

SÉMINAIRE
PHILOSOPHIE ET SCIENCES

**OÙ EN EST-ON DU
DÉTERMINISME ?**

OPS

Bertrand Monthubert

PRÉAMBULE

Les articles qui suivent sont le fruit d'un travail collectif mené au cours de l'année universitaire 1994-1995 par les participants du séminaire *Philosophie et Sciences* qui se déroule à l'Ecole Normale Supérieure. Ce travail a pour origine une proposition que les organisateurs du séminaire *Philosophie et Mathématiques* m'ont faite de présenter un travail effectué par les participants du séminaire *Philosophie et Sciences* que j'anime, avec l'aide de quelques amis, depuis trois ans. Le séminaire *Philosophie et Sciences* rassemble essentiellement des élèves, littéraires comme scientifiques, souhaitant s'ouvrir à d'autres champs de connaissance que celui qui constitue leur formation principale. Les exposés sont faits par des élèves, à destination d'autres élèves, de disciplines différentes ; une condition est donc qu'ils soient auto-contenus. La proposition de Pierre Cartier et Maurice Loi de nous ouvrir les portes de leur séminaire prestigieux le temps d'une séance nous a incité à conduire un travail sur un thème choisi en commun, celui du déterminisme. Notre ambition n'était naturellement pas d'apporter des éléments totalement neufs à ce sujet sur lequel se sont penchés et se penchent encore nombre de philosophes et de scientifiques parmi les plus brillants. En revanche, nous avons tenté de faire une synthèse partielle d'une certaine lignée de positions rencontrées vis-à-vis du déterminisme. Cet exposé diffère donc de ceux, présentés habituellement dans le séminaire *Philosophie et Mathématiques*, qui retracent des travaux nouveaux.

La genèse des articles qui composent ce recueil a été la suivante. Après une réflexion à quelques-uns sur la direction que pouvait prendre notre travail, plusieurs participants du séminaire *Philosophie et Sciences* ont choisi de travailler sur un thème, et de nous présenter le résultat au cours d'un week-end à la station de l'ENS à Foljuif. Six exposés ont été prononcés et débattus par la douzaine de personnes présentes, avec un intérêt qui nous a amenés à prendre un retard considérable sur le planning... Les exposés étaient les suivants :

L'accueil philosophique de la mécanique quantique	C. Shaw
Mécanique quantique et probabilités. Les tentatives d'élaborer une théorie quantique déterministe	I. Mitrea
Idéalisme et réalisme de la causalité	P. Maniglier et B. Halimi
Déterminisme et biologie	L. Meunier
Déterminisme et approche sémantique des théories physiques	A. Barberousse
Déterminisme et sociologie des sciences	G. Beauvallet

Le lecteur trouvera les notes de chacun de ces exposés, à l'exception de celui sur la mécanique quantique. Il trouvera également le texte de l'exposé que j'ai prononcé

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

au séminaire *Philosophie et Mathématiques*, exposé qui se voulait une synthèse de quelques aspects des travaux précédents.

Je souhaite remercier chaleureusement tous les participants¹ du séminaire *Philosophie et Sciences* pour le travail remarquable qu'il ont fait, soit en exposant, soit en participant activement au débat, soit en m'aidant dans la synthèse de cet exposé.

Plusieurs autres personnes ont joué un rôle crucial : Quentin Meillassoux pour son aide constante, dévouée et décisive, Bernard Monthubert pour son œil de lynx, Erwane Monthubert pour son soutien généreux et constant.

Je tiens également à remercier la direction de l'Ecole Normale Supérieure pour le soutien moral et financier qu'elle a apporté à notre initiative.

Enfin, je remercie vivement les organisateurs du séminaire *Philosophie et Mathématiques* qui nous ont aiguillonné dans ce travail passionnant.

¹Anouk Barberousse, Godefroy Beauvallet, Jean-Marc Daul, Cyrille Epstein, Olivier Kammoun, Marc Herzlich, Patrice Maniglier, Ioan Mitrea, Loïc Meunier, Bertrand Monthubert, Patrick Popescu-Pampu, Colin Shaw.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE	3
------------------	----------

OUÛ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?	7
--	----------

DÉTERMINISME ET BIOLOGIE	7
LE DÉTERMINISME PHYSICO-CHIMIQUE DU VIVANT	8
DÉTERMINISME BIOLOGIQUE ET LIBERTÉ HUMAINE	8
L'emprise des gènes	9
Y a-t-il un esprit ?	9
LA PLACE DU HASARD	9
LOGIQUE SITUATIONNELLE ET OPTIMISATION	10
LA RÉCEPTION ÉPISTÉMOLOGIQUE DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE	10
ALEXANDRE KOJÈVE	11
GASTON BACHELARD	11
KARL POPPER	12
DÉTERMINISME ET APPROCHE SÉMANTIQUE DES THÉORIES PHYSIQUES	12
L'APPROCHE SÉMANTIQUE DES THÉORIES PHYSIQUES	12
QU'EST-CE QU'UN MODÈLE DÉTERMINISTE D'UNE THÉORIE PHYSIQUE ?	13
LE PRINCIPE DE CURIE	14

LA RÉCEPTION ÉPISTÉMOLOGIQUE DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE DE 1932 À 1936 : LE PROBLÈME DU DÉTERMINISME	17
--	-----------

AVANT PROPOS : LES RELATIONS DE HEISENBERG, LES STATISTIQUES ET LA PROBABILITÉ	17
LE PROBLÈME DU DÉTERMINISME	19
KOJÈVE ET LE REMPLACEMENT D'UNE THÉORIE PAR UNE AUTRE	22
BACHELARD ET LES MESSAGES D'UN MONDE INCONNU	25
LES DOUTES DE MEYERSON	27
LE CHOIX DE POPPER	29
LES CERTITUDES DE CASSIRER	32
CONCLUSION	34

IDÉALISME ET RÉALISME DE LA CAUSALITÉ	35
--	-----------

DÉTERMINISME ET BIOLOGIE	47
---------------------------------	-----------

INTRODUCTION	47
I- LE DÉTERMINISME PHYSICOCHIMIQUE DU VIVANT: L'APPROCHE ANALYTIQUE OU RÉDUCTIONNISTE	47

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

QUELQUES EXEMPLES DU DÉTERMINISME PHYSICO-CHIMIQUE _____	48
Déterminisme de la conformation tridimensionnelle _____	48
Cybernétique des gènes _____	49
CONSÉQUENCES _____	49
II- DÉTERMINISME BIOLOGIQUE ET LIBERTÉ HUMAINE _____	51
INTRODUCTION _____	51
L'EMPRISE DES GÈNES. _____	51
LA BIOLOGIE DE LA CONSCIENCE _____	53
III- LA PLACE DU HASARD _____	53
LE HASARD COMME PRINCIPE FONDAMENTAL DU PROCESSUS DARWINIEN _____	53
"LLA VIE EST BELLE" ? _____	54
IV- LOGIQUE SITUATIONNELLE ET OPTIMISATION _____	56
CONCLUSION _____	58

DÉTERMINISME ET APPROCHE SÉMANTIQUE DES THÉORIES

PHYSIQUES 61

INTRODUCTION : L'APPROCHE SÉMANTIQUE DES THÉORIES PHYSIQUES _____	62
MISE AU POINT SUR LE CONCEPT DE THÉORIE _____	62
L'APPROCHE SYNTAXIQUE DES THÉORIES PHYSIQUES _____	62
L'ESPRIT DE L'APPROCHE SÉMANTIQUE DES THÉORIES PHYSIQUES _____	63
QU'EST-CE QU'UN MODÈLE ? _____	63
LES MODÈLES DES THÉORIES PHYSIQUES _____	64
QUE SIGNIFIE "PROPOSER UN MODÈLE DÉTERMINISTE D'UNE THÉORIE PHYSIQUE" ? _____	66
LE DÉTERMINISME ENVISAGÉ COMME UN CERTAIN TYPE DE SYMÉTRIES DANS UNE CLASSE DE MODÈLES _____	66
QUE PEUT-ON DIRE FACE À UN MODÈLE (OU À UNE CLASSE DE MODÈLES) DÉTERMINISTE(S) ? _____	67
QUELLE EST LA SIGNIFICATION DU PRINCIPE DE CURIE ? _____	70
CONCLUSION : LES LEÇONS PHILOSOPHIQUES DU CHAOS DÉTERMINISTE _____	71
LE PROBLÈME DE L'INTERPRÉTATION DES VARIABLES DANS LES MODÉLISATIONS CHAOTIQUES : LE THÉORÈME DE RUELLE-TAKENS _____	71
MORALITÉ PHILOSOPHIQUE _____	72
BIBLIOGRAPHIE _____	74

L'APPEL DE LA FORÊT 77

LES RÉSEAUX DE LA PRATIQUE SCIENTIFIQUE ET LEUR FONCTIONNEMENT _____	78
DEUX DYNAMIQUES CONCURRENTES POUR EXPLIQUER LES PROGRÈS SCIENTIFIQUES _____	81
LE DÉTERMINISME, PRINCIPE FONDATEUR ET RÉSULTAT DE L'ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE _____	83

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

*Exposé prononcé au séminaire Philosophie et Mathématiques le 22 mai
1995*

Il est classique de rappeler comme en exergue la phrase célèbre de Pierre-Simon Laplace qui marque sans doute la première apparition de ce concept auquel Claude Bernard donnera le nom de déterminisme.

