autrement dit, dans le système conceptuel du phénomène critique, le changement de phase est exprimé par le changement d'une symétrie. Or, la perspective de la criticité étendue, par le fait de produire une *durée* de l'état critique, impose de traduire cette durée dans l'extension des changements de symétries. Le cadre théorique de l'objectivation change radicalement par rapport à la physique. Là la généralité objective était donnée par l'exhibition des symétries qui conservent l'objet par rapport à un groupe de transformation. Maintenant ces symétries ne sont plus stables, le maintien de la situation de criticité étendue s'exprime par la brisure continue de ces symétries. Nous proposons de résumer cette dichotomie entre la construction en physique et la construction en biologie de la manière suivante : si en physique l'individuation se fait par le repérage des transformations qui préservent l'objet, en biologie l'individuation passe par le repérage de la préservation de la criticité qui transforme l'objet (dont la

préservation la plus importante, d'un point de vue épistémique est le fait même de prolonger la durée de la situation critique, donc la vie). Bref, le vivant n'est pas simplement une dynamique, un processus, mais il serait toujours en transition (critique).

Or, cet aspect, à notre avis, reproduit le processus constructif mis en évidence par Cassirer dans le principe téléologique kantien. En effet, le caractère de *transformation continue* entraîné par la spécificité du phénomène vivant, qui est le *fait de prendre une forme organisée*, n'est pas seulement projeté dans le repérage des relations pertinentes pour l'objet, et donc du côté de la dynamique morphologique. Bien au contraire, il est d'emblée projeté du côté de la forme conceptuelle où, là aussi, s'exprime ce caractère de transformation continue. Pour revenir au langage kantien, dans le type de connaissance qui va du particulier vers l'universel, ce dernier n'est plus donné, comme c'est le cas en physique, par l'exposition de la règle de construction. La recherche de l'universel se manifeste alors par ce mouvement de *tendance formelle* de la connaissance qui a le caractère d'une transformation prolongée. Bref, la réorganisation permanente du vivant étant le caractère pertinent, une réorganisation permanente de la règle de construction est requise. Un élément supplémentaire peut nous permettre de comprendre mieux ce processus théorique. Il s'agit du rôle de l'espace-temps.

### 7.3.c Espace-temps biologique

Le nouveau cadre de la criticité étendue engendre une nouvelle forme d'espace-temps spécifique pour le biologique. Ce qui est le plus épistémologiquement significatif par rapport à la physique est la manifestation d'un temps cyclique et itératif, celui des rythmes internes au vivant, qui n'est pas un paramètre mais un observable (Longo et Montévil 2012b; Bailly, Longo, et Montévil 2011; Bailly et Longo 2006). Ce type de temps interne n'est plus, comme c'est le cas en physique, un paramètre engendrant l'évolution des observables. Autrement dit, il n'est pas le cadre où les choses se passent, mais revient à participer lui-même, par son action, à la

construction théorique. Il ne s'agit pas du résultat d'une construction, comme l'espace-temps pertinent en physique. Ici se manifeste encore la dynamique de transformation discutée auparavant. Le vivant est un « organisateur » du temps. Le temps, du point de vue mathématique, est un « opérateur », comme l'énergie en physique, qui *organise* les flots dans les systèmes loin de l'équilibre (Bailly et Longo 2008b). Cela signifie que la représentation formelle et conceptuelle doit, encore une fois, se charger de cette dynamique par la prise en compte de la transformation de la cyclicité même.

Or, un autre type d'espace-temps s'ajoute à ce cadre. Il s'agit de celui manifesté par l'interaction avec l'environnement (à tout niveau de l'organisation) qui nécessite, pour être interprété, des notions de rétention et de protension (Longo et Montévil 2011a). Ces deux mouvements produisent l'extension typique du temps, introduite et analysée d'un point de vue phénoménologique par Husserl (1991), qui est celle de la durée constituée par la situation critique, où justement se produit une espèce de tension vers le passé (par la mémoire/rétention) et vers le futur (par la protension/anticipation).

Sans entrer dans le détail de la formalisation de tous ces points, il est important de souligner un aspect conceptuel qui revient à notre principe d'intelligibilité pour la biologie. Ni l'espace ni le temps ne sont des paramètres établis et stabilisés par l'exhibition d'un ensemble de symétries (dans le langage kantien, de règles de construction). Ils se réorganisent en permanence. Or, si en physique, nous l'avons dit, l'individuation de l'objet se fait par le repérage des transformations qui le préservent, ici les transformations de l'espace et du temps même participent de la stabilisation de la situation critique. Par ces différents processus en activité permanente dans le vivant se manifeste une construction de l'espace-temps du type de la transformation et réorganisation imprédictible et non géodésique que nous avons reconnu dans le principe d'intelligibilité du *fait de prendre une forme organisée*. Ces considérations permettent aux auteurs de construire un cadre



mathématique abstrait portant cette forme spécifique ainsi que d'introduire un principe d'*inertie biologique*<sup>72</sup> (Longo et Montévil 2011a).

#### 7.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons mieux explicité le rôle constructif de notre principe d'intelligibilité qui a la forme de la téléologie. Nous avons pris en compte le passage théorique qui a substitué la notion de symétrie et de brisure de symétrie à la notion de loi en physique. Or, ces éléments, qui ont le rôle de construction d'une règle d'objectivation en physique, ont manifesté une sorte d'impossibilité intrinsèque (à la théorie) de se *stabiliser* en biologie. L'analyse de cette impossibilité est faite dans les termes de la criticité étendue, comme cadre des changements d'organisation, voire de symétries théoriques, même moindres, à chaque mitose.. Sans point nier la stabilité structurelle des organismes, cette approche ne la définit pas dans les termes des grands invariants de la physique, mais y intègre la variabilité, l'adaptivité, la diversité. Bref, les conditions mêmes de possibilité de l'intelligibilité de la stabilité structurelle en biologie doivent intégrer cette criticité dynamique.

Nous avons reconnu, par ailleurs, que notre principe d'intelligibilité permet de produire le passage d'une individuation par les transformations, à une individuation *des transformations*. C'est-à-dire que ce principe permet une détermination de la transformation des espaces de repérage, des brisures de symétries, des extensions temporelles au cours même de l'individuation. En effet, en raison de l'imprédictibilité et de la contingence du changement de ces espaces et des brisures de symétries associée, notre principe, portant la forme de la transformation continue que nous lui avons reconnue, permet un mouvement inédit pour la construction des principes qui tient compte de cette permanente transformation. Le principe d'intelligibilité spécifique pour la biologie manifeste cette circularité causale en permanente transformation, qui n'est plus à interpréter comme une simple causalité circulaire,

---

72 En annexe une étude spécifique sur ce point.

## CHAPITRE 7 LA SINGULARITÉ DU VIVANT

mais comme une dynamique de brisures de symétries, de changement d'espace-temps et d'espace de phases, de construction par transformation de tous ces paramètres et observables au cours même de l'objectivation. En ce sens l'objectivation en biologie est difficile (voire impossible pour Kant). À sa place nous avons découvert un processus de construction permanente qui oblige à changer la notion même d'objet en biologie : celui-ci n'est plus manifesté par ce qui le préserve par les transformations (comme en physique). L'objet biologique est l'ensemble même des transformations imprédictibles, anticipatrices, adaptatives et en co-constitution permanente.



# CONCLUSION



## CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons proposé une enquête sur le possible rôle transcendantal de la causalité téléologique en biologie. Afin d'entreprendre ce parcours, nous avons tout d'abord essayé d'explicitier l'approche transcendantale dont nous nous sommes inspirés. Nous avons notamment précisé sa valeur de méthode selon la perspective néo-kantienne de l'École de Marbourg. Cette méthode se fonde sur l'idée que les objets scientifiques ne sont pas déjà présents dans la nature. Ils sont plutôt constitués par l'acte même de la représentation. La méthode transcendantale énoncée dans ce travail consiste dans ces conditions à *retourner le regard* vers les conditions de possibilité de cette représentation afin d'en dévoiler les contours conceptuels. Or, bien que le caractère éminemment empirique de la biologie pourrait laisser croire qu'elle n'a pas besoin d'explicitier les conditions de possibilité de la construction théorique, elle n'y échappe pas plus que d'autres sciences. Nous avons vu, en effet, comment l'observation et le repérage des soi-disant *faits bruts*, sont eux-mêmes toujours soumis à des conditions conceptuelles, dans la mesure où chaque fait est déjà théorie.

Une fois notre cadre théorique éclairci, nous avons pris en compte le statut transcendantal du principe causal en général. Nous nous sommes appuyés sur une histoire critique de ce principe en physique. À l'aide des analyses d'Ernst Cassirer et de Gaston Bachelard, nous avons montré que le principe de causalité n'est pas un élément présent d'avance dans les relations ontologiques entre les objets. Il convient plutôt de l'interpréter comme une procédure de conformation de l'activité de la science à des lois. Le résultat le plus important de cette analyse a consisté à libérer la notion de cause de son association avec le déterminisme et de mettre en lumière, par ce biais, son caractère plastique de principe propre à être adapté aux exigences de la pensée objective.

Nous avons donc porté notre regard vers la biologie, avec pour projet de mettre en lumière la façon dont le principe causal est employé. Nous avons tout d'abord découvert qu'un langage appuyé sur la forme causale téléologique est très couramment employé dans les sciences du vivant. Il s'agit, en effet, d'un langage très

## CONCLUSION

pertinent pour rendre compte de certaines dynamiques spécifiques aux vivants. Nous avons donc essayé d'enquêter sur la place que cette forme causale occupe. Nous avons reconnu qu'elle est généralement utilisée comme forme explicative, mais qu'en raison de cela elle nécessite une *neutralisation* de son côté métaphysique. Cette neutralisation est généralement obtenue par le biais d'une assimilation de la causalité téléologique à un dérivé de la causalité efficiente. Autrement, cette forme explicative risque de provoquer l'introduction d'une espèce d'action consciente de la nature (interne ou externe). Nous nous sommes donc consacrés à la recherche de différentes démarches de neutralisation de l'aspect métaphysique de la causalité téléologique.