Nous devons donc envisager l'état présent de l'Univers comme l'effet de son état antérieur, et comme 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 ses 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...²

Dans cette citation apparaît un terme dont l'ambiguïté est à l'origine de la bifurcation de la problématique en deux questionnements distincts. En effet, l'idée de Laplace peut-être vue sous deux angles, suivant que l'on considère ou non la manière qu'a l'"intelligence" évoquée de "connaître" toutes les forces et toutes les situations. Si on occulte le moyen de connaissance, on arrive à l'expression d'un déterminisme de la réalité en soi, dont ne disent rien les théories physiques. Celles-ci, en effet, ont comme seul moyen de connaissance la mesure, qui est le pont entre les modèles qu'elles développent et le réel. Plus que du déterminisme lui-même, la science actuelle nous parle plutôt de prédictibilité. Nous allons donc voir quel statut a le déterminisme dans le contexte scientifique, et quelles ont été quelques-unes des prises de positions épistémologiques afférentes.

Déterminisme et biologie

L'idée du déterminisme est donc apparue dans le contexte de la science. Les avancées dans la connaissance scientifique l'ont motivée, puis avec l'apparition de la Mécanique Quantique, l'ont remise en question. Cet exposé ne porte pas sur les éléments de physique qui ont contribué à ce débat, car ils sont le plus souvent bien connus. Ioan Mitrea en a fait une très bonne synthèse.

²Pierre-Simon Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités*, rééd. Bourgeois, 1986, p. 32-33

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

En revanche, les liens entre le déterminisme et la biologie sont moins connus ; en voici quelques aspects, issus du travail de Loïc Meunier. Nous allons ainsi examiner quelles formes de déterminisme sont en jeu au niveau de la biologie.

Le déterminisme physico-chimique du vivant

Le terme de déterminisme trouve son origine dans la pensée de Claude Bernard. Pour ce biologiste, le déterminisme apparaît comme la base de toute méthode scientifique expérimentale.

" Il faut admettre comme un axiome expérimental que chez les êtres vivants aussi bien que dans les corps bruts les conditions d'existence de tout phénomène sont déterminées d'une manière absolue (...) Tous les phénomènes de quelque ordre qu'ils soient existent virtuellement dans les lois immuables de la nature, et ils ne se manifestent que lorsque leurs conditions d'existence sont réalisées."³

Cette approche scientifique a obtenu certains succès. En voici deux :

◆ Le déterminisme de la conformation tridimensionnelle

Les ribosomes sont des constituants cellulaires responsables de la traduction des ARN messagers en protéines. Ces ribosomes ont une structure spatiale qui dépend des conditions chimiques dans lesquelles ils se trouvent.

En faisant varier la composition chimique élément par élément, on peut discerner des facteurs de variation univoque de la conformation tridimensionnelle. Mieux, on peut montrer que la manière dont cette conformation est soumise à la composition chimique est codée dans des éléments tels que la séquence primaire d'un ARN. On obtient donc ainsi une certaine prévisibilité.

◆ La cybernétique des gènes

Au sein d'une cellule, on observe un fouillis moléculaire dû aux interactions qui s'exercent entre les molécules. Malgré l'allure désordonnée de la dynamique, on observe des comportements complexes et cohérents. L'observation d'un virus simple a permis d'effectuer une modélisation, qu'évoque François Gros :

"Avec le modèle lambda on détient la connaissance, sans doute la plus précise au niveau moléculaire, d'une horloge génétique commandant le développement complet d'un système biologique à partir d'un programme entièrement codé au niveau de l'ADN qu'il renferme."⁴

Déterminisme biologique et liberté humaine

Les deux exemples qui précèdent montrent de quelle manière le postulat déterministe peut apparaître comme partiellement validé dans le contexte de la biologie. Se pose alors le problème classique : si le fonctionnement du vivant se réduit à des processus physico-chimiques, où se trouve la liberté humaine ? Une des pistes pour la faire apparaître serait de mettre en évidence des possibilités de rupture dans les chaînes causales. L'étude biologique des comportements, qui va de l'étude du système nerveux central jusqu'à celle du déterminisme génétique, permet de poser quelques jalons dans la problématique.

³Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, cité dans Encyclopedia Universalis à *Déterminisme*.

⁴François Gros, *Les secrets du gène*, Ed.Odile Jacob, 1986, p.134

L'emprise des gènes

On a vu précédemment qu'un certain codage génétique existe, qui détermine des comportements ultérieurs. Mais quelle est la portée exacte de ce codage ? Détermine-t-il tout ?

La génétique du comportement s'intéresse directement à ce problème. Des expériences de comparaison de lignées pures de souris ont permis de montrer que si il existe bien une composante héréditaire des comportements, dont on peut trouver une origine partielle dans les gènes, cette composante est d'autant moins forte que l'organisme est plus souple, plus adaptable. Le rôle permanent et essentiel de l'apprentissage est ainsi mis en avant.

Y a-t-il un esprit ?

Une des explications avancées pour valider la sensation humaine de liberté est l'existence d'une entité irréductible aux processus physico-chimiques, communément appelée esprit. Pour le mettre en évidence, il faudrait traquer le geste, au sens général de mouvement quelconque, qui ne soit le fruit d'un processus causal.

Des expériences permettent de préciser un peu ce point. Elles utilisent une caméra à positrons placée dans le cerveau d'un singe, qui visualise les débits sanguins locaux du cerveau. On peut ainsi mettre en évidence une corrélation entre l'activité du cerveau et les états de conscience. Plus précisément, on peut voir que certains neurones réagissent plus fortement que d'autres à des stimulation précises, telles que la production de l'image d'un visage donné dans une position donnée. Ce type d'expérience conduit certains neurobiologistes, tels que Jean-Pierre Changeux, à proclamer "*l'identité entre états mentaux et états physiologiques ou physico-chimiques du cerveau*"⁵, si bien qu'il n'y a pas à proprement parler d'Esprit puisqu'il n'y a plus lieu de séparer l'activité mentale de l'activité neuronale.

La place du hasard

S'il n'y a pas d'esprit, la liberté humaine ne peut provenir que de l'existence de failles dans les processus déterminés. C'est ainsi que des biologistes évoquent le hasard pour expliquer certains phénomènes évolutifs où les causes précises sont partiellement inexpliquées.

C'est le cas des extinctions en masse. Si on regarde les familles de fossiles, leur nombre permet de mesurer la variété des espèces qui les composent. Au cours de l'histoire de la Terre, on constate que cette diversité augmente globalement, mais que sur quelques périodes courtes (moins d'un million d'années), le nombre de ces familles a fortement diminué. Cette diminution, a été jusqu'à être de l'ordre de 50 %, ce qui signifie probablement une disparition de plus de 99 % des individus. Pendant ces périodes d'extinction en masse, la mort semble frapper aveuglément. Le bouleversement des conditions de vie interrompt le processus darwinien. Au phénomène de "survivance du plus apte", caractéristique du mécanisme darwinien, se substitue celui de "survivance du plus chanceux". Les éléments constitutifs de ces catastrophes ne semblent pas en effet recouvrir une quelconque régularité.

⁵ Jean-Pierre Changeux, *L'homme neuronal*, Fayard, 1983, p.334

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

L'appel au hasard intervient donc alors pour expliquer ces phénomènes étranges. Il convient de noter toutefois que l'existence de ce hasard n'est pas démontrée mais seulement invoquée.

Logique situationnelle et optimisation

En biologie, si un déterminisme global apparaît comme problématique, des formes locales sont possibles. C'est ce que Popper a mis en lumière en fondant sa logique des situations. Selon lui, si la définition et la situation d'un organisme vivant sont données, *"l'idée d'essai et d'élimination de l'erreur ou darwinisme devient non seulement applicable mais presque logiquement nécessaire."*⁶. Cette idée revient à supposer que les organismes vivants tendent à optimiser les situations dans lesquelles ils se trouvent. Deux exemples illustrent ce point de vue.

- ◆ Sur une tige, de quelle manière les feuilles qui poussent se répartissent-elles ? Des expériences ont pu montrer que cette répartition est celle qui permet d'obtenir l'encombrement stérique le plus faible, donc d'avoir une optimisation de la structure spatiale.
- ◆ La pollinisation du figuier par l'hyménoptère Agaonide révèle le même type de processus. L'hyménoptère Agaonide femelle possède la particularité de pouvoir déterminer le sexe de ses descendants. De quelle façon décide-t-elle alors celui-ci ? En mesurant le rapport du nombre de mâles pondus relativement au nombre de femelles, on constate qu'il est égal à celui qu'on obtient par le calcul en supposant que la femelle adopte une stratégie d'optimisation.

Le déterminisme local repose donc sur le principe d'une optimisation de l'évolution du système en fonction des conditions de départ.

En biologie, on a donc une multitude d'approches du déterminisme. On constate néanmoins un manque d'outils permettant de poser des jalons précis dans le cadre de cette problématique, même si les pistes à suivre ne manquent pas, comme la biologie de la conscience, par exemple.

Ce manque d'outils semble toutefois conduire à faire appel au hasard dans certains cas, pour tenter d'expliquer des phénomènes dont on n'a pas les moyens de comprendre les causes.

Mais en fin de compte, c'est surtout sur le mode heuristique que le déterminisme apparaît le mieux, en tant que stratégie de recherche prônée fructueusement par Claude Bernard.

La question devient ainsi en grande partie : quel est le lien entre le déterminisme et la science, celle-ci peut-elle se passer de celui-là ?

La réception épistémologique de la mécanique quantique

Dans les années 20 et 30, avec la percée de la mécanique quantique, s'est ainsi ouverte une période de trouble chez les épistémologues. Deux points cruciaux se faisaient jour : l'aspect probabiliste de la mécanique quantique, et les inégalités d'incertitude de Heisenberg. En suivant l'exposé de Colin Shaw, nous pouvons

⁶Ibid. p.238

observer quelques aspects de la réception épistémologique de la mécanique quantique.