Dans ce travail, nous avons restreint notre champ d'analyse à deux cadres scientifiques qui nous ont paru particulièrement pertinent pour une enquête sur la téléologie. Nous nous sommes intéressés, tout d'abord, aux processus d'objectivation qui interviennent dans le réductionnisme moléculaire. Ici nous avons détecté un lien très important avec la téléologie. Nous avons, en effet, montré que cette approche semble résoudre le problème de la connotation métaphysique de la téléologie en faisant le choix d'une explication fondée uniquement sur la causalité efficiente des dynamiques physico-chimiques. Par ailleurs, nous avons aussi découvert que cette forme d'explication fonctionne pour le vivant à condition de supposer qu'une forme de causalité téléologique est présente dans les constituants élémentaires mêmes du vivant, comme les molécules d'ADN, sous la forme d'un projet tel le programme génétique. Le processus de réduction de la causalité, que nous avons reconnu être pratiqué à travers la méthode différentielle, semble trouver son fondement théorique dans la supposition de l'existence d'un tel projet.

Nous nous sommes intéressés ensuite au débat sur l'attribution des fonctions. Ce cadre nous a paru particulièrement pertinent parce que ici les philosophes de la biologie se sont explicitement posé le problème de la téléologie et de la possibilité de la naturaliser. Nous avons observé que, lorsque la téléologie est complètement mise de côté, l'attribution de fonctions paye un prix trop lourd en termes de pouvoir explicatif. En revanche, les perspectives qui ont essayé de sauvegarder cette

## CONCLUSION

spécificité explicative, ont dû se confronter explicitement avec son arrière-plan métaphysique. Afin de surmonter les problèmes explicatifs et de naturaliser la téléologie de l'explication fonctionnelle, les différentes approches que nous avons prises en compte ont dû, tour à tour, faire appel à des éléments additionnels tels, par exemple, le contexte évolutif, la notion d'adaptation, les concepts de fitness ou de disposition ou, encore, le cadre organisationnel. Par ailleurs il s'agit d'éléments portant déjà, dans leur propre structure conceptuelle, une forme causale téléologique. Cette question des fonctions a pleinement justifié notre décision d'examiner la place occupée par la téléologie dans le cadre des suppositions scientifiques légitimes qui constituent les *a priori* transcendants selon notre perspective.

Nous nous sommes donc placés dans la perspective transcendantale de détecter quel peut être le rôle de ce principe causal spécifique. Nous avons tout d'abord essayé d'esquisser la problématique de la téléologie dans sa formulation kantienne. Nous avons vu que cette formulation kantienne de la téléologie est souvent traduite en description empirique de l'organisme. Nous avons, par ailleurs, essayé de réfléchir à son statut de principe transcendantal, à l'aide de l'interprétation épistémologique qu'en offre Cassirer. Nous avons, par ce parcours, découvert la possibilité de détecter un principe causal alternatif à la causalité mécanique (et non pas seulement un mode d'explication) qui se manifeste comme l'exigence d'une légalité différente de la nature, d'un ordre alternatif. Cette nouvelle légalité exige une détermination au niveau de la dynamique de transformation permanente des organismes. Sa caractéristique principale, par ailleurs, est celle d'appartenir à une forme de connaissance qui va du particulier vers l'universel. En raison de ce statut épistémologique, nous avons découvert une tendance vers l'universel qui exige cette réorganisation en permanence (détectée du côté morphologique) également du côté formel (conceptuel).

À partir de la découverte de ce principe nous avons enfin essayé d'interpréter un possible processus de construction d'un ensemble de principes d'ordre spécifiques pour la biologie. Pour ce faire nous avons pris en compte la démarche proposée par



## CONCLUSION

Bailly, Longo et Montévil. Nous avons tout d'abord montré l'évolution de la notion de lois causales en physique. En effet, la notion de loi a perdu son caractère de régularité intrinsèque à la nature, pour laisser la place à l'expression d'une géodésique (principe de moindre action) dans un espace mathématique adéquat. Nous avons alors reconnu comment l'exhibition d'un cadre de symétries, et de brisures de symétries, représente la façon dont on rend intelligibles les phénomènes en question par le repérage de certaines stabilités par rapport à des transformations. La généralité du principe géodésique semble donc prendre la place de l'universel en physique.

Or, la perspective de ce travail consiste à montrer un renversement entre physique et biologie qui porte sur la nature théorique des objets et de leurs trajectoires. En physique les objets sont génériques, en ce sens que leurs propriétés sont des invariants des expériences et de la théorie, alors que les trajectoires sont spécifiques. À l'inverse, en biologie, les objets ne sont pas interchangeables, comme c'est le cas en physique, en raison de la variabilité des individus à tout niveau. L'objet de la biologie est donc spécifique alors que ses trajectoires (phylogénétiques, ontogénétiques) sont génériques. En raison de ce cadre, les auteurs abordent une extension à partir des théories physiques des systèmes critiques et parviennent à proposer un cadre de *criticité étendue* qui se manifeste par la brisure continue des symétries. Or, ce cadre spécifique induit une réorganisation conceptuelle au niveau des principes constitutifs en raison des nouveaux éléments spécifiques que sont la non-punctualité et l'impossibilité d'établir au préalable un ensemble d'espaces de phases possibles pour le repérage des processus. Nous avons couplé conceptuellement ce bouleversement théorique avec le problème d'une connaissance qui va du particulier vers l'universel, énoncé dans une perspective kantienne, l'universel étant désormais reconnu dans la généralité des symétries et des brisures de symétries. Nous avons ainsi découvert que le principe d'intelligibilité téléologique proposé, en raison de son caractère dynamique de *tension* vers l'universel, transpose l'activité de réorganisation permanente qui vaut pour l'objet dans sa transformation morphologique aux principes conceptuels c'est-à-dire à la transformation formelle.

## CONCLUSION

Nous avons donc proposé d'interpréter la causalité téléologique comme un principe régulateur, au sens transcendantal et *a priori*, qui permet la détermination d'un ordre spécifique pour la biologie. Il s'agit d'un ordre de la réorganisation permanente pour lequel de possibles principes mathématiques ont été proposés. Nous pensons que, en raison de son statut de principe transcendantal, la forme causale de la téléologie n'implique pas des conclusions métaphysiques sur l'existence de projets internes ou externes à la nature. Simplement, cette forme d'intelligibilité propose une organisation conceptuelle spécifique, mais en raison de sa dynamique interne, elle rend difficile une objectivation *stable* de l'objet biologique. Cette conclusion suggère de repenser l'objet même de la biologie. Celui-ci ne se manifeste pas dans l'individualisation du résultat d'un ensemble de transformation, mais il convient plutôt de le penser comme la dynamique même de ces transformations, adaptatives, co-constituées, imprévisibles, dont le cadre de la criticité étendu peut rendre compte.



# **ANNEXE**



## **Anticipation, protension et inertie biologique<sup>73</sup>**

Giuseppe Longo, Nicole Perret

**Cirphles, CNRS et École Normale Supérieure, Paris**

### **Introduction**

Le questionnement contemporain autour de la structure de l'orientation temporelle de la conscience insiste tout particulièrement sur la place occupée par l'anticipation et par la mémoire. Le rôle joué par ces deux éléments temporels a été largement exploré par une longue tradition philosophique et, notamment, phénoménologique (voir par exemple (Depraz 2001; Petitot et al. 1999) pour des approches et des synthèses récentes). Husserl a qualifié de protension la particulière orientation d'extension du présent vers le futur par une anticipation consciente. Il a, de plus, proposé d'en comprendre l'organisation comme fortement liée avec la direction extensive qui va vers le passé par la mémoire et qui est appelée rétention (Husserl 1991). Directement inspirés par les réflexions phénoménologiques, les travaux récents de formalisation de l'orientation temporelle caractéristique de la conscience sont de plus en plus précis (voir par exemple (Vogeley et Kupke 2007; Gallagher et Varela 2003)).

Ici, par une abstraction théorique ultérieure, la protension et la rétention vont être proposées comme les points de départ pour une réflexion au niveau de la structure temporelle propre au biologique pré-conscient. Par un mouvement d'articulation conceptuelle entre physique et biologie, ces deux éléments vont se situer à un niveau d'observables spécifiques, pouvant ainsi être transposés comme des principes autour desquels il est possible d'esquisser une géométrie de la structure temporelle propre au vivant (Bailly, Longo, et Montevil 2011). Cette construction s'encadre dans une démarche théorique plus ample, visant à proposer des principes propres pour une organisation conceptuelle du biologique. Cette démarche a abouti

---

73 À paraître dans "Anticipation : biologie, physiologie" (C. Debru éd.), Hermann, 2013.

dans la proposition du cadre théorique de la criticité étendue (Longo et Montévil 2011b; Bailly et Longo 2006).

## 1 Philosophie et géométrie du temps biologique

### 1.1 Espace et temps constitutifs

Si on se tourne vers les considérations de la philosophie critique de Kant (2001), interpellé par une conceptualisation sur le temps ne signifie pas donner une description de certaines propriétés réelles et présentes à l'intérieur des objets, pas même une mesure de quantités. Bien au contraire, si on accorde de le saisir comme une forme *a priori* telle une condition de possibilité de la connaissance, alors s'interroger sur le temps, et sur l'espace, signifie s'interroger sur la constitution même des principes transcendants d'une science. Cela puisque, d'après le Kant de la *Critique*, les phénomènes se donnent uniquement à l'intérieur des formes *a priori* de l'espace et du temps, et les mathématiques, en raison de leur caractère *synthétique* et *a priori*, participent de l'organisation de ces données. Cela revient, donc, au rôle constitutif des mathématiques dans la construction des concepts scientifiques (Cassirer 1977). L'espace et le temps sont alors les conditions de possibilités de cette activité de constitution d'objectivité opérée par les mathématiques (Kant 2001).

Or, si on accepte d'élargir et de relativiser la théorie kantienne des formes *a priori* par une abstraction ultérieure des principes transcendants<sup>74</sup>, le dualisme kantien entre, d'une part, les formes pures de l'intuition *a priori* de l'espace et du

---

<sup>74</sup> Le processus de relativisation des *a priori* kantien vient de l'interprétation néo-kantienne de l'École de Marbourg et notamment de Cassirer. Avec les géométries non-euclidiennes, les formes de l'intuition *a priori* de l'espace et du temps (que, pour Kant, avaient la forme de la géométrie euclidienne) ne pouvaient plus constituer un fondement de repérage scientifique. De plus, suite à la formulation de la théorie de la relativité (aussi bien restreinte que générale, les deux se fondent sur des espaces non-euclidiens), le concept même d'objet, et son lien à l'espace, n'était plus immédiat dans l'intuition. Plus précisément, en mécanique classique, la dépendance de la notion d'objet à un complexe de lois universelles se fondait sur les lois de la géométrie. En revanche, dans la théorie de la relativité, le repérage d'un objet passe par les opérations qui permettent une transition à partir d'un système de référence à un autre. C'est les invariants de ces transformations qui peuvent se dire des objets. On renvoie ici aux œuvres (Cassirer 2001, 1977); pour une panoramique des possibles modulation des *a priori* on renvoie à (Kauark-Leite 2012).

## ANNEXE

temps et, de l'autre, les concepts, est surmonté. Ainsi, espace et temps deviennent des opérateurs participant de l'activité organisatrice et constitutive des mathématiques et non seulement des cadres fixes rendant possible cette activité. Autrement dit, espace et temps deviennent des véritables *concepts d'ordre* activement impliqués dans l'organisation conceptuelle d'une science. S'interroger sur le temps propre à une science signifie alors se mettre en marche vers une constitution des principes d'ordres spécifiques pour une organisation conceptuelle de son cadre théorique.

Le projet donc de rendre intelligible mathématiquement la complexité géométrique de la temporalité biologique correspond à la construction d'une géométrie propre au vivant qui se caractérise, dans le sens kantien élargi, d'un ensemble de principes d'ordres. Or, l'objet biologique, en tant que *singularité physique* (Bailly et Longo 2006) présente des caractéristiques temporelles spécifiques. Une bonne théorie du vivant doit partir de ses spécificités, pour construire une organisation conceptuelle qui soit adaptée au biologique. La réduction physicaliste du vivant est une opération théorique illégitime, fondée sur un préjugé réaliste selon lequel les lois physiques représentent des propriétés réelles des phénomènes. Par ailleurs, les théories physiques sont aussi des organisations conceptuelles construites à partir de principes transcendants (Bitbol 1998 ; 2000). Et, qui plus est, elles proposent différentes notions de *champ causal* qui ne sont même pas réductibles entre eux. Alors, vers lequel de ces champs faudrait-il réduire le vivant? Il paraît plus pertinent de construire un nouveau champ causal pour le biologique, qui se fonde sur ses principes propres, pareils que les champs causaux physiques à l'intérieur de leurs propres cadres théoriques, tout en mieux posant dans la suite un éventuel projet d'unification, comme il se pose aussi en physique (relativiste/ quantique, par exemple : qu'est-ce qu'on aurait à unifier si on n'a pas deux théories?). Or, pour le biologique il se révèle que ce champ causal peut se construire autour d'une géométrie du temps.

La façon dont la temporalité se manifeste chez le vivant, par le développement, le vieillissement, les rythmes biologiques, l'évolution, les cycles



## ANNEXE

métaboliques, témoigne de sa spécificité par rapport à la temporalité physique (Chaline 1999). À ce niveau vont jouer un rôle constitutif la protension et la rétention. Les comportements protensifs minimaux sont pris comme des observables, mathématiquement quantifiables, sans que cela implique la nécessité de faire une théorie physique de la téléonomie. Au contraire, la dynamique téléonomique devient ici un principe simple, fondé sur l'intuition d'un mouvement de rétention/protension qui est un observable.

Le geste protensif représente, en effet, une spécificité temporelle que l'on observe chez les plus simples formes vivantes (par exemple, les paramécies, (Misslin 2003)). C'est à partir des rythmes internes du vivant, dont on parlera, et de ce geste qu'on peut établir une autonomie du temps du vivant par rapport à la physique. Cela manifeste une autonomie des principes transcendants de la biologie. Il sera donc tout à fait légitime d'ajouter des observables propres ainsi qu'une dimension temporelle spécifique aux rythmes ; on construira alors une géométrie du temps biologique sur deux dimensions. Une pour y représenter les rythmes propres au vivant, l'autre pour y quantifier le temps irréversible de la physique et le nouvel observable, relatif à l'irréversibilité propre des processus biologiques.

### 1.2 Repérage dichotomique externe/interne

Le rôle transcendantal de la construction géométrique du temps biologique se manifeste encore plus radicalement dans la façon dont s'articulent les deux pôles de repérages, interne/externe, de l'objet biologique. En effet, en raison de la relativisation des *a priori* kantien, il est légitime de considérer que les notions abstraites d'espace et de temps peuvent renvoyer aux structures mathématiques respectivement de groupe et de semi-groupe. En particulier, les déterminations de groupe de déplacements (réversibles) sont appelées à la formalisation de la notion abstraite d'espace tout comme les caractéristiques du semi-groupe participent de la formalisation de la notion abstraite de temps et notamment de la propriété de compositionnalité et d'irréversibilité de l'écoulement temporel, (Bailly et Longo 2006,

## ANNEXE

169). Or, par une extension de cette correspondance à la logique<sup>75</sup>, on voit se dessiner une structure dichotomique de constitution qui franchit encore un pas vers l'abstraction. Il s'agit, d'un côté, du pôle *espace, structure de groupe, relation d'équivalence* et, de l'autre côté, du pôle *temps, structure de semi-groupe, relation d'ordre*.

Dans notre approche, on a d'une part l'espace physique, où les déplacements (réversibles) sont possibles, et *au sein duquel* on peut décrire les espaces interne/externe pour chaque organisme, de l'autre un temps physique irréversible auquel *on ajoute* une dimension propre au temps interne des organismes, le temps des rythmes biologiques. On motivera cette extension dimensionnelle, par la relative autonomie des rythmes biologiques par rapport au temps physique. Ils se présentent en fait comme des “nombres pures”, des invariants communs à différentes espèces biologiques. Bref, au temps physique irréversible (la droite thermodynamique ou, algébriquement, un semi-groupe), on ajoute une dimension orthogonale représentée par une droite compacifiée (un cercle donc; une méthode déjà exploitée en physique, pour l'espace toutefois, voir (Bailly et Longo 2006)). Elle s'y entrelace tel un observable à caractère itératif et circulaire, celui des rythmes biologiques dont on parlera. Or, ces deux dimensions s'articulent entre elles par une dichotomie du genre interne/externe qui participe, de façon constitutive, d'une nouvelle organisation conceptuelle de la biologie. Cela revient aussi à la constitution d'un champ causal spécifique pour le vivant, car on corrèlera la protension à l'instauration de ces rythmes internes, ce qui nous permettra de conceptualiser une forme de téléonomie, sans pour autant renvoyer à une causalité rétrograde.

Pour revenir aux considérations kantienne, l'espace et le temps de la première *Critique* (2001) s'opposaient et s'articulaient précisément et respectivement, du côté du sujet, comme la forme *a priori* du sens externe et la forme *a priori* du sens interne. Rappelons ici la progressive redécouverte des arguments leibniziens par le

---

<sup>75</sup> La notion de groupe peut être mise en correspondance avec la relation logique d'équivalence, ainsi que la notion de semi-groupe a la même forme de la relation d'ordre. (Bailly et Longo 2006, 163).

## ANNEXE

dernier Kant de l'*Opus Postumum* (Kant 1986), selon lesquels l'espace et le temps ne peuvent plus s'opposer de telle manière, mais eux mêmes possèdent des formes intrinsèques du côté de l'objet. On est alors amené à redécouvrir une légitimité, de moins théorique, de cette articulation dans la structuration d'une dimension interne temporelle pour le vivant. Cela dans la mesure où les deux pôles interne/externe doivent être trouvés au sein même de l'objet. Précisons : il ne s'agit pas, pour cela, de propriétés intrinsèques aux objets, car on est toujours à un niveau épistémique de constitution d'objectivité. Il s'agit, en particulier, de formes de constitution du repérage des objets venant de la détermination même de ceux-ci. Autrement dit, l'espace et le temps deviennent des conditions actives de la constitution de l'intelligibilité de l'objet : des sortes de *formes de la manifestation sensible* (Bailly et Longo 2006, 153). Le sens externe détermine, alors, la forme de la manifestation des relations, et le sens interne régit la forme de la manifestation de l'identification des objets. Par ce processus, et conjointement avec la relativisation des *a priori*, une transformation des notions abstraites d'espace et de temps est opérée. Cette transformation, en conclusion, revient à justifier le rôle épistémique des dimensions spatio-temporelle interne propre à la biologie régissant les conditions mêmes de possibilité de repérage de l'objet.

Nous reconstruirons donc cette démarche par deux mouvements : d'abord, la constitution d'un observable propre, le temps de l'irréversibilité biologique, dans la dimension du temps physique (thermodynamique, donc orienté), encré sur un présent étendu (rétention/ protension) ; ensuite, en ajoutant une deuxième dimension compacifiée à cette dimension temporelle partagée avec la physique, pour y décrire les rythmes biologiques. Ce schéma géométrique construit une intelligibilité nouvelle se servant de la propriété constitutive interne de la notion abstraite de temps.

## 2. Rétention et protension

Husserl entreprend une analyse fondamentale de la temporalité propre à la conscience, séparée du temps objectif, s'appuyant sur deux directions temporelles opposées : la mémoire et l'anticipation. La mémoire est caractérisée comme une reconstruction d'un passé distant et l'anticipation comme l'attente d'un futur possible. Or, ces deux pôles appartiennent respectivement au passé et au futur, mais une tendance vers ces deux directions d'un même axe se met en place dans *l'appréhension présente* des phénomènes.

Nous parlerons très en général des mouvements de la rétention et de la protension, en absence même d'intentionnalité (aussi donc pour des activités préconscientes). La rétention et la protension sont des formes du présent : l'instant présent se constitue donc comme une situation dialectique jamais simple et définie, une situation *qui ne se décrit pas comme ponctuelle*.

Plus précisément, si en physique on peut concevoir un présent ponctuel, un instant singulier qui est un nombre sur la droite de nombres réels de Cantor, la singularité temporelle de l'instant biologique est *étendue*: transition étendue du passé au futur, union de la rétention minimale et de la protension qui lui correspond. Ce changement est fondamental et paradigmatique par rapport à la physique. Par l'invention de la vitesse et de l'accélération, comme valeurs instantanées, limites d'une sécante qui devient une tangente (Newton) ou d'un rapport dont le numérateur et le dénominateur tendent à 0 (Leibniz), les mathématiques s'installent dans la physique moderne : par leur valeur ponctuelle, la vitesse et l'accélération deviennent elles aussi des fonctions du temps.

Or, en biologie, dans ce cas et ailleurs, la ponctualité d'un processus a peu de sens : la photo instantanée perd ce qui compte le plus, l'action du vivant, qui *n'est pas sans être en activité*. La photo d'une pierre qui tombe est identique à celle d'une pierre immobile, qui est *inerte* même lors de son mouvement *inertiel*. Le vivant est seulement dans ses processus, qui se rénovent et changent en permanence. Le temps

## ANNEXE

biologique n'est donc pas à saisir en partant d'une ponctualité possible ; il en sera autant, pour nous, par rapport à *tous* les paramètres et les observables biologiquement pertinents. En fait, le vivant n'est pas seulement un processus, une dynamique, il est toujours (dans) une "transition critique". Nous avons rendu cette analyse de l'"extension" des observables et paramètres biologiques, par la notion de "criticité étendue", propre à l'état vivant de la matière.