Dès 1929, de Broglie a pressenti quels seraient les axes de réflexion à venir :

Lois causales remplacées par des lois de probabilité, individus physiques bien localisés et à mouvement bien défini remplacés par des individus physiques qui refusent de se laisser représenter simplement et ne peuvent jamais être à moitié décrits; telles sont les conséquences surprenantes des nouvelles théories. En creusant sous les lois de probabilité parviendrait-on à retrouver les lois causales comme on a retrouvé naguère derrière les lois statistiques des gaz les lois causales du mouvement des molécules ? Certains arguments porteraient à le croire mais il serait imprudent de l'affirmer.⁷

Trois prises de position épistémologiques seront tenues ensuite :

- ◆ Tout d'abord, on peut penser qu'effectivement, les limites de la connaissance sont bien décrites par la théorie quantique et qu'au-delà de ces limites l'on ne peut rien connaître.
- ◆ Ou bien, on peut seulement espérer que la théorie est incomplète et que les limites ne sont qu'apparentes ; bientôt la physique rétablirait la légalité du déterminisme au sein de la physique.
- ◆ La troisième possibilité est celle prise par Bohr plus tard, quoiqu'il en formule déjà en 1927 les premières ébauches, qui pense que les deux théories physiques, classique et quantique, sont mutuellement exclusives mais sont complémentaires.

Ces positions domineront par la suite parmi les épistémologues. L'enjeu à ce moment de l'histoire est le suivant : la philosophie doit-elle remettre en question ses catégories traditionnelles de causalité et de déterminisme ? Dans ce débat, les philosophes ne sont pas seuls : les physiciens eux-mêmes s'intéressent aux conséquences philosophiques de leurs découvertes ; ce fut notamment le cas des fondateurs de l'École de Copenhague, Heisenberg et Bohr. Dans la suite, nous allons voir quelles ont été les attitudes de quelques philosophes dans ce débat.

Alexandre Kojève

Alexandre Kojève a d'emblée accepté la nouvelle théorie, ainsi que ses conséquences. Pour lui, le déterminisme définit un programme pour la science, un horizon, un idéal. Ce fut la profession de foi du scientifique et la prière du philosophe. Il relativise ainsi la nature de ce principe, et surtout pense que la nouvelle théorie ne lui laisse pas de place, en ce qu'elle est profondément fondée sur le statistique, qui rend le déterminisme invérifiable.

Gaston Bachelard

Pour Bachelard, le scientifique a raison, et le philosophe doit suivre. Son point de vue est pragmatique : le physicien quantique n'a plus le même rapport au réel que le physicien classique. Il n'est plus "l'un d'entre nous" (il ne travaille plus avec l'idée d'observation de la réalité en soi), mais c'est un technicien du rationnel qui n'a pour repère que la logique intrinsèque de sa théorie.

"Peu à peu, c'est la cohérence rationnelle qui en vient à supplanter en force la conviction la cohésion de l'expérience usuelle. La

⁷ Louis de Broglie. Déterminisme et causalité dans la physique contemporaine, in *Revue de Métaphysique et de Morale*, Paris:1929, pp. 433-443.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

microphysique est non plus une hypothèse entre deux expériences, mais bien plutôt une expérience entre deux théorèmes."⁸

Le matériau du physicien devient alors le modèle. Bachelard se trouve ainsi en accord avec l'interprétation de Copenhague, et ce point de vue va régner ensuite. On verra en quoi il est d'une grande efficacité scientifique.

Karl Popper

Karl Popper, pour sa part, était hostile aux thèses de Heisenberg. S'il acceptait que le matériau de base de la mécanique quantique soit le statistique, il refusait d'abandonner pour autant le principe de causalité, qui restait pertinent au niveau de la particule. Selon lui, le statistique ne mène pas à l'indéterminisme.

Popper déplaça alors le problème vers la métaphysique : ce n'est pas scientifiquement qu'on aura une réponse. En effet, si l'indéterminisme était une loi de science, alors il faudrait, dans le cadre poppérien, le soumettre à des tests pour en évaluer la falsifiabilité. On entrerait alors dans le domaine de la causalité et du déterminisme...

Pour Popper, le déterminisme est donc un élément vital de la science.

La croyance métaphysique en la causalité semble donc plus fertile dans ses diverses manifestations que n'importe quelle métaphysique indéterministe. Nous pouvons, en effet, constater l'effet paralysant que les commentaires de ce dernier ont eu sur la recherche.⁹

C'est la guerre qui a interrompu le débat, qui ne fut pas repris avec la même ampleur au moment où la physique a connu un développement qui constituait un enjeu stratégique majeur.

Déterminisme et approche sémantique des théories physiques

A l'issue de la courte étude qui précède, deux problématiques se dessinent :

- ◆ Quel est le rôle de l'hypothèse déterministe dans le développement de la science ; quel est son rapport à la science ?
- ◆ De quoi les physiciens parlent-ils ? Sur quoi travaillent-ils ? Quel est le rôle du modèle ?

Pour tenter d'avancer dans la réflexion sur ces problématiques, il faut présenter une théorie philosophique qui clarifie les problèmes posés par la notion de déterminisme. L'approche sémantique des théories physiques, présentée par Anouk Barberousse, permet à la fois de mieux comprendre le déterminisme, et d'évaluer s'il permet de mieux comprendre le monde.

Parler philosophiquement du déterminisme en physique impose de regarder l'expression que cette notion scientifico-philosophique a trouvée dans la pratique scientifique contemporaine.

L'approche sémantique des théories physiques

⁸ Gaston Bachelard. *Noumène et microphysique*. Paris Vrin 1932. p, 17.

⁹ Ibid. p. 123.

Une théorie est un objet qui ordonne la représentation d'une classe de phénomènes. Elle possède plusieurs caractéristiques :

- ◆ L'unité du domaine de phénomènes étudiés
- ◆ L'unité des principes d'explication (la cohérence)
- ◆ L'ambition de complétude

L'approche sémantique des théories physiques est l'étude du rapport des théories à la vérité. Son objet principal est d'observer la façon dont les scientifiques construisent des modèles de ces théories.

Un modèle est ce qui permet l'interprétation d'une théorie, ce qui fait le lien entre la théorie et le système étudié. Le modèle a donc une fonction de représentation de la réalité, mais c'est sur lui que la théorie peut travailler.

En physique, la valeur d'une théorie est la façon dont elle permet de décrire une certaine classe de modèles qui contient ceux des phénomènes qu'elle est censée étudier.

Toutefois, une théorie admet le plus souvent plusieurs modèles applicables à un même système, qu'on peut classer.

Une manière de classer les modèles est de relever les symétries (invariances par rapport à des transformations données de l'espace des phases) sous-jacentes. Ces symétries imposent en effet certaines structures aux lois telles qu'elles s'appliquent dans les modèles. Ainsi, la relativité galiléenne, qui n'est autre qu'une symétrie (c'est une invariance par translation), impose que le vecteur accélération soit invariant par changement de référentiel galiléen, et ceci indépendamment de la connaissance de la loi de Newton.

Les symétries jouant un rôle primordial dans la classification des modèles, nous allons voir comment le déterminisme peut être vu sous cet angle.

Qu'est-ce qu'un modèle déterministe d'une théorie physique ?

En 1953, Bertrand Russell a fourni une condition nécessaire et suffisante pour qu'un modèle soit déterministe, qui, légèrement corrigée¹⁰, est la suivante :

il existe un fonction f , telle que pour tout instant t , pour toute durée $b > 0$, et pour toute trajectoire dans l'espace des phases s , on ait $s(t+b) = f(s(t), b)$.

Cette caractérisation est intéressante en ce qu'elle met en lumière la nature profonde du déterminisme comme expression de symétries. En effet, le modèle est déterministe s'il y a une périodicité des trajectoires de l'espace des phases qui possèdent un point double. On a là une invariance temporelle.

Que peut-on alors dire d'un modèle déterministe ? Trois possibilités apparaissent :

- ◆ Dire : "ce modèle est bon", ou le meilleur possible. Cela peut amener, face à un modèle indéterministe, à tenter de trouver des variables cachées. Cette attitude est celle de René Thom, pour qui "*le déterminisme n'est pas une donnée, mais une conquête*".
- ◆ On peut aussi prendre des précautions. Le déterminisme étant l'expression d'une symétrie de l'espace des phases, on peut se dire que le modèle contient peut-être trop de symétries par rapport aux symétries réelles du système.
- ◆ On peut aussi adopter un point de vue empiriste. Ainsi, le plus que l'on puisse dire à propos d'un système réel est : le type de modèle qui décrit ce système réel est (ou n'est pas) déterministe, et est tel qu'un modèle de ce type a une histoire

¹⁰ cf. l'exposé d'Anouk Barberousse

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

(une trajectoire dans son espace des phases) qui coïncide avec l'histoire du système réel durant tel intervalle de temps relativement aux valeurs des grandeurs physiques pertinentes. Par conséquent, ce qui a un sens, ce n'est pas de dire d'un système réel qu'il est déterministe (ou indéterministe), mais seulement qu'il peut être conçu comme étant déterministe (ou indéterministe), parce qu'un même système peut être conçu comme étant décrit par des modèles appartenant (simultanément ou non) à des types différents.

Pour approfondir cette question, observons le lien entre le déterminisme et le principe de Curie.

Le principe de Curie

Le principe de Curie s'énonce de la façon suivante "quand certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits" - ou encore, sous sa forme contraposée : "une asymétrie ne peut venir que d'une asymétrie".

La recherche de modèles déterministes procèdent de ce principe en ce qu'elle s'apparente, comme nous l'avons vu précédemment, à la recherche d'une symétrie de l'espace des phases.

Le principe de Curie constitue une véritable stratégie de recherche : il s'agit de chercher des solutions n'introduisant aucune asymétrie nouvelle par rapport à l'exposé du problème. Cette recherche du maximum de symétries internes rend le problème plus facile à résoudre.

Ce qu'on peut appeler le déterminisme méthodologique, qui a été promu par Claude Bernard, et a été considéré comme indispensable à la science par Popper, est donc en tant que stratégie de recherche un des instruments les plus puissants pour comprendre les phénomènes.

Nous venons donc de voir, d'un point de vue philosophique, que le travail sur des modèles, d'une part, et la recherche de modèles déterministes, d'autre part, sont d'une grande fécondité. Parallèlement, on ne peut limiter cette réflexion aux aspects philosophiques : si le déterminisme est à la fois un concept interne aux théories scientifiques, un cadre et une stratégie de recherche, et une croyance des chercheurs eux-mêmes, on doit prendre en compte la complémentarité de ces approches.

La recherche, en tant qu'activité humaine et sociale, n'échappe pas à une approche anthropologique et sociologique adéquate. C'est l'objet de la sociologie des sciences, et on peut s'interroger dans ce cadre sur les raisons qui ont fait triompher la manière actuelle de faire de la recherche en sciences. Sans entrer dans les détails, on peut suggérer comme le fait Godefroy Beauvallet, que la structure de la communication scientifique, par exemple, rend l'utilisation de modèles nécessaire et performante.

L'école de Copenhague a donc adopté une position philosophique qui a largement contribué à l'efficacité du développement scientifique : le physicien doit travailler sur des modèles, et c'est eux dont on se demande si ils sont déterministes. Nous avons ainsi vu que le déterminisme apparaît de manière essentielle sous l'angle heuristique.

En fin de compte, nous sommes bien devant deux problèmes distincts quand nous parlons de déterminisme, ainsi que nous le pressentions en introduction :

le problème de l'existence d'une causalité au niveau de la réalité même (et pas simplement à celui de notre appréhension parcellaire du réel à travers les modèles) le problème de la nécessité d'une causalité fortement affirmée pour que les théories scientifiques puissent se développer. A la première énigme, force nous est de dire que nous ne savons toujours pas répondre. La Mécanique Quantique n'a pas aboli le déterminisme, qui est au coeur des fonctions d'onde.

Les objections au déterminisme que nous avons pu rencontrer jusqu'ici ne se réfèrent-elles qu'aux modèles. La manière d'appréhender la réalité en soi, si on accepte l'existence de celle-ci, passe classiquement par une approche quantitative de mesure. Les inégalités d'incertitude de Heisenberg montrent le caractère inéluctablement approximatif de la représentation que l'on peut faire par le biais de la mesure. La théorie du chaos, et plus particulièrement la découverte de systèmes dynamiques possédant la propriété de sensibilité aux conditions initiales, montre que pour ces systèmes, si on est en présence d'une imprécision dans la position dans l'espace des phases à un instant donné, on ne peut contrôler l'imprécision de cette position à un instant ultérieur. La conjonction des inégalités de Heisenberg et de la théorie du chaos ruinent les espoirs de toute prédictibilité, même approchée.

Nous devons donc tirer un trait sur la prédictibilité. Cependant, ces arguments ne nous donnent pas d'information sur le déterminisme de la réalité en soi. La discussion sur le déterminisme dans le cadre des modèles ne pouvait donc s'intéresser qu'aux aspects heuristiques. La question du déterminisme se limite-t-elle alors ?

La question sous-jacente, si on veut parler de la réalité en soi, est de savoir si on y a accès. La stratégie qui a été menée pendant des siècles a été la construction d'objets mathématiques représentant la réalité perçue. La mesure a été le traducteur officiel de cette démarche. Les mathématiques se sont donc en grande partie développées avec cette perspective de produire un objet de pensée conforme à l'observation. L'apparition de la mécanique quantique a sonné le glas de cette stratégie, comme nous l'avons vu précédemment, en montrant qu'elle ne pouvait déboucher que sur une approximation. Devons-nous en déduire que les mathématiques ne peuvent rien dire de la réalité en soi ? Accepter ces limites posées à la connaissance humaine correspond à une prise de position métaphysique laissant toute sa place au religieux. On peut le refuser.

Pour répondre à la question du rapport des mathématiques au réel, il convient de se demander de quoi parlent les mathématiques. C'est ce que font certains philosophes, qui s'interrogent sur l'interprétation métaphysique des fondements des mathématiques. Alain Badiou, par exemple, forme une interprétation ontologique de certains axiomes de la théorie des ensembles. Ce travail montre que c'est peut-être en revenant aux éléments fondateurs des mathématiques que l'on pourra prendre une autre direction dans la voie de la description du réel, en abandonnant au moins partiellement la perspective quantitative.

Malheureusement, ces travaux sont en cours et je ne suis pas en mesure d'en parler plus longuement. Sans doute leurs auteurs auront-ils l'occasion d'en parler eux-mêmes dans le cadre de ce séminaire, et apporter ainsi indirectement une pierre à la réflexion sur le déterminisme.

En ce qui concerne le problème de la nécessité d'affirmer fortement le postulat déterministe pour que les théories scientifiques puissent se développer, nous avons

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

avancé plus d'arguments, allant dans le sens de la validation de cette nécessité. Le déterminisme constitue ainsi à la fois un cadre de recherche et la promesse d'une possibilité de théorisation scientifique. Le déterminisme est bien doublement au coeur de la démarche du chercheur : il l'autorise à attaquer de nouveaux domaines ("la où il y a de la causalité, il y a possibilité d'approche scientifique"), et il lui fournit un cadre de travail (toute l'approche calcul infinitésimal / EDP suppose le déterminisme). Si l'on voulait utiliser des termes savants, on pourrait dire qu'il y a une dialectique entre le déterminisme et les théories scientifiques, l'un se développant et se renforçant grâce à l'autre, et réciproquement.

Il s'agit cependant d'une dialectique un peu particulière, puisque nous sommes incapables d'assurer la réalité du déterminisme (c'était la première énigme). Et pourtant, nous en avons absolument, nécessairement besoin pour travailler. Cette figure apparemment bancal, où le déterminisme sort de l'activité scientifique et se pose immédiatement en alter-ego, en partenaire extérieur à cette activité, pourrait être une impasse. Nous avons pourtant deux pistes pour en sortir : d'une part ce schéma ressemble fort à celui que Jean-Pierre Dupuy appelle le "bootstrapping", et d'autre part, c'est un schéma classique dans un certain nombre de disciplines. Bon nombre de concepts fondateurs d'une démarche scientifique n'ont pas de réalité assurée. C'est justement la discipline, la démarche, qui conspire à fonder la réalité du concept sous-jacent : dans le cadre de cette discipline, dans la vision du monde qu'elle propose, le concept a une réalité. Hors d'elle, rien d'assuré... Les exemples ne manquent pas : la société en sociologie, l'individu en économie, l'esprit en sciences cognitives, etc. Autant de concepts fondamentaux des disciplines qui sont également éléments premiers et buts.

C'est l'anthropologie, semble-t-il, qui va le plus loin dans la reconnaissance de ces liens intimes, au coeur des disciplines, entre activité de recherche et les résultat concepts essentiels. Les anthropologues revendiquent en effet la "construction de leur champ de recherche" : il faut à chaque terrain bâtir une théorie, mais aussi en même temps les instruments de construction. Le déterminisme, en fin de compte, est sans doute un de ces instruments de construction, particulièrement adapté aux "sciences dures".

LA RÉCEPTION ÉPISTÉMOLOGIQUE DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE DE 1932 À 1936 : LE PROBLÈME DU DÉTERMINISME

Avant propos : les relations de Heisenberg, les statistiques et la probabilité

Puisqu'il est question au long de cet essai des relations d'incertitude de Heisenberg, il serait intéressant dès le départ de voir brièvement quelle est cette relation d'un point de vue purement scientifique. S'appuyant sur l'article de Schrödinger *La situation actuelle en physique quantique*,¹¹ qui est de 1935, on peut donner un exposé de leur formulation dans les années 30. La relation de base¹² s'écrit :

$$\Delta p \cdot \Delta q > h$$

où p est une variable, par exemple les coordonnées spatiales dans une certaine direction d'une particule et q en serait une autre, sa vitesse et h est la constante de Planck.

Les précisions respectives avec lesquelles on peut connaître simultanément, par une mesure, les éléments p et q se limitent mutuellement. Puisque le produit de leurs valeurs ne peut pas être inférieur à h il s'ensuit qu'il est impossible de déterminer à chaque instant une variable en fonction d'une autre. Donc, on ne peut connaître simultanément la position et la vitesse d'une particule. Ce qui plus est, quand une valeur devient plus précise, l'autre devient plus imprécise. Il est donc impossible de prévoir l'état (la position et la vitesse) d'une particule dans un moment ultérieur. Ce que la physique quantique peut faire est de donner des valeurs non pas pour les variables d'une seule particule mais pour un nombre élevé de particules. C'est à dire qu'elle donne des valeurs statistiques à des variables pour un moment précis et pour tout moment ultérieur. Une statistique donnera un pourcentage de cas où une variable a telle ou telle valeur. Ce pourcentage peut être interprété comme la probabilité de trouver une valeur pour une variable si on effectue une mesure à un moment donné.

¹¹ Erwin Schrödinger. *Physique quantique et représentation du monde*, Paris: Seuil, 1992. pp 91-140.

¹² Il y en a plusieurs autres où p et q , d'habitude position et moment sont d'autres variables par exemple le temps.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

La physique quantique dicte qu'il faut effectuer un nombre très élevé de mesure pour pouvoir faire une prédiction statistique de plusieurs variables. Telle était la " doctrine " quantique au début des années trente.