Dans le temps, les gestes de la rétention, dirigée vers le passé immédiat, et de la protension, vers le futur imminent, composent donc une extension du présent qui se différencie, tout en s'articulant, avec le temps objectif de la physique. Nous renvoyons à (Longo et Montévil 2011a) pour l'analyse mathématique : la rétention est décrite par une fonction de relaxation (une exponentielle décroissante dans le temps physique), la protension par son symétrique, corrigé par une dépendance linéaire de la rétention. La composition de ces exponentiels symétriques formalise le fait qu'il n'y a pas d'attente sans mémoire, nous dit Husserl et nous confirment les évidences empiriques récentes (Botzung, Denkova, et Manning 2008) (pour d'autres travaux sur les activités conscientes, voir (Nicolas 2006; Perfetti et Goldman 1976)). La protension dépend donc mathématiquement de la rétention, une asymétrie qui oriente le temps biologique. Bref, dans notre construction d'une géométrie du temps du vivant pré-conscient, tout se passe comme si l'organisme, si élémentaire soit-il, était capable de protension si rudimentaire puisse-t-elle être, relativement à une situation interne ou environnementale future pour gouverner sa dynamique comportementale dans son présent, et cela sur la base d'un vécu. Or, même une paramécie manifeste des formes claires de protension et rétention, voir (Misslin 2003).

En conclusion, par cette objectivation propre du temps biologique, tout en partant de Husserl, nous avons ajouté une notion temporelle spécifique pour la biologie, basée sur le jeu rétention/protension. Celui-ci, quoique dans la même dimension mathématique que la flèche du temps physique, orientée par tous les phénomènes irréversibles (au moins thermodynamiques), nous propose un nouvel

## ANNEXE

observable : l'irréversibilité propre du temps biologique, orienté par l'asymétrie mathématique rétention/protension, (Longo et Montévil 2011a).

Notez que dans une même dimension physique on peut avoir plusieurs observables : l'énergie, par exemple, peut être potentielle ou cinétique. Pour nous, l'irréversibilité propre du temps biologique s'ajoute donc à celle du temps thermodynamique. Elle n'est pas seulement due à la dispersion d'énergie (l'entropie) mais aussi à la mise en place et au maintien de l'organisation (que nous avons caractérisée comme anti-entropie, voir (Longo et Montévil 2012a; Bailly et Longo 2009)). L'évolution et l'embryogenèse (l'ontogenèse, en fait) ont leur propre irréversibilité constitutive, qui s'ajoute à celle des processus thermodynamiques. Cette irréversibilité est l'observable du temps propre au vivant ; dans (Bailly et Longo 2009), il est, mathématiquement, considéré comme un *opérateur*, non pas un paramètre comme le temps en physique, car il opère et il constitue le vivant, *qui est toujours le résultat d'une histoire*.

### 3. Inertie biologique

La capacité protensive minimale du vivant peut être fondée sur l'observation de la propension de tout organisme à prolonger simplement une situation. Cette capacité peut être plus au moins accentuée selon le niveau d'évolution et la présence ou non d'un système nerveux. C'est d'abord l'observation de l'aptitude à s'adapter à une situation, en changeant et en "se conservant", qui nous fait introduire une fonction de rétention, une composante de l'identité et de la "stabilité structurelle". Celle-ci peut être conçue comme la possibilité de déposer une *mémoire morphologique* à différents niveaux, par exemple biochimique, immunitaire, neurale, cérébrale ; toutefois, son rôle biologique principal est exactement de permettre la protension. Autrement dit, nous considérons la possibilité pour un organisme de conserver une mémoire d'une situation comparable antérieure, par un effet d'apprentissage, même à un niveau très simple d'organisation, comme précondition

## ANNEXE

d'une *adaptivité par l'attente* d'une situation similaire. Le génome pourrait être considéré comme la composante principale de rétention propre à une espèce. En cela, il jouerait autant un rôle de contrainte par rapport à l'immense éventail des possibles qu'un rôle d'activateur par rapport au développement de tel ou tel organisme appartenant à une espèce donnée. Cette contrainte "canaliserait" en quelque sorte les possibilités du développement en fonction du patrimoine rétentif, c'est-à-dire en l'occurrence à toute l'histoire biochimique de l'espèce. Les éventuelles "explosions" associées à la rupture d'équilibres ponctuels (cf. la faune de Burgess telle qu'elle est analysée par Gould (1998), par exemple) correspondraient alors à la levée de classes entières d'inhibition par rapport au rôle activateur des génomes. Cette représentation correspondrait alors elle-même au point de vue selon lequel le vivant, loin de sélectionner des trajectoires géodésiques singulières et spécifiques comme en physique, évoluerait dans un cadre très générique de possibles dont certains seraient inhibés par des contraintes internes (du génome à la structure de l'organisme) ou externes (environnement).

Au niveau d'un organisme, on peut interpréter le comportement protensif comme une anticipation jouée sur l'activation de la mémoire, la trace d'un vécu qui joue aussi un rôle de contrainte. De telle sorte que certaines réactions conséquentes deviennent plausibles et engendrent alors un comportement qui tiendrait compte de cette plausibilité, même s'il se révèle ensuite non adapté, conduisant alors à un nouvel apprentissage. L'anticipation de ce type devient un instrument pour interpréter le comportement de l'organisme face à l'aléatoire, l'imprédictible auquel doit continuellement faire face ; voire une sorte d'instrument de réorganisation continue face à l'impossibilité d'explicitier tout le champ des possibles. Ainsi, comme le distinguait clairement Husserl, la rétention n'est justement pas la mémoire en soi, mais le processus d'activation de cette mémoire dans l'instant présent – dans le but de l'action, soulignons-nous. Pareillement, le geste protensif n'est pas l'anticipation dans le futur, mais le processus de projection des possibilités immédiates d'un état préalablement vécu, en fait reconstruit.

Par ces mouvements d'extension dynamique du présent on a une sorte de principe inertiel du vivant, ce que l'on pourrait appeler une *inertie biologique*. Dans (Longo et Montévil 2011a), cette inertie est représentée mathématiquement comme le coefficient de la protension : il en donne le "poids" mathématique, pour ainsi dire, tout comme la masse (inertielle), en physique, est le coefficient de l'accélération en présence d'une force.

#### 4. Rythmes biologiques, un schème géométrique pour le vivant

Par le même processus d'objectivation mathématique, on va établir une nouvelle dimension du temps fondée sur la considération des rythmes internes au vivant, qui va s'ajouter à celle du temps thermodynamique dans laquelle réside aussi la rétention/protension. Cette deuxième dimension du temps est compacifiée (un cercle, une boucle, au lieu de la droite habituelle du plan cartésien), qui s'autonomise de façon plus radicale par rapport au temps de la physique, tout en s'y articulant. Bref, dès qu'il y a du vivant, il y a un rythme qui s'installe : le rythme métabolique, au moins, et puis, les rythmes cardiaques, respiratoires, hormonaux... L'observation nous les propose comme des nombres purs : ils nous donnent un temps (de vie, typiquement) d'un organisme, par des coefficients allométriques, mais ils n'ont pas la dimension d'*un temps*. Par exemple, les nombres des battements cardiaques des mammifères est un invariant a-dimensionnel, un nombre (environ  $1.2 \times 10^9$ ), qui, par un coefficient donné par la masse, donne la durée de vie de l'organisme en question. C'est ainsi qu'une souris et un éléphant ont des durées de vie qui diffèrent d'un facteur 50, mais le même nombre de battements cardiaques, qui ont donc une fréquence 50 fois plus grandes chez la souris. Nous renvoyons à (Bailly, Longo, et Montévil 2011) pour les détails techniques.

Cette deuxième temporalité contribue à établir et justifie un champ causal spécifique pour le vivant. Peut-être est-ce cet aspect qui est à interprété à certains égards comme *causalité rétrograde*, mais qui n'est pas une inversion temporelle. Il



## ANNEXE

s'agit plutôt d'un mouvement circulaire qui se met en place et qui est aussi au coeur de la dynamique de rétention/ protension minimale.

D'un point de vue mathématique, l'introduction d'une dimension de temps compacifiée donne, comme topologie du temps biologique,  $\mathbf{R} \times \mathbf{S}_1$  (une droite fois un cercle). Bien évidemment, le "rayon" de compacification demeure nul dans les analyses de l'inerte. Cette structure du temps brise certains aspects causaux classiques, disions nous : par la protension, il peut y avoir un changement au présent suite à une *attente* du futur. Toutefois, la seconde dimension compacifiée est exclusivement relative aux rythmes biologiques et aux flux de cette composante très spéciale "d'information" liée à la protension.

Dans nos analyses, on distingue deux types de rythmes biologiques :

- Les rythmes "externes", pilotés par des phénomènes extérieurs à l'organisme, d'origine physique ou physico-chimique et qui s'imposent à l'organisme. Ces rythmes sont donc les mêmes pour de nombreuses espèces, indépendamment de leur taille. Ils s'expriment en termes de périodes ou de fréquences physiques, donc dimensionnelles (s, Hz) et les invariants sont dimensionnels ; on les décrit par rapport à la dimension du temps physique (en exp(it)). Exemples : les rythmes saisonniers, le rythme circadien et tous leurs harmoniques et sous-harmoniques, les rythmes de réactions chimiques oscillantes à la température donnée, etc.
- Les rythmes "internes", d'origine endogène, propres à des fonctions physiologiques de l'organisme, dépendant donc de spécifications fonctionnelles purement biologiques. Ces rythmes sont caractérisés par des périodes qui scalent comme la puissance  $1/4$  de la masse de l'organisme et, rapportés à la durée de vie de l'organisme, qui, elle, scale de la même façon ; ils s'expriment donc par des nombres purs. Pour cette raison, ces invariants sont *numériques*, en contraste avec les grandes constantes de la physiques qui ont des *dimensions* – accélération, vitesse, action.... Dans notre description

## ANNEXE

par une nouvelle dimension "temporelle" compacifiée, les valeurs numériques correspondent alors à un "nombre de tours" indépendamment de l'extension temporelle physique effective (exemples : battements de cœur, respirations, fréquences cérébrales, etc., voir la représentation graphique dans (Bailly, Longo, et Montevil 2011)).