Le problème du déterminisme.

Louis de Broglie, prix Nobel de physique depuis cinq ans écrit ceci en 1929;

Lois causales remplacées par des lois de probabilité, individus physiques bien localisés et à mouvement bien défini remplacés par des individus physiques qui refusent de se laisser représenter simplement et ne peuvent jamais être à moitié décrits; telles sont les conséquences surprenantes des nouvelles théories. En creusant sous les lois de probabilité parviendrait-on à retrouver les lois causales comme on a retrouvé naguère derrière les lois statistiques des gaz les lois causales du mouvement des molécules ? Certains arguments porteraient à le croire mais il serait imprudent de l'affirmer.¹³

La question que se pose de Broglie ici sera pour des décennies à venir *la* question épistémologique et scientifique préoccupant des générations de philosophes de la science. Quelle est la vraie nature des formules mathématiques de la physique quantique qui nous enseignent sur l'état de ce "monde inconnu"¹⁴ de la microphysique. Doit-on affirmer avec eux que le monde est régi par de lois indéterministes, voire acausales ? Peu de philosophes vont aussi loin que Heisenberg (le premier à ériger l'indéterminisme en loi générale de la physique) dans leurs appréciations de la théorie nouvelle. Ils essayeront plutôt une profonde réflexion sur les idées mêmes du déterminisme et probabilisme et sur le rôle des anciens concepts de la connaissance tels que la causalité, l'individu, la continuité, etc. pour voir si la physique quantique a atteint les limites inhérentes à la connaissance humaine. Il y avait trois prises de position épistémologiques possibles dans les années qui suivent la formulation définitive de la théorie quantique:

1. Effectivement, les limites de la connaissance sont bien décrites par la théorie quantique et au delà de ces limites l'on ne peut rien connaître,
2. Ou bien, on peut seulement espérer que la théorie est incomplète et les limites ne sont qu'apparentes, bientôt la physique rétablira la légalité de la causalité au sein de la physique,
3. La troisième possibilité est celle prise par Bohr plus tard, quoiqu'il formule déjà en 1927 les premières ébauches, que les deux théories physiques, classique et quantique sont mutuellement exclusives mais sont complémentaires.

Les avis des philosophes seront partagés entre les deux premières positions, la troisième restant particulière à Bohr et certains de ses disciples.

Cet article a pour thème la réception de la nouvelle théorie des quanta par certains grands noms de l'épistémologie dans le début des années 30. Dans l'ordre chronologique les textes qui nous concernent sont: *L'idée du déterminisme dans la physique classique et dans la physique moderne* écrit en 1932 par Alexandre Kojève: *Noumène et microphysique*, un article de 1932 et *Etudes atomistiques* écrit en 1933 de Gaston Bachelard: *Réel et déterminisme dans la physique quantique* de 1933 par Emile Meyerson: *La logique de la découverte scientifique* de 1934 par Karl Raimund Popper: *Determinismus und indeterminismus in der modernen physik*, de Ernst Cassirer est de 1936.

¹³ Louis de Broglie. Déterminisme et causalité dans la physique contemporaine, in *Revue de Métaphysique et de Morale*, Paris:1929, pp. 433-443.

¹⁴ L'expression est de Bachelard dans *Noumène et microphysique*.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

Les textes scientifiques correspondants ont tous été écrits quelques années avant les premiers écrits philosophiques, ils sont: L'article de Heisenberg annonçant les relations d'incertitude dans *Zeitschrift für physik*, qui est de 1927: *Les principes physiques de la physique quantique*, également de Heisenberg parait en allemand en 1930: *Développement in Quantum Theory*, article in *Nature* de Niels Bohr est de 1928, sa *Théorie atomique et la description des phénomènes* est de la même année: L'article de Louis de Broglie pour la *Revue de métaphysique et de Morale*, *Déterminisme et causalité dans la physique contemporaine* est de 1927. Après une réticence préliminaire de cinq à neuf ans due à une volonté de ne pas aller au devant des physiciens producteurs de la nouvelle théorie, ces épistémologues et philosophes ont essayé de donner une interprétation philosophique des évolutions récentes en physique quantique.

Quelques soient les implications véritables à l'intérieur de la nouvelle physique annoncées par les relations de Heisenberg, les épistémologues qui les premiers ont tenté une étude sur ces relations y ont vu une véritable révolution au sein des idées scientifiques et au sein de la conception que la philosophie a de la science. Que d'autres concepts ou faits scientifiques furent d'une importance cent fois plus grandes que ces relations, cela n'empêche que le supposé " indéterminisme " qu'elles annoncent a troublé les épistémologues plus que tout autre découverte de la physique quantique. La philosophie pouvait-elle suivre la physique des quanta en donnant une interprétation de sa portée selon les catégories traditionnelles de causalité, continuité et déterminisme ou doit-elle revoir et refaire de fond en comble sa conception de la science ? Telle est la question qui se trouve posée dans les années trente à Bachelard, Kojève, Meyerson, Popper, et Cassirer.

Deux choses semblent nécessiter une révision de l'épistémologie. Premièrement, ces physiciens de la nouvelle physique semblent s'adresser directement aux philosophes, comme si la responsabilité de leurs découvertes étaient trop lourde pour qu'ils la supportent seuls. Très vite, après la formulation dite " définitive " de la physique quantique les plus grands scientifiques écrivent leurs réflexions dans des livres destinés au public instruit et aux philosophes qui se sentent concernés. La deuxième raison pour laquelle ces philosophes s'intéressent effectivement à la physique quantique est la nature même de ces réflexions des physiciens. Et Heisenberg, et Bohr, et Schrödinger ont tenté une interprétation déjà très philosophique des leurs théories. La nouveauté est de taille car selon le rapport traditionnel entre philosophes et scientifiques, ceux-ci accomplissent leurs tâches techniques en strict conformité avec les lois de la nature et ne s'occupent jamais d'une réflexion sur le pourquoi des leurs actes ni le fond de leurs science.

Selon l'idée classique de l'épistémologie le scientifique est l'acteur naïf, créateur de nouveaux concepts, dans un drame qui le dépasse entièrement. C'est à l'épistémologue d'interpréter le sens profond du " comment " de la science. Selon Brunshvichg, " Si le scientifique avait une connaissance complète de leur travail, alors la philosophie serait accomplie en eux et par eux ".¹⁵ L'avènement de la physique quantique et la qualité intellectuelle des hommes qui l'instaurent brisent cette paradigme. De plus, comme on a vu d'après les dates des publications, ils ont

¹⁵ Léon Brunshvichg . Orientation du rationalisme. In *Revue de métaphysique et de morale*, 1920, p. 338.

devancé les philosophes dans la rapidité de leurs réponses. Avant 1932 il n'y avait aucun texte de nature épistémologique écrit par un philosophe qui tentait de commenter la physique quantique. Depuis 1927 les physiciens ne tardent à écrire. Pourtant, à partir de 1932, quantité de livres philosophiques traitent de la nouvelle physique et tous essaient plus ou moins de répondre à la question suscitée par Heisenberg: est-ce que la nature est déterminée ou pas ? Ou plutôt, est-ce que l'on peut penser la nature selon l'idée du déterminisme ou non ? Ce que nous essayerons de voir ici est comment chacun de ces philosophes cités ci-dessus apporte sa réponse et en fonction de quelle conception de la science il prend position. Peut-on voir dans les attitudes différentes des philosophes le signe de leur perception de la science toute entière ?

Pourquoi ce retard dans la réaction des philosophes ? Si Bachelard a raison, il faudrait y voir aussi, à part cette réticence première, une volonté de certains philosophes de sauvegarder l'ancienne théorie de l'assaut que lui fait subir la nouvelle, celle qu'ils ne comprennent pas encore, qui leur est peu familière. L'ancienne théorie est celle d'un déterminisme strict que l'on peut résumer ainsi: “ pour une cause précise il y a un effet précis ”.

Kojève et le remplacement d'une théorie par une autre.

Il faudra ainsi que l'on voit avec Kojève quelle était la réception de l'ancienne théorie à l'époque où la nouvelle commence à se faire sentir.

Tout d'abord il est important de souligner avec Kojève que la formulation philosophique du principe de déterminisme à laquelle tous remontent quand il s'agit de trouver une origine historique n'a jamais été qu'une proposition imaginaire. Laplace écrit;

Une Intelligence qui, pour un moment donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si par 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, seraient présents à ses yeux.¹⁶

Mais l'image donnée par Laplace, même si elle est imaginaire, est infiniment puissante aux yeux des philosophes et physiciens. Elle semble définir un programme pour la science, un horizon possible vers lequel la science tend. L'image définit, comme le dit Kojève, un idéal.

Quand Kojève écrit *L'idée du déterminisme dans la physique classique et dans la physique moderne* le conflit entre les deux théories physiques était à son plus haut niveau. Il semblait à certains physiciens que la causalité n'avait aucune validité au niveau atomistique, qu'elle était tout simplement invalide.¹⁷ La réflexion de Kojève reflète le caractère hautement conflictuel du débat, ce qui lui permet de donner une interprétation dualiste des deux systèmes. Il dresse le tableau philosophique du débat comme deux alternatives opposées.