En résumé, les cycles biologiques endogènes, qui ne dépendent pas directement de rythmes physiques externes qui s'imposent, sont ceux qui présentent les caractéristiques suivantes :

- sont déterminés moins par des grandeurs dimensionnelles comme en physique (secondes, Hertz,...) que par des nombres purs (nombre de respirations ou de battements de cœur au cours d'une vie).
- scalent avec la taille de l'organisme (fréquences en puissance  $-1/4$  de la masse, périodes en puissance  $1/4$ ), ce qui n'est en général pas le cas des rythmes externes contraignants qui s'imposent à tous (circadien, par exemple).
- peuvent en cela se rapporter à une dimension "temporelle" supplémentaire compacifiée (un angle, en fait), par contraste avec la dimension temporelle usuelle (physique, thermodynamique, plus précisément), non compacte et pourvue de dimensionnalité.

Dans ce cadre, la situation critique étendue, correspondant au caractère auto-référentiel et individué de l'organisme, présente donc une temporalité topologique de type  $\mathbf{R} \times \mathbf{S}_1$ , alors que l'externalité de l'organisme (et la façon dont cette externalité réagit avec l'organisme) conserve sa topologie temporelle usuelle  $\mathbf{R}$ .

Sans changer au fond de la question, on peut présenter une façon de voir un peu différente : pour un organisme vivant, la situation critique étendue occuperait un

## ANNEXE

volume dans un espace à  $n$  dimensions, avec  $n \geq 5$ . Parmi ces  $n$  dimensions on distinguerait les trois dimensions de l'espace physique classique (topologie  $\mathbf{R}^3$ ) et les deux dimensions de temps biologique (topologie  $\mathbf{R} \times \mathbf{S}_1$ ), dont la dimension compactifiée prend un rayon nul hors de ce volume. Les  $n-5$  dimensions restantes correspondent aux valeurs compatibles des paramètres vitaux (températures entre  $T_1$  et  $T_2$ , métabolismes entre  $R_1$  et  $R_2$ , etc.) : tous des intervalles criticité étendue, dont les limites sont ceux de la viabilité. Les métriques d'espace du volume correspondraient en gros aux longueurs de corrélation ; les métriques du temps correspondraient maximale aux durées de vie (pour  $\mathbf{R}$ ) et aux nombres purs maximaux (fréquences maximales endogènes) pour  $\mathbf{S}_1$ . On remarquera que les rythmicités et cyclicités endogènes sont moins des rythmes ou des cycles proprement dits que des *itérations* dont le nombre total est fixé (nous renvoyons aux articles cités pour les détails techniques).

Revenons enfin au jeu rétention/protension. On propose de repérer le geste/expérience protensif premier, voire minimal, dans *l'attente du retour d'un rythme vital*. La protension donc se présenterait comme conséquence de cet acte intrinsèque au vivant : dès qu'il y a vie, dès son origine évolutive ou embryonnaire, un rythme s'établit, celui métabolique au moins, et les autres ensuite. Nous décrivons ce processus comme la formation soudaine, sorte de "big-bang", de la nouvelle dimension temporelle qui caractérise le vivant, la dimension des rythmes biologiques. Ils engendrent l'attente de leur propre retour, donc la protension/anticipation première qui justifie, sans téléonomie proprement dite ni causalité physique rétrograde, cette causalité biologique inversée dont un parlait plus haut, celle qui modifie l'action présente par la préparation du geste protensif.

# **BIBLIOGRAPHIE**

## BIBLIOGRAPHIE

- Adami, Christoph. 2004. Information theory in molecular biology. *Physics of Life Reviews* 1: 3–22.
- Adams, Frederick R. 1979. A goal-state theory of function attributions. *Canadian Journal of Philosophy* 9: 493–518.
- Allen, Colin, 2009 "Teleological Notions in Biology", The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2009 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/win2009/entries/teleology-biology/>>.
- Allen, Colin, Mark Berkoff, et George V. Lauder, éd. 1998. *Nature's purposes : analyses of function and design in biology*. Cambridge MA: The MIT Press.
- Anderson, R. Lanier. 2005. Neo-Kantianism and the Roots of Anti-Psychologism. *British Journal for the History of Philosophy* 13: 287–323.
- Ariew, André, Robert Cummins, et Mark Perlman, éd. 2002. *Functions: New Essay in the Philosophy of Psychology and Biology*. Oxford, New York: Oxford University Press.
- Aristote. 2000. *Physique I*. Traduit par Pierre Pellegrin. Paris: Flammarion.
- Aristote. 2003. *Physique II*. Traduit par Pierre Pellegrin. Vol. II. Paris: Nathan.
- Aristote. 2011. *Les parties des animaux*. Traduit par Pierre Pellegrin. Paris: Flammarion.
- Atlan, Henri. 1999. *La fin du "tout génétique"? : vers de nouveaux paradigmes en biologie : une conférence-débat organisée par le groupe Sciences en questions*. Paris: INRA.
- Ayala, Francisco J. 1970. Teleological explanations in evolutionary biology. *Philosophy of Science* 37: 1–15.
- Bachelard, Gaston. 1951. *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Paris: Presses Universitaires de France.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bachelard, Gaston. 1972. *L'engagement rationaliste*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Bachelard, Gaston. 1988. *La philosophie du non*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Bachelard, Gaston. 1991. *Le nouvel esprit scientifique*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Bachelard, Gaston. 1993. *La Formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris: Vrin.
- Bachelard, Gaston. 2000. *Le rationalisme appliqué*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Bachelard, Gaston. 2007. *Le matérialisme rationnel*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Bailly, Francis, et Giuseppe Longo. 2006. *Mathématiques et sciences de la nature, la singularité physique du vivant*. Paris: Hermann.
- Bailly, Francis, et Giuseppe Longo. 2008a. Situations critiques étendues: la singularité physique du vivant. In *Déterminismes et complexités : du physique à l'éthique. Autour d'Henri Atlan*, 57–76. Paris: La Découverte.
- Bailly, Francis, et Giuseppe Longo. 2008b. Schemes geometriques pour le temps biologique. *Noesis* 14 : 165-199.
- Bailly, Francis, et Giuseppe Longo. 2008c. Extended critical situation : the physical singularity of life phenomena. *Journal of Biological Systems* 16: 309–336.
- Bailly, Francis, et Giuseppe Longo. 2009. Biological organization and anti-entropy. *Journal of Biological Systems* 17: 63–96.
- Bailly, Francis, Giuseppe Longo, et Maël Montevil. 2011. A 2-dimensional Geometry for Biological Time. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 106: 474–84.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bak, Per, Chao Tang, et Kurt Wiesenfeld. 1988. Self-organized criticality. *Physical review A* 41: 364–374.
- Banfi, Antonio. 1969. *Esegesi e letture kantiane*. Vol. II. Urbino: Argalia.
- Barberousse, Anouk. 2004. Le nouveau visage du hasard. In *Le moment 1900 en philosophie*, éd. Frédéric Worms, 189–196. Villeneuve d'Ascq: Presses Universitaires du Septentrion.
- Barot, Emmanuel. 2009. *Kant Face Aux Mathématiques Modernes*. Paris: Vrin.
- Barrow-Green, June. 1997. *Poincaré and the three body problem*. Providence R.I., London: American Mathematical Society.
- Beck, Stephen. 2003. *The epigenome : molecular hide and seek*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Bedau, Mark. 1992a. Where's the Good in Teleology? *International Phenomenological Society* 52: 781–806.
- Bedau, Mark. 1992b. Goal-directed systems and the good. *The Monist* 75: 34–49.
- Bedau, Mark. 1993. Naturalism and teleology. In *Naturalism : a critical appraisal*, éd. Steven Wagner and Richard Warner. Notre Dame Ind.: University of Notre Dame Press.
- Beller, Mara. 1999. *Quantum dialogue : the making of a revolution*. Chicago: University of Chicago Press.
- Bernard, Claude. 1984. *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: Flammarion.
- Bigelow, John, et Robert Pargetter. 1987. Functions. *Journal of philosophy* 84: 181–196.
- Bitbol, Michel. 1996. *Mécanique quantique: Une introduction philosophique*. Paris: Flammarion.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bitbol, Michel. 1997. En quoi consiste la Révolution Quantique? *Revue Internationale de Systémique* 11: 215–239.
- Bitbol, Michel. 1998. *L'Aveuglante proximité du réel*. Paris: Flammarion.
- Bitbol, Michel. 2000. Le corps matériel et l'objet de la physique quantique. In *Qu'est-ce que la matière?: regards scientifiques et philosophiques*, éd. Françoise Monnoyeur, 215–239. Paris: Le livre de poche.
- Bitbol, Michel, Pierre Kerszberg, et Jean Petitot, éd. 2009. *Constituting Objectivity: Transcendental Perspectives on Modern Physics*. Springer Verlag.
- Boorse, Christopher. 1976. Wright on Functions. *Philosophical Review* 85: 70–86.
- Boorse, Christopher. 2002. A Rebuttal on Functions. In *Functions : new essays in the philosophy of psychology and biology*, 63–112. Oxford, New York: Oxford University Press.
- Botzung, Anne, Ekaterina Denkova, et Lilianne Manning. 2008. Experiencing past and future personal events: functional neuroimaging evidence on the neural bases of mental time travel. *Brain and cognition* 66: 202–12.
- Boyer, Alain. 2001. *Hors du Temps: Un Essai Sur Kant*. Vrin. Paris.
- Bru, Bernard. 1986. Postface à la réédition de l'Essai philosophique sur les probabilités. In *Essai philosophique sur les probabilités*. Paris: Bourgois.
- Buller, David, éd. 1999. *Function, selection, and design*. Albany N.Y.: State University of New York Press.
- Bunge, Mario. 2011. *Causality and Modern Science*. New York: Dover Publications.
- Canguilhem, Georges. 1968. *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris: Vrin.
- Cantor, Georg. 1990. *Gesammelte Abhandlungen mathematischen und philosophischen Inhalts*. Berlin, Heidelberg, Paris: Springer.