Voici comment il présente les choses; la physique classique, et l'idée que la philosophie en a fait, accepta cet idéal laplacien. Ce fut la profession de foi du scientifique et la prière du philosophe. Par cet idéal les deux furent en accord. L'un l'appliqua comme une hypothèse sur l'état du monde, l'autre le comprit comme le principe de la compréhension humaine du monde. La métaphysique du déterminisme causale exposée par Kant semblait être bâtie sur de bases très sûres. La condition *a priori* de la connaissance humaine de la nature était l'application universelle du principe de causalité, agent même du déterminisme. Kojève peut citer Planck qui dit en 1923: " Pensée scientifique n'est rien d'autre que " pensée causale " ¹⁸ et Schlick, en 1920, qui dit que " la validité du principe de causalité est la condition *sine qua non* de la connaissance de la nature ".¹⁹ L'application de l'idée du déterminisme était fondamentale. Si la position initiale d'un corps à un temps t_0 , la direction et impulsion d'une force exercée sur lui, étaient connues (faisant abstraction de l'influence du milieu) on pourraient connaître avec une précision

¹⁶ Laplace, *Théorie analytique des probabilités*.

¹⁷ c.f. Heisenberg. *Les principes de la physique quantique*, p. 20.

¹⁸ Max Planck, *Kausalität und Willensfreiheit*, Berlin, 1923.

¹⁹ Schlick, *Die Naturwissenschaften*, Berlin, 1920.

infiniment exacte toutes les positions futures qu'aurait ce corps si l'on mesurait sa position à un moment t' . Également, on connaîtra la direction et l'impulsion.

Kojève remarque que la physique classique connaissait déjà deux formes de causalité, une exacte, l'autre probabilistique (s'exprimant par la statistique). La causalité statistique devaient être appliquée à de grandes quantités de choses qui échappaient à une mesure unique et exacte, telle la mesure du corps individuel dans l'exemple précédente. Les mouvements ou positions de chaque molécule dans un gaz ne pourraient être connus sans l'utilisation de plusieurs mesures statistiques qui donneraient une valeur moyenne pour la variable concernée. L'état future d'une variable du gaz pourraient être prédit avec une approximation ou une probabilité aussi petite que la moyenne serait constante après qu'une même mesure serait faite à maintes reprises. Néanmoins, la structure causale de la nature n'était jamais mise en doute par la nécessité de s'en tenir à des valeurs statistiques.

Une probabilité pour la physique classique n'était rien d'autre qu'une valeur exprimant la nécessité pour le physicien de se servir de toutes les données obtenues lors d'une mesure répétée. Puisqu'une mesure exacte est une mesure complexe²⁰, il faut admettre qu'aucune des mesures n'est absolument identique aux autres. D'où la nécessité de prendre une moyenne expérimentale qui correspondrait le mieux à une valeur objective. Or comme le fait remarquer Kojève;

D'après les physiciens de l'époque classique, ce ne sont pas les valeurs objectives elles-mêmes qui forment des ensembles statistiques, mais uniquement les résultats des mesures expérimentales de ces grandeurs.

21

Rien n'interdisait au physicien de postuler des valeurs exactes aux objets mesurés. Et comme disait de Broglie cité ci-dessus, rien n'empêche que derrière les loi statistique existent des lois causales exactes. Ce sentiment décrit bien l'esprit du temps en ce qui concerne la causalité; la statistique était un pis-aller, une stade inférieure de la connaissance qui tendait toujours vers la causalité exacte qui se cachait, difficile à obtenir certes, derrière le multiple. L'idéal de la physique classique était, évidemment, de remplacer le probable par l'exacte et l'idée de la causalité laplacienne n'interdisait en rien cet idéal. Pour la physique classique donc, derrière les statistiques il y avait la cause exacte.

Kojève nous montre que, pour le physicien moderne, derrière les statistique il y avait encore le statistique. Dans sa discussion sur les théories quantique de Bohr et de Heisenberg, il souligne constamment ce rapport entre la description de la réalité quantique et la nécessité de la statistique. Ainsi, dans le modèle de l'atome de Bohr de 1913 où il est question des effets des " sauts quantiques " sur l'intensité des raies spectrales, Kojève remarque que Bohr ne donne aucune explication causale de ces phénomènes. Mais un déterminisme statistique peut être donner par Bohr, avec prévisibilité approchée dans le future. Donc Bohr peut tout simplement se dispenser de l'idée d'une structure causale exacte du monde.

Heisenberg, comme nous l'avons déjà mentionné, va plus loin encore. Pour lui la mécanique quantique a tout simplement établi la non-validité du principe de

²⁰ Le mot est de Bachelard dans *Noumène et microphysique*.

²¹ Alexandre Kojève. *L'idée du déterminisme dans la physique classique et dans la physique moderne*. Paris: Folio, 1991. p. 112.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

causalité. Kojève adoucit immédiatement le propos de Heisenberg notant que cette “ non-validité ” est seulement une “ non-applicabilité ” du principe causal stricte en physique quantique. Nous avons vu que les relations de Heisenberg postulent que l’on ne peut pas donner simultanément à deux variables conjuguées (la position et la vitesse par exemple) des valeurs précises. Les implications pour la physique quantique sont énormes car non seulement elles établissent une limite inférieure de la précision d’une mesure, mais elles interdisent une quelconque prévision à partir d’un état donné.

Une prévision exacte de deux variables d’une même particule en physique quantique est un non-sens si l’on accepte les relations de Heisenberg. Quand Δp tend vers 0, Δq tend vers l’infini. Même si une mesure de p peut être faite à une précision asymptotiquement bonne, la valeur q ne peut être connue en même temps. Pourquoi? Parce que l’acte de mesurer perturbe l’état du particule. Si l’on veut connaître sa position dans l’espace à un temps t_0 alors il faudrait qu’un photon entre en contact avec la particule et soit capté ensuite par un instrument de mesure. Ainsi on connaîtrait sa position p au temps t_0 . Mais si l’on veut connaître sa vitesse q en même temps on ne le peut pas car l’action du photon aurait modifier la vitesse du particule d’une manière qui est inconnue et imprévisible.

Si la prévision exacte est exclue de la description physique, alors le principe de causalité est effectivement inutile et invérifiable. La notion d’une particule ayant une position et une vitesse exacte à un temps t_0 est ainsi rejeté, de même la possibilité de former une image de la réalité atomique est sérieusement mise en question. La seule voie descriptive ouverte à la physique quantique est celle d’une description statistique. La différence avec la physique classique est bien sûr, que derrière ces statistiques il n’y a aucune possibilité d’établir une cause exacte.

Kojève constate alors “ ...qu’il tout à fait est impossible de combiner le système de la physique quantique avec le principe de la causalité ” et plus loin;

Tout compromis est donc impossible, et il faut choisir d’une manière tranchée entre la physique classique, ou, plus généralement, la physique causaliste, et la mécanique quantique dans l’interprétation Bohr-Heisenberg, qui est purement statistique.²²

Il laisse aucun doute sur la choix qui doit être faite par la physique toute entière. L’avenir sera quantique, donc statistique.

²² Ibid.pp, 290-291.

Bachelard et les messages d'un monde inconnu

Le point de vue de Bachelard est similaire à celui de Kojève en ceci; la mort d'une description causale exacte n'est pas à ses yeux une perte ni pour la physique, ni pour la philosophie. Bachelard est le grand chantre du progrès scientifique. En 1932/33, quand il écrit *Noumène et microphysique* et *Etudes atomistiques*, il voit dans les méthodes et la forme de la nouvelle théorie des quanta une rupture salubre avec l'ancienne théorie qui était imbue d'apriorismes métaphysiques. Déjà dans *Noumène et microphysique* il constate avec enthousiasme que le formalisme de la mathématique quantique a laissé derrière elle la notion de vérifiabilité expérimentale. Contredisant Conrad, le scientifique n'est plus " l'un d'entre nous " mais un technicien du rationnel qui n'a pour repère que la logique intrinsèque de sa théorie.

Si le réel se désindividualise dans le microphysique c'est parce que l'infiniment petit n'est atteignable que par une mesure rationnelle. Les formulations mathématique de mesure ne sont plus de simple traduction en langage formelle des expériences concrètes. Elles sont la matière même du travail physique.

Peu à peu, c'est la cohérence rationnelle qui en vient à supplanter en force la conviction la cohésion de l'expérience usuelle. La microphysique est non plus une hypothèse entre deux expériences, mais bien plutôt une expérience entre deux théorèmes.²³

Ce réalisme mathématique est le nouveau monde du microphysicien. Bachelard multiplie les néologismes épistémologiques pour exprimer cette nouveauté. La nouménologie, étudiant les objets de notre entendement, éclaire une phénoménotechnique où de nouveaux objets sensibles de la mathématique ne sont pas découverts mais " inventés de toutes pièces". Il faudrait fonder, nous dit Bachelard, une méta-microphysique ou les catégories de la métaphysique traditionnelle ne sont pas acceptées automatiquement. Le niveau nouménal est un niveau complexe où le simple, l'uni, l'indépendant, sont suspects. Le chosisme atomistique où l'on faisait une expérience en maniant des billes en guise de particules est révolu. Tout de la physique est mathématique et donc diviser un nombre, c'est briser une chose et soustraire c'est ioniser.

Les réalités mathématiques ont bien un versant physique, ce qui nous met en garde contre une arithmétique usuelle appliquée aux choses. Bachelard peut donc suggérer que certains des proclamations des physiciens sur les prétendues vacances de la causalité ne sont que des confusions entre des nombres, exprimés en probabilités, et des choses. On n'additionne pas les probabilités comme on fait avec des choses.

La composition du probable est plus complexe; elle peut fort bien être limitée par des règles d'exclusion. Là encore, il faut comprendre que la

²³ Gaston Bachelard. *Noumène et microphysique*. Paris Vrin 1932. p, 17.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

méthode statistique n'est pas nécessairement indépendante de l'élément qu'elle organise.²⁴

Pour Bachelard la mathématisation de la physique moderne ne l'exclut pas don 'devoir' envers les choses qui est un devoir expérimental. Dans son essai de classification de 1933 *Intuitions atomistiques* les relations de Heisenberg ne sont pas “ prises au sérieux ” comme elles le sont par Kojève. Si Heisenberg est avant tout un positiviste, prenant pour réel uniquement les données définies lors d'une expérience et rejetant en même temps la réalité des variables non-définies alors, peut-il, en tant que positiviste, se prononcer sur la possibilité *a priori* de donner à ces variables une valeur exacte ? Il ne faut pas prendre les précautions expérimentales de Heisenberg pour des hypothèses de travail. Elles ne doivent pas être des interdictions formelles car il y a toujours...

la nécessité de multiplier les points de vue, d'aller à l'infiniment petit par une pluralité de voies, en l'entourant d'un réseau enchevêtré de théorèmes.²⁵

Le Bachelard de *l'Activité rationaliste* n'est pas encore mais l'idée d'un déterminisme dynamique se fait déjà sentir dans ces lignes. L'indéterminisme n'est pas une hypothèse féconde, donc il n'est pas réellement scientifique. Le déterminisme strict n'est pas plus fécond en science. Entre les deux est toute la complexité de l'atomistique moderne. Bachelard choisit une interprétation pragmatique de la révolution quantique. Il donne raison aux scientifiques, comme il a coutume de faire, se souciant guère de la réaction des philosophes. Meyerson est de ceux qui se soucie grandement des remaniements qu'opère la physique quantique.

²⁴ Ibid. p, 23.

²⁵ Gaston Bachelard.*Intuitions atomistiques* . Paris: Vrin, 1933. p. 160.

Les doutes de Meyerson

Meyerson est autrement plus troublé par les nouvelles théories quantique. Il est mort en 1933, l'année de son dernier livre *Réel et déterminisme dans la physique quantique* qui était une dernière réflexion sur ce qu'il appelait 'le chemin de la pensée'. Il devait être perplexe par la tournure indéterministe de la physique moderne et son livre penche nettement vers une interprétation de la théorie quantique comme une théorie incomplète. Heisenberg et Bohr sont particulièrement visés par les arguments de Meyerson. Les thèses usuelles de Meyerson sont connues; l'unité de la conscience, l'unité du sens commun et raisonnement scientifique, l'unité de la science dans le temps, nécessité d'un concept causal pour la science. Le plus souvent ici Meyerson tente de montrer que même si des thèses indéterministes peuvent être énoncées elles ne sont jamais appliquées et que les désaccords avec la physique classique ne sont que partiels ou même imaginaire.

Si Bohr, Born et Heisenberg peuvent substituer à une ontologie du sens commun une ontologie mathématique ils oublient que leur rapport avec les objets de leur laboratoire reste inchangé. Ils ont trop vite cru qu'ils avaient repoussé hors de leurs réflexions le réel de la perception spontanée et imagée;

... on comprend que la raison, sans en avoir conscience, le fasse constamment renaître. Il est un hydre aux cent têtes, et qui ont une aptitude quasiment indestructible à repousser quand on croit les avoir tranchées.²⁶

Meyerson se demande à chaque instant si les affirmations de Bohr et de Heisenberg sont dignes de foi. Ils se disent débarrassés des concepts du monde pré-quantique mais le sont-ils vraiment? Et s'ils le pensent vraiment alors il faut qu'ils acceptent que sans ces concepts ils sont ignorants, aveugles dans un monde inconnaissable. Meyerson reprend très exactement le rapport entre causalité exacte et causalité statistique qu'avait examiné Kojève. Il remarque que la statistique dans la physique classique intervenait dans des cas, par exemple, d'entropie.

En effet, pour ce qui est de l'entropie, nous supposons que les mouvements moléculaires dont l'ensemble assure le fonctionnement de la loi sont néanmoins tous individuellement déterminés. Il y a ainsi, au dessous du réel molaire directement observable, quelque chose de simplement probable, mais résultant cependant d'une détermination foncière. Dans la physique quantique, tout au contraire, c'est l'indétermination que nous devons considérer comme fondamentale.²⁷

Cela est possible uniquement si ces physiciens se tiennent en dehors du *Weltbild*, cher à Planck, c'est à dire, en dehors du notre monde du réel ordinaire. Ici, Meyerson s'inquiète pour la possibilité d'imaginer une réalité quantique. Si, d'après Heisenberg, une particule ne peut avoir et vitesse et position en même temps alors

²⁶ Emile Meyerson. *Réel et déterminisme dans la physique quantique*. Paris: Hermann, 1933.

²⁷ Ibid. p. 37.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

quelle est la nature de ces objets sub-atomiques. En quittant de leurs yeux le réel ordinaire certains physiciens oublient la notion d'objet, celle-ci tend à leur échapper, au point qu'il arrive, dans leur désarroi (*sic*), à borner leur pensée aux mathématiques pures, à ne plus raisonner qu'en mathématiciens. Meyerson nous dit que les affirmations de ces physiciens doivent être accueillies avec grande prudence. Car ce prétendu indéterminisme est très probablement provisoire. Peut-être faut-il admettre un *ignoramus* au sujet de ce qui se passe au niveau sub-atomique, on ne peut pas admettre un *ignorabimus* concernant le futur.

Pour Meyerson la situation n'était pas tellement embarrassante. La théorie quantique était, à cette date, très certainement incomplète.

Le choix de Popper

Quand Popper écrit *La logique de la découverte scientifique* en 1934 il a pu constater dans la préambule de sa chapitre sur la théorie quantique que les physiciens de cette théorie avaient participé avec ardeur à des discussions épistémologiques avec le sentiment qu'il y avait un no-man's-land s'étendant entre la logique et la physique. Il faut combler cet écart.

Popper nous dit tout de suite qu'il allait en guerre contre les thèses de Heisenberg. Premièrement, il soutient que les relations d'incertitude ne sont que des relations de dispersion statistique. Deuxièmement, les relations n'établissent point une limite inférieure de précision de nos mesures. Troisièmement, les limites dont parle Heisenberg sont une hypothèse extérieure à la théorie quantique. Et quatrièmement, cette hypothèse est extérieur et en contradiction avec la théorie quantique même.

Nous verrons ici uniquement ses arguments contre l'indéterminisme. Ce que Popper veut protéger est une conception semi-classique de la théorie quantique. C'est à dire, il gardera comme possible la description du parcours d'une particule. Le parcours d'une particule est tout simplement l'objet de la physique même car il se définit par une position initiale, un mouvement dans une direction avec une vitesse donnée, et donc une position ultérieure prévisible. Une particule selon Heisenberg ne peut pas être décrite comme ayant un moment et une position. Il dit clairement que si l'on veut la décrire ainsi on peut, mais ceci est " une affaire de goût ".²⁸ En d'autres mots, on peut si on veut mais on monterait son dépendance à des idées périmées.

Comment Popper défend-il son idée de la physique ? Par deux méthodes, premièrement une étude logique sur le rôle des statistiques et deuxièmement une expérience de pensée qui tente à prouver que l'on puisse faire des prévisions exactes sur le parcours d'une particule. Prenant celle-ci d'abord, l'expérience de pensée imaginée par Popper prouve effectivement que les relations de Heisenberg sont violées dans un cas précis. Le dispositif de mesure que Popper décrit peut donner des valeurs à une moment et position d'une particule, mais seulement dans le passé.²⁹ Heisenberg est formel sur ce point, ses relations ne s'appliquent aucunement au passé, qui reste parfaitement déterminé. Popper a peut-être trop vite crié victoire.

Popper n'intègre pas la suite de son argument à son expérience de pensée ci-dessus, il semble un peu réticent à son égard et il attaque maintenant à une erreur fondamentale de Heisenberg vis à vis des extrapolations logique qu'il fait au sujet des statistiques. En ré-interprétant le rôle des statistiques dans la théorie, Popper ne nie pas que le rapport traditionnel des statistiques est inversé, derrière des

²⁸ *Principes*. p.15.

²⁹ Karl Popper. *La logique de la découverte scientifique* . Paris: Payot 1990. pp. 240-50.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

fréquences on ne peut pas distinguer une particule particulière. Logiquement aussi on voit bien que du probable il ne peut venir que du probable. Ceci nous est démontré fort bien par Heisenberg. Donc, les statistiques sont la réalité fondamentale de la physique quantique. Si les statistiques ne peuvent pas nous donner des prévisions ou des précisions concernant une particule une, elles peuvent nous donner des prévisions et précisions sur une groupe de particules. Qu'elles soient indéniablement les seules données possibles sur le monde quantique, il nous n'est pas permis ensuite, nous dit Popper, de conclure que la réalité causale exacte de chaque particule est ainsi effacée. Si ceci est fait, alors l'indéterminisme régit.

Mais la voie des statistiques ne mène pas automatiquement à l'indéterminisme. Popper a moins de mal à céder aux statistiques leur rôle primordiale, car pour lui elles ne représentent pas un quelconque échec de la physique. La base même des statistiques est le calcul et la mesure du parcours réel de particules déterminées, peu importe si l'on ne peut pas y donner des valeurs précises aux variables conjuguées leurs concernant; "...ils (calcul et mesure) sont requis pour soumettre à des tests nos prévisions, lesquelles sont des prévisions statistiques".³⁰ Les incertitudes décrites par Heisenberg sont des imprécisions dues à des relations de répartition. Une relation de répartition nous dit qu'une mesure d'une variable p soumet à une variable combinée q une répartition de valeurs qui sont pour Popper parfaitement mesurable individuellement dans le passé pour ensuite pouvoir donner une valeur moyenne à q , exprimée comme une probabilité. Le calcul précis du parcours passé (calcul de l'histoire passée comme dit Popper) des moment q peut nous assurer que p et q ont des valeurs combinées. Mais q reste une probabilité soumise à ces relations statistiques. Ce sont des relations mesurables, mais non prévisibles au niveau du singulier.