## BIBLIOGRAPHIE

- Cassirer, Ernst. 1907. Kant und die moderne Mathematik. (Mit Bezug auf Bertrand Russells und Louis Couturats Werke über die Prinzipien der Mathematik.). *Kant-Studien* 12: 1 – 49.
- Cassirer, Ernst. 1972. *La Philosophie des formes symboliques*. Vol. III. Paris: Les Éditions de Minuit.
- Cassirer, Ernst. 1973. *Sostanza e funzione Sulla teoria della relatività di Einstein*. Traduit par Giulio Preti. Firenze: La nuova Italia.
- Cassirer, Ernst. 1977. *Substance et fonction : éléments pour une théorie du concept*. Paris: Les Éditions de Minuit.
- Cassirer, Ernst. 1991a. *Essai sur l'homme*. Paris: Les Éditions de Minuit.
- Cassirer, Ernst. 1991b. *Logique des sciences de la culture : cinq études*. Traduit par Jean Carro et Joël Gaubert. Paris: Les Éditions du Cerf.
- Cassirer, Ernst. 1993. *Erkenntnis, Begriff, Kultur*. Hamburg: F. Meiner Verlag.
- Cassirer, Ernst. 1995. *Le problème de la connaissance dans la philosophie et la science des temps modernes*. Traduit par Jean Carro et Joël Gaubert. Vol. IV. Paris: Les Éditions du Cerf.
- Cassirer, Ernst. 2000. *La Théorie de la relativité d'Einstein. Éléments pour une théorie de la connaissance*. Traduit par Jean Seidengart. *Œuvres*. Paris: Les Éditions du Cerf.
- Cassirer, Ernst. 2001a. Kants Leben und Lehre. In *Gesammelte Werke Hamburger Ausgabe*. Vol. Band 8. Hamburg: Meiner.
- Cassirer, Ernst. 2001b. *Liberté et forme : l'idée de la culture allemande*. Paris: Les Éditions du Cerf.
- Cassirer, Ernst. 2004a. *Le problème de la connaissance dans la philosophie et la science des temps modernes*. Traduit par René Fréreau. Vol. I. Paris: Les Éditions du Cerf.

## BIBLIOGRAPHIE

- Cassirer, Ernst. 2004b. *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik : historische und systematische Studien zum Kausalproblem*. Hamburg: F. Meiner.
- Cassirer, Ernst, Hermann Cohen, et Paul Natorp. 1998. *L'École de Marbourg*. Traduit par Christian Berner, Fabien Capeillières, Marc De Launay, et Massimo Ferrari. Paris: Les Éditions du Cerf.
- Chakravartty, Anjan, 2011 "Scientific Realism", The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2011 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2011/entries/scientific-realism/>>.
- Chaline, Jean. 1999. *Les horloges du vivant : un nouveau stade de la théorie de l'évolution*. Paris: Hachette.
- Charpentier, Éric, Étienne Ghys, et Annick Lesne. 2006. *L'héritage scientifique de Poincaré*. Paris: Belin.
- Churchland, Paul M. 1985. The ontological status of observables: In praise of the superempirical virtues. In *Images of science : essays on realism and empiricism, with a reply from Bas C. van Fraassen*, éd. Paul M. Churchland et Clifford A. Hooker. Chicago: University of Chicago Press.
- Cohen, Hermann. 2001a. *La théorie kantienne de l'expérience*. Traduit par Eric Dufour et Julien Servois. Paris: Les Éditions du Cerf.
- Cohen, Hermann. 2001b. Kants Begründung der Ethik. In *Werke*, 3. Aufl. Vol. 2. Hildesheim: Georg Olms Verlag.
- Cohen, Ted. 1982. *Essays in Kant's aesthetics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Coleman, Francis. 1974. *The harmony of reason : a study in Kant's aesthetics*. Pittsburg: University of Pittsburgh Press.

## BIBLIOGRAPHIE

- Contessa, Gabriele. 2006. Constructive empiricism, observability and three kinds of ontological commitment. *Studies In History and Philosophy of Science Part A* 37: 454–468.
- Couturat, Louis. 1893. Les principes des mathématiques. *Revue de métaphysique et de morale* 12: 321–383.
- Craver, Carl F. 2001. Role functions, mechanisms, and hierarchy. *Philosophy of Science* 68: 53–74.
- Crick, F. 1970. Central dogma of molecular biology. *Nature* 227 : 561-563
- Crick, Francis, et James D. Watson. 1953. Molecular structure of nucleic acids. *Nature* 171: 737–738
- Cummins, Robert. 1975. Functional Analysis. *Journal of Philosophy* 72: 741–765.
- Darwin, Charles. 1891. *La descendance de l'homme et la sélection sexuelle*. Paris: Reinwald.
- Daudonnet, Jean-Marc, et Bernard Fischer. 2009. *Courbure des surfaces : introduction aux géométries non-euclidiennes : cheminement historique et implications philosophiques*. Boulogne-Billancourt: Éditions du Jipto.
- Davies, Paul. 2003. Norms of nature naturalism and the nature of functions. Cambridge MA, London: MIT Press.
- Dedekind, Richard. 2008. *La Creation Des Nombres*. Paris: Vrin.
- Depraz, Natalie. 2001. *La conscience : Approches croisées : des classiques aux sciences cognitives*. Paris: Armand Colin.
- Desprat, Nicolas, Willy Supatto, Philippe-Alexandre Pouille, Emmanuel Beaurepaire, et Emmanuel Farge. 2008. Tissue deformation modulates twist expression to determine anterior midgut differentiation in *Drosophila* embryos. *Developmental Cell* 15: 470–477

## BIBLIOGRAPHIE

- Devereux, Daniel. 1990. *Biologie, logique et métaphysique chez Aristote : actes du séminaire C.N.R.S.-N.S.F. : Oléron 28 juin-3 juillet 1987*. Paris: Editions du CNRS.
- Duchesneau, François. 1997. *Philosophie de la biologie*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Duchesneau, François. 1998. *Les modèles du vivant de Descartes à Leibniz*. Paris: Vrin.
- Dudley, John. 2012. *Aristotle's concept of chance : accidents, cause, necessity, and determinism*. Albany: State University of New York Press.
- Duflo, Colas. 1996. *La finalité dans la nature: de Descartes à Kant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Duhem, Pierre. 2004. *Sauver les apparences: Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*. Paris : Vrin.
- Dumouchel, Daniel. 1994. La découverte de la faculté de juger réfléchissante. *Kant-Studien* 85: 419–442
- Fernandez-Sanchez, Maria-Elena, Fanny Serman, Padra Ahmadi, et Emmanuel Farge. 2010. Mechanical induction in embryonic development and tumor growth integrative cues through molecular to multicellular interplay and evolutionary perspectives. *Methods in cell biology* 98 : 295–321.
- Van Fraassen, Bastiaan C. 1980. *The scientific image*. Oxford: Clarendon Press.
- Van Fraassen, Bastiaan C. 1994. *Lois et symétrie*. Traduit par Catherine Chevalley. Paris: Vrin.
- Frege, Gottlob. 1969. *Les fondements de l'arithmétique recherche logico-mathématique sur le concept de nombre*. Traduit par Claude Imbert. Paris: Éditions du Seuil.

## BIBLIOGRAPHIE

- Frezza, Giulia, et Giuseppe Longo. 2010. Variations on the theme of invariants: conceptual and mathematical dualities in physics vs biology. *Human Evolution* 25: 167–172.
- Fricke, Christel. 1990. Explaining the Inexplicable. The Hypotheses of the Faculty of Reflective Judgement in Kant's Third Critique. *Noûs* 24: 45–62.
- Friedman, Michael. 1992. *Kant and the exact sciences*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Galilée. 1979. *L'Essayeur*. Traduit par Christiane Chauviré. Paris: les Belles lettres.
- Gallagher, Shaun, et Francisco J Varela. 2003. Redrawing the map and resetting the time: Phenomenology and the cognitive sciences. *Canadian Journal of Philosophy* 29: 93–132.
- Gánti, Tibor. 2003. *The principles of life*. Oxford, New York: Oxford University Press.
- Garroni, Emilio. 1976. *Estetica ed epistemologia: riflessioni sulla Critica del giudizio*. Roma: Bulzoni.
- Gayon, Jean. 2006. Les biologistes ont-ils besoin du concept de fonction ? Perspective philosophique. *Comptes Rendus Palevol* 5: 479–487.
- Ginsborg, Hannah. 2001. Kant on understanding organisms. In *Kant and the sciences*, éd. Eric Watkins. Oxford: Oxford University Press.
- Ginsborg, Hannah. 2006. Kant's Biological Teleology and its Philosophical Significance. *A Companion to Kant*: 1–24.
- Ginsborg, Hannah. 2015 (à paraître). Oughts without intentions: a Kantian approach to biological functions. In *Kant's Theory of biology*, éd. Erik Watkins et Ina Goy. Berlin: De Gruyter. URL = <<http://zdi.swu.bg/media/309/Ginsborg,%20Oughts%20without%20intentions%20for%20Luxembourg.pdf>>

## BIBLIOGRAPHIE

- Godfrey-Smith, Peter. 1993. Functions: consensus without unity. *Pacific Philosophical Quarterly* 74: 196–208.
- Godfrey-Smith, Peter. 1994. A modern history theory of functions. *Noûs* 28: 344–362.
- Gould, Stephen J. 1998. *La vie est belle les surprises de l'évolution*. Paris: Éditions du Seuil.
- Gould, Stephen J., et Richard C. Lewontin. 1979. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. *Proceedings of the Royal Society of London Series B Containing papers of a Biological character Royal Society Great Britain* 205. The Royal Society: 581–598.
- Gould, Stephen J., et Elisabeth S. Vrba. 1982. Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*. 8: 4-15.
- Griffiths, Paul E. 1993. Functional Analysis and Proper Functions. *The British Journal for the Philosophy of Science* 44: 409–422.
- Griffiths, Paul E. 2001. Genetic information: A metaphor in search of a theory. *Philosophy of Science* 68: 394–412.
- Hallgrímsson, Benedikt. 2011. *Epigenetics : linking genotype and phenotype in development and evolution*. Berkeley: University of California Press.
- Harré, Rom. 1986. *Varieties of realism : a rationale for the natural sciences*. Oxford, New York: Blackwell.
- Heams, Thomas. 2009. Hérité. In *Les mondes darwiniens : l'évolution de l'évolution*, éd. Thomas Heams, Philippe Huneman, Guillaume Lecointre, et Marc Silberstein, 31–45. Paris: Éditions Syllepse.
- Helmholtz, Hermann. 1869. *Mémoire sur la conservation de la force : précédé d'un exposé élémentaire de la Transformation des forces naturelles*. Paris: V. Masson et fils.

## BIBLIOGRAPHIE

- Hempel, Carl Gustav. 1965. The logic of functional Analysis. In *Aspects of Scientific Explanation*, 297–330. New York: Free Press.
- Hempel, Carl Gustav, et Paul Oppenheim. 1948. Studies in the Logic of Explanation. *Philosophy of science* 15: 135–175.
- Hull, David L. 1977. A Logical Empiricist Looks at Biology. *The British Journal for the Philosophy of Science* 28: 181–189.
- Huneman, Philippe. 2006. Naturalising purpose: From comparative anatomy to the “adventure of reason”. *Studies in history and philosophy of biological and biomedical sciences* 37: 649–674.
- Huneman, Philippe, éd. 2007. *Understanding purpose : Kant and the philosophy of biology*. Rochester NY: University of Rochester Press.
- Huneman, Philippe. 2008. *Métaphysique et biologie : Kant et la constitution du concept d'organisme*. Paris: Kimé.
- Huneman, Philippe. 2011. La place de l’analytique de la biologie dans la philosophie transcendantale. In *Kant et les sciences : un dialogue philosophique avec la pluralité des savoirs*, éd. Sophie Grapotte, Mai Lequan, et Margit Ruffing, 253–266. Paris: Vrin.
- Husserl, Edmund. 1974. *L’Origine de la géométrie*. Traduit par Jacques Derrida. Paris: Presses Universitaires de France.
- Husserl, Edmund. 1991. *Leçons pour une phénoménologie de la conscience intime du temps*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Jablonka, Eva. 2005. *Evolution in four dimensions : genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life*. Cambridge MA: MIT Press.
- Jacob, François. 1970. *La logique du vivant une histoire de l’hérédité*. Paris: Gallimard.

## BIBLIOGRAPHIE

- Janz, Nathalie. 2000. Une réception “indirecte” de Gaston Bachelard ? De l’utilité de quelques concepts bachelardiens pour l’épistémologie d’Ernst Cassirer. In *Bachelard dans le monde, 187–202*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Johannsen, Wilhelm L. 1911. The genotype conception of heredity. *The American Naturalist* 45: 129–159.
- Kant, Immanuel. 1985. Sur une découverte selon laquelle toute nouvelle connaissance de la raison pure serait rendue superflue par une plus ancienne. In *Oeuvres philosophiques II*, tran. Ferdinand Alquié. Paris: Gallimard.
- Kant, Immanuel. 1986. *Opus postumum*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Kant, Immanuel. 1993. *Critique de la faculté de juger*. Traduit par Alexis Philonenko. Paris: Vrin.
- Kant, Immanuel. 1995. *Critique de la faculté de juger*. Traduit par Alain Renaut. Paris: Flammarion.
- Kant, Immanuel. 2001. *Critique de la raison pure*. Traduit par Alain Renaut. Paris: Flammarion.
- Kauark-Leite, Patricia. 2012. *Théorie quantique et philosophie transcendante : dialogues possibles*. Paris: Hermann.
- Kauffman, Stuart. A. 1995. *At home in the universe : the search for laws of self-organization and complexity*. New York: Oxford University Press.
- Kauffman, Stuart A. 1993. *The Origins of Order: Self Organization and Selection in Evolution*. New York: Oxford University Press.
- Kaufman, Thomas C., Mark A. Seeger, et Gary Olsen. 1990. Molecular and genetic organization of the antennapedia gene complex of *Drosophila melanogaster*. In *Advances in Genetics*.
- Keller, Evelyn Fox. 2003. *Le siècle du gène*. Traduit par Stéphane Schmitt. Paris: Gallimard.



## BIBLIOGRAPHIE

- Kitcher, Philip. 1993. Function and Design. *Midwest Studies in Philosophy* 18: 379–397.
- Klein, Felix. 1991. *Le programme d'Erlangen. Considérations comparatives sur les recherches géométriques modernes*. Traduit par Henri Padé. Sceaux: J. Gabay.
- Kolen, Filip, et Gertrudis Van de Vijver. 2007. Philosophy of biology: naturalistic or transcendental? *Acta biotheoretica* 55: 35–46.
- Krohs, Ulrich. 2009. Functions in biological and artificial worlds comparative philosophical perspectives. Cambridge MA: MIT Press.
- Krois, John Michael. 2004. Ernst Cassirer ' s philosophy of biology. *Sign Systems Studies* 32: 277–295.
- Kuhn, Thomas Samuel. 2008. *La structure des révolutions scientifiques*. Traduit par Laure Meyer. Paris: Flammarion.
- Kupiec, Jean-Jacques, Olivier Gandrillon, Michel Morange, et Marc Silberstein, éd. 2009. *Le hasard au cœur de la cellule probabilités, déterminisme, génétique*. Paris: Éditions Syllepse.
- Kupiec, Jean-Jacques, et Pierre Sonigo. 2000. *Ni Dieu ni gène : pour une autre théorie de l'hérédité*. Paris: Éditions du Seuil.
- Lahbib, Olivier. 2004. Bachelard, idéaliste transcendantal. *Dialegethai. Rivista telematica di filosofia* 6: 1–15.
- Laplace, Pierre-Simon de. 1921. *Essai philosophique sur les probabilités / par Pierre-Simon Laplace*. Paris: Gauthier-Villars.
- Lassègue, Jean. 2003. La genèse des concepts mathématiques. *Revue de synthèse* 124: 223–236.
- Laudan, Larry. 1981. A confutation of convergent realism. *Philosophy of science* 48: 19–49.

## BIBLIOGRAPHIE

- Laudan, Larry. 1987. *La Dynamique de la science*. Traduit par Philip Miller. Bruxelles: Pierre Mardaga.
- Lecuit, Thomas, et Loïc Le Goff. 2007. Orchestrating size and shape during morphogenesis. *Nature* 450. Nature Publishing Group: 189–92.
- Lennox, James G. 2001. *Aristotle's philosophy of biology : studies in the origins of life science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lewens, Tim. 2004. *Organisms And Artifacts: Design in Nature And Elsewhere*. MIT Press.
- Longo, Giuseppe. 2003. The Constructed Objectivity of Mathematics and the Cognitive Subject. In *Quantum Mechanics, Mathematics, Cognition and Action SE - 14*, éd. Mioara Mugur-Schächter et Alwyn Merwe, 129:433–463. Springer Netherlands.
- Longo, Giuseppe. 2009. Critique of computational reason in the natural sciences. In *Fundamental concepts in computer science*, éd. Erol Gelenbe et Jean-Pierre Kahane, 1–23. London: Imperial College Press/World Scientific.
- Longo, Giuseppe, Paul-Antoine Miquel, Carlos Sonnenschein, et Ana Soto. 2012. Is information a proper observable for biological organization? *Progress in biophysics and molecular biology* 109: 108–14.
- Longo, Giuseppe, et Maël Montévil. 2011a. Protention and retention in biological systems. *Theory in biosciences* 130: 107–117.
- Longo, Giuseppe, et Maël Montévil. 2011b. From physics to biology by extending criticality and symmetry breakings. *Progress in biophysics and molecular biology* 106: 340–7.
- Longo, Giuseppe, et Maël Montévil. 2012a. Randomness increases order in biological evolution. éd Michael J. Dinneen, Bakhadyr Khoussainov, et André Nies. *Computation, Physics and Beyond* 7318. Auckland, New Zealand: 289–308.

## BIBLIOGRAPHIE

- Longo, Giuseppe, et Maël Montévil. 2012b. The Inert vs. the Living State of Matter: Extended Criticality, Time Geometry, Anti-Entropy - An Overview. *Frontiers in physiology* 3: 39.
- Longo, Giuseppe, et Maël Montévil. 2013 (à paraître). Extended Criticality, Phase Spaces and Enablement in Biology. *Chaos, Solitons & Fractals*. URL = <<http://www.di.ens.fr/users/longo/files/CIM/ExtCritEnable.pdf>>
- Longo, Giuseppe, et Pierre-Emmanuel Tendero. 2007. The differential method and the causal incompleteness of Programming Theory in Molecular Biology. *Foundations of Science* 12: 337–366.
- Longuenesse, Béatrice. 1993. *Kant et le pouvoir de juger : sensibilité et discursivité dans l'analytique transcendantale de la Critique de la raison pure*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Mayr, Ernst. 1961. Cause and effect in biology. *Science, New Series* 134: 1501–1506.
- Mayr, Ernst. 1969. Footnotes on the Philosophy of Biology. *Philosophy of Science* 36: 197–202.
- McCloskey, Mary. 1986. *Kant's aesthetic*. Albany: State University of New York Press.
- McFarland, John. 1970. *Kant's concept of teleology*. Edinburgh: University of Edinburgh Press.
- McLaughlin, Peter. 1990. *Kant's critique of teleology in biological explanation: Antinomy and teleology*. *Studies in History of Philosophy*. Lewiston: E. Mellen Press.
- McLaughlin, Peter. 2001. *What Functions Explain: Functional Explanation and Self-Reproducing Systems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McLaughlin, Peter. 2015 (à paraître). Mechanical Explanation in the “Critique of the Teleological Power of Judgment”. In *Kant's Theory of biology*, éd. Ina Goy et

## BIBLIOGRAPHIE

- Eric Watkins. Berlin: De Gruyter. URL = <[http://www.philosophie.uni-hd.de/md/philssem/personal/mclaughlin\\_mechanical\\_explanation.pdf](http://www.philosophie.uni-hd.de/md/philssem/personal/mclaughlin_mechanical_explanation.pdf)>
- Mendel, Grégor. 1980. *Recherches sur les hybrides végétaux*. Orsay: CIEEIST.
- Micheli, Giuseppe. 1998. *Matematica e metafisica in Kant*. Padova: CLEUP Editrice.
- Millikan, Ruth. 1987. *Language, Thought, and other Biological Categories*. Cambridge MA: MIT Press,.
- Millikan, Ruth. 1989. In defense of proper functions. *Philosophy of science* 56: 288–302.
- Misslin, René. 2003. Une vie de cellule. *Revue de Synthèse* 124: 205–221.
- Monod, Jacques. 1970. *Le hasard et la nécessité : essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Paris: Éditions du Seuil.
- Montell, Denise J. 2008. Morphogenetic cell movements: diversity from modular mechanical properties. *Science* 322: 1502–1505.
- Morange, Michel. 1994. *Histoire de la biologie moléculaire*. Paris: La Découverte.
- Morange, Michel. 2005. *Les secrets du vivant : contre la pensée unique en biologie*. Paris: La Découverte.
- Morgan, Thomas. 1915. *The mechanism of Mendelian heredity*,. New York: Holt.
- Morgan, Thomas. 1926. *The theory of the gene*. New Haven: Yale University Press.
- Mossio, Matteo, Cristian Saborido, et Alvaro Moreno. 2009. An Organizational Account of Biological Functions. *The British Journal for the Philosophy of Science* 60: 813–841.
- Nagel, Ernest. 1961. The Structure of Science. In *The Structure of Science*, 401–427. New York: Harcourt Brace & World.
- Neander, Karen. 1991. Functions as selected effects: The conceptual analyst's defense. *Philosophy of Science* 58: 168–184.