Une fois encore, Heisenberg a prévu cette critique. Les relations d'incertitude s'appliquent uniquement aux prévisions non pas aux mesures. En effet, on peut donner à p une valeur asymptotiquement bonne dans le passé et à q une valeur probable dans le future. Mais non pas les deux dans le future.

Popper n'arrive pas à détruire les thèses de Heisenberg sous un angle expérimentale. Il essaie donc contre lui des arguments plutôt logiques. Nous devons poser la question; "Le monde est-il régi ou non par des lois causales strictes?". Popper admet que la réponse à ceci serait métaphysique, une question de goût dirait peut-être Heisenberg. Popper, néanmoins, tend nettement vers une croyance dans une causalité stricte. Il serait en vain, dit-il, que l'on essaierait de prouver cela scientifiquement. De même pour l'indéterminisme. Donc, rien empêche le scientifique d'essayer d'aller plus loin dans sa description de la nature s'il veut.

La croyance métaphysique en la causalité semble donc plus fertile dans ses diverses manifestations que n'importe quelle métaphysique indéterministe. Nous pouvons, en effet, constater l'effet paralysant que les commentaires de ce dernier ont eu sur la recherche.³¹

Il est nuisible de tenter de mettre une limite à l'utilité de la recherche scientifique. Et de toute manière, si l'indéterminisme était une loi stricte de la science il faudrait le soumettre à des tests pour voir s'il est falsifiable (c'est ainsi que procède la

³⁰ Ibid. p. 234.

³¹ Ibid. p. 123.

science quant à Popper). Nécessairement on serait dans le monde de causes, de prévisions, bref du déterminisme. L'illogisme de l'indéterminisme érigé en loi générale est évident. On ne peut pas travailler avec l'indéterminisme.

Pourrait-on dire que Popper a fait son choix, que le déterminisme est plus “ à son goût ” pour reprendre l'expression de Heisenberg, que l'indéterminisme? Il n'est pas certain que ses arguments tiennent tous seuls contre les thèses de Heisenberg.

Les certitudes de Cassirer

Cassirer veut, tout comme Popper, limiter l'interprétation effective des relations d'incertitude de Heisenberg.

Il faut distinguer entre l'état des choses ici décrit les conclusions auxquelles arrivent Heisenberg. Ce dernier interprète la relation d'une telle façon que les lois de la causalité y sont directement reniées³²

Il fait la remarque suivante: les lois de la causalité signifient en gros " si x , il s'ensuit m ", où x et m sont des états physiques. Heisenberg croit rendre illégale la causalité dans ce sens qu'au niveau quantique on ne peut pas prétendre à une connaissance exacte de x , car on ne peut pas connaître toutes les variables appartenant à x et donc de plus forte raison à m . Ce que Cassirer note est que ceci ne met pas en cause la légalité de la causalité mais simplement son applicabilité. Puisque les variables de x ne peuvent pas être déterminées à cause de leurs immesurabilité, on dit qu'elles n'ont pas de cause exacte observable. Mais le principe " si x , alors m " reste applicable à d'autres réalités physiques d'un autre niveau de grandeur. Pour la réalité quantique nous ne pouvons pas mesurer parfaitement. Voilà le vrai message de Heisenberg. Parce qu'il y a une perturbation finie entre l'observateur et la chose observée, on doit renoncer à l'idéal d'observation postulée par la physique classique.

Chaque rupture dans l'évolution de la science requiert que l'on repense la légalité de tous nos concepts habituels. La physique quantique limite le principe de causalité et ne l'abolit pas;

L'introduction de cette condition de limitation ne constitue en aucune manière l'abolition du principe de causalité; elle signifie simplement que ce principe nécessite une analyse nouvelle à chaque transition à un nouveau monde de la science si l'on veut qu'elle reste utile et féconde.³³

Les limitations de la causalité nous renvoient à la nature et à l'origine de nos lois physiques. Puisque la réalité physique n'est plus en mesure de nous fournir des lois strictes, il faut chercher dans notre compréhension de la réalité physique pour trouver l'origine de ces lois. Avant, la structure du monde était censé informer la structure de la science, maintenant avec la physique quantique, ce sont les lois de notre entendement qui structurent notre compréhension du monde.

Vue de cette manière la règle des statistiques en physique quantique n'est plus à craindre. La conformité à une loi, même statistique, est une condition suffisante pour admettre que la physique quantique est déterministe. Ce n'est pas du côté de l'objet physique que nous érigeons nos lois mais plutôt du côté de l'application de notre entendement aux choses. Les statistiques ne sont pas une réduction mais un

³² Ernst Cassirer. *Determinism and indeterminism in modern physics*. New Haven: Yale University Press, 1956. Traduction du livre de 1936.

³³ Ibid. p. 123

type d'énoncé physique fondamental. La réduction sera plutôt du côté d'un déterminisme stricte:

L'espoir de réduire effectivement tout énoncé physique à un type de loi dynamique classique semble devenir de plus en plus faible.

Les lois statistiques sont des éléments de notre connaissance du monde à part entière. Il est sûr que l'arrière-fond de notre science a profondément changé avec les lois statistiques comme base, mais cet arrière-fond résiste. La leçon ultime de Heisenberg est que nous ne pouvons pas connaître des " objets " dans le sens classique mais nous pouvons connaître objectivement avec des limitations produites par notre entendement, en l'occurrence la physique quantique. Les limites prescrites par les relations d'incertitude sont plutôt des certitudes en ce qui concerne les lois de l'entendement puisqu'elles nous fixent une base sur laquelle la connaissance physique est bâtie.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, Cassirer, pour aussi kantien qu'il soit, a moins de mal à assimiler la révolution quantique à sa philosophie de la conscience que d'autres. Les objets de la pensée, pourvu qu'ils soient rationnels, ne peuvent pas être étranger à un kantianisme " ouvert " comme celui de Cassirer.

Conclusion

C'est la guerre qui interrompt cette belle discussion entre philosophes et physiciens. La qualité de ces débats ne sera jamais retrouvée peut-être parce que la physique quantique était-elle passée d'un domaine du savoir où elle pouvait dialoguer avec la philosophie à un domaine du faire, de la politique, de l'armement, de l'industrie où une épistémologie traditionnelle ne pouvait pas la suivre. Une épistémologie interne de la physique quantique ne pouvait plus prétendre qu'elle avait saisi l'essence même d'une science qui allait devenir dans les années cinquante l'enjeu majeur de la politique mondiale.

IDÉALISME ET RÉALISME DE LA CAUSALITÉ

Si la question du déterminisme doit se formuler de la manière suivant: "la Réalité est-elle, oui ou non, déterministe?", il m'a semblé opportun d'apporter quelques réflexions sur la pertinence même de cette question, et sur les possibilités d'une élaboration problématique plus rigoureuse. Il est évident que les philosophes ont eu à s'interroger sur le sens de ce concept (ou de cette idée vague) de réalité absolue. Or le partage théorique décisif m'a semblé ici devoir être tracé entre des philosophies de la Représentation, pour lesquelles la Réalité est l'objet de la pensée qui, au moins idéalement, est ou doit être "en soi" indépendamment de la pensée, et que la pensée, en tant qu'elle est du moins une connaissance, et une connaissance vraie, a à reproduire idéellement, ou à se représenter adéquatement; - et les philosophies que j'appellerai de la Compréhension, pour lesquelles la pensée n'est pas une certaine représentation (adéquate ou inadéquate) du réel, et pour qui le problème de la connaissance n'est pas de faire un portrait exact de la réalité, mais enchaîner rigoureusement des idées avec d'autres idées, de déduire ou démontrer: la pensée n'est pas le miroir de la réalité, mais un certain type de réalité, et elle "fonctionne" non pas par représentation, mais par déduction... Pour être plus clair, disons immédiatement que les deux noms qui doivent être ici mis sous ces deux tendances philosophiques, dont la première fut toujours à l'évidence prépondérante dans l'histoire de la pensée, et l'est encore dans la spontanéité de nous tous, sont ceux - de Kant d'une part, et de Spinoza de l'autre. Et pour suggérer les effets que peut produire une théorie non-représentative de la pensée, l'on peut clairement anticiper la solution que Spinoza donne en quelque sorte de notre problème, en ces termes: la Nécessité n'est pas l'objet de la pensée qui pense bien (la connaissance vraie sait que tout est nécessaire), mais la structure même de la pensée (les idées se produisent les unes les autres avec la même nécessité que toutes les autres choses, et une idée vraie est une idée nécessaire)...

Si notre question est: "La Réalité en soi est-elle déterministe?", nous devons immédiatement rappeler les arguments de Kant qui conteste la légitimité même d'une telle question, comme n'ayant sinon aucun sens du moins aucune solution approchable. Car tout ce que nous connaissons est conditionné par les structures dans lesquelles nous le connaissons: ce que nous connaissons est donc non pas la réalité "en soi", la "chose en soi", mais des "phénomènes".

La question doit donc être reformulée en ces termes: est-ce que les phénomènes sont soumis nécessairement à la loi de la causalité? La réponse de Kant est affirmative: tout ce que nous pouvons connaître, en tant que nous le connaissons, doit être connu au moyen de la loi de causalité. Ceci est ce que Kant appelle un "principe transcendantal": "transcendantal" signifie: qui rend possible *a priori* la connaissance, sans lequel la connaissance n'est pas possible. La loi de causalité est une loi transcendantale, c'est-à-dire que l'on doit pouvoir dire *a priori* que sans elle

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

aucune connaissance n'est possible. En