## BIBLIOGRAPHIE

- Neumann-Held, Eva M, et Christoph Rehmann-Sutter, éd. 2006. *Genes in development : re-reading the molecular paradigm*. Durham: Duke University press.
- Nicolas, François. 2006. Quelle unité pour l'œuvre musicale? In *Les mathématiques, les idées et le réel physique*. éd. Albert Lautman, Jacques Lautman, et Fernando Zalamea. Paris: Vrin.
- Nissen, Lowell. 1983. Discussion: Wright on Teleological Descriptions of Goal-Directed Behavior. *Philosophy of Science* 50.
- Nissen, Lowell. 1997. *Teleological language in the life sciences*. Lanham Md.: Rowman & Littlefield Publishers.
- Noble, Denis. 2007. *La musique de la vie : la biologie au-delà du génome*. Paris: Éditions du Seuil.
- Noble, Denis. 2008. Genes and causation. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 366: 3001–3015.
- Noble, Denis. 2011. Differential and integral views of genetics in computational systems biology. *Interface focus* 1: 7–15.
- Omnès, Roland. 1994. *The Interpretation of Quantum Mechanics*. Princeton University Press.
- Pàldi, Andràs. 2005. L'inné et l'acquis du point de vue des phénomènes épigénétiques. In *L'inné et l'acquis : nouvelles approches épistémologiques*, éd. Marie-Christine Maurel et Bernard Brun. Aix-en-Provence: Publications de l'Université de Provence.
- Pàldi, Andràs. 2009. *L'hérédité sans gènes*. Paris: Éditions le pommier. Cité des sciences et de l'industrie.
- Palumbo, Margherita. 1984. *Immaginazione e matematica in Kant*. Roma: Laterza.

## BIBLIOGRAPHIE

- Pellegrin, Pierre. 2008. Aristote et la téléologie. In *Biologie du XXIe siècle : évolution des concepts fondateurs*, éd. Paul-Antoine Miquel. Bruxelles, Paris: De Boeck.
- Perfetti, Charles A., et Susan R. Goldman. 1976. Discourse memory and reading comprehension skill. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 15: 33–42.
- Perret, Nicole. 2012. A Symmetrical Approach to Causality in Biology. *Philosophia Scientiæ* 16: 177–195.
- Petitot, Jean, Francisco J. Varela, Bernard Pachoud, et Jean-Michel Roy, éd. 1999. *Naturalizing Phenomenology: Issues in Contemporary Phenomenology and Cognitive Science*. Stanford: Stanford University Press.
- Philonenko, Alexis. 1989. *L'école de Marbourg : Cohen, Natorp, Cassirer*. Paris: Vrin.
- Pichot, André. 1993. *Histoire de la notion de vie*. Paris: Flammarion.
- Pichot, André. 1999. *Histoire de La Notion de Gene*. Paris: Flammarion.
- Poincaré, Henri. 1999. *Science et méthode*. Paris: Kimé.
- Popper, Karl. 1989. *La logique de la découverte scientifique*. Traduit par Nicole Thyssen-Rutten et Philippe Devaux. Paris: Payot.
- Pouille, Philippe-Alexandre, Padra Ahmadi, Anne-Christine Brunet, et Emmanuel Farge. 2009. Mechanical signals trigger Myosin II redistribution and mesoderm invagination in *Drosophila* embryos. *Science signaling* 2: ra16.
- Pouille, Philippe-Alexandre, et Emmanuel Farge. 2008. Hydrodynamic simulation of multicellular embryo invagination. *Physical biology* 5: 015005.
- Pradeu, Thomas. 2011. Philosophie de la biologie. In *Précis de philosophie des sciences*, éd. Anouk Barberousse, Denis Bonnay, et Mikaël Cozic, 378–403. Paris: Vuibert.

## BIBLIOGRAPHIE

- Puech, Michel. 1990. *Kant et la causalité : étude sur la formation du système critique*. Paris: Vrin.
- Putnam, Hilary. 1995. *Mathematics, matter and method*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Quarfood, Marcel. 2004. *Transcendental idealism and the organism*. Stockholm: Almqvist & Wiksell.
- Quarfood, Marcel. 2006. Kant on Biological Teleology: Towards a Two-Level Interpretation. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 37: 735 – 747.
- Rosen, Robert. 1991. *Life itself: a comprehensive inquiry into the nature, origin, and fabrication of life*. New York: Columbia University Press.
- Roux, Sylvain. 2004. *La recherche du principe chez Platon, Aristote et Plotin*. Paris: Librairie philosophique J. Vrin.
- Ruse, Michael. 1971. Functional Statements in Biology. *Philosophy of Science* 38: 87–95.
- Ruse, Michael. 1988. *Philosophy of biology today*. Albany: State University of New York Press.
- Russell, Bertrand. 2000. *La philosophie de Leibniz : exposé critique*. Traduit par Jean Ray et Renée J. Ray. Paris: Editions des archives contemporaines.
- Russo, François. 1969. Groupes et géométrie : la genèse du programme d'Erlangen de Félix Klein. Paris: Palais de la découverte.
- Salem, Jean. 1996. *Démocrite : grains de poussière dans un rayon de soleil*. Paris: J. Vrin.
- Sandkühler, Hans Jörg. 1994. Le livre de la nature dans l'écrit de la culture. Cassirer et le nouvel esprit scientifique. In *Bulletin de la Société française de Philosophie*. Vol. 1. Paris: Armand Colin.

## BIBLIOGRAPHIE

- Sarkar, Sahotra, éd. 1996. *The philosophy and history of molecular biology : new perspectives*. Dordrecht, Boston: Kluwer Academic.
- Schopenhauer, Arthur. 2004. *Critique de la philosophie kantienne*. Paris: L'Harmattan.
- Schrödinger, Erwin. 1993. *Qu'est-ce que la vie ? : de la physique à la biologie*. Traduit par Léon Keffler. Paris: Éditions du Seuil.
- Shannon, Claude. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27: 379–423.
- Sober, Elliott. 1993. *Philosophy of biology*. Oxford: Oxford University Press.
- Steigerwald, Joan, éd. 2006a. Kantian teleology and the biological sciences. *Special Issue of Studies in History and Philosophy Of The Biological and Biomedical Sciences* 37.
- Steigerwald, Joan. 2006b. Kant's concept of natural purpose and the reflecting power of judgement. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 37: 712–734.
- Steigerwald, Joan. 2006c. Introduction: Kantian teleology and the biological sciences. *Studies in history and philosophy of biological and biomedical sciences* 37: 621–6.
- Sterelny, Kim, et Paul E. Griffiths. 1999. *Sex and death : an introduction to philosophy of biology*. Chicago I: University of Chicago Press.
- Stewart, John. 2004. *La vie existe-t-elle ? : Réconcilier génétique et biologie*. Paris: Vuibert.
- Supatto, Willy, Delphine Débarre, Bruno Moulia, Eric Brouzés, Jean-Louis Martin, Emmanuel Farge, et Emmanuel Beaurepaire. 2005. In vivo modulation of morphogenetic movements in *Drosophila* embryos with femtosecond laser pulses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 1047–1052.



## BIBLIOGRAPHIE

- Toepfer, Georg. 2012. Teleology and its constitutive role for biology as the science of organized systems in nature. *Studies in history and philosophy of biological and biomedical sciences* 43: 113–119.
- Varela, Francisco J, Humberto R. Maturana, et Ricardo Uribe. 1974. Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and a model. *Biosystems* 5: 187–196.
- Vasta, Salvatore. 2005. Lo specchio a una faccia. Morfologia e darwinismo in Ernst Cassirer. *Annali della facoltà di Scienze della formazione* 4 : 231–252.
- Van De Vijver, Gertrudis. 2004. Auto-organisation, identité, autonomie : figures kantiennes. *Revue internationale de philosophie* 228: 219–241.
- Van de Vijver, Gertrudis, Linda Van Speybroeck, Dani De Waele, Filip Kolen, et Helena De Preester. 2005. Philosophy of biology: outline of a transcendental project. *Acta biotheoretica* 53: 57–75.
- Vincent, Rachel. 2008. Mendel et la génétique. In *Biologie du XXIe siècle : évolution des concepts fondateurs*, éd. Paul-Antoine Miquel. Bruxelles, Paris: De Boeck.
- Vogeley, Kai, et Christian Kupke. 2007. Disturbances of time consciousness from a phenomenological and a neuroscientific perspective. *Schizophrenia bulletin* 33: 157–165.
- Waddington, Conrad. 1940. *Organisers & genes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Walsh, Denis M. 1996. Fitness et Function. *The British Journal for the Philosophy of Science* 47: 553–574.
- Walsh, Denis M. 2006. Organisms as natural purposes: The contemporary evolutionary perspective. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 37: 771–791.

## BIBLIOGRAPHIE

- Weber, Andreas, et Francisco J Varela. 2002. Life after Kant: Natural purposes and the autopoietic foundations of biological individuality. *Phenomenology and the cognitive sciences* 1: 97–125.
- Weismann, August. 1892. *Essais sur l'hérédité et la sélection naturelle*. Paris: Reinwald.
- Wieschaus, Eric. 1997. From molecular patterns to morphogenesis: The lesson from drosophila. In *Nobel Lecture Physiology or Medicine 1991-1995*, éd. N. Ringertz. Singapore: World Scientific Publishing.
- Worrall, John. 1989. Structural Realism: The Best of Both Worlds? *dialectica* 43: 99–124.
- Wright, Larry. 1976. *Teleological explanations : an etiological analysis of goals and functions*. Berkeley: University of California Press.
- Yockey, Hubert P. 1974. An application of information theory to the central dogma and the sequence hypothesis. *Journal of Theoretical Biology* 46: 369–406.
- Zammito, John. 1992. *The genesis of Kant's "Critique of judgment"*. Chicago, London: University of Chicago Press.
- Zammito, John. 2006. Teleology then and now: The question of Kant's relevance for contemporary controversies over function in biology. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 37: 748–770.
- Zammito, John. 2008. Kant and Naturalism Reconsidered. *Inquiry* 51: 532–558.
- Zanetti, Véronique. 1993. Die Antinomie der teleologischen Urteilskraft. *Kant-Studien* 84: 341–355.
- Zumbach, Clark. 1984. *The Transcendent science : Kant's conception of biological methodology*. The Hague : Martinus Nijhoff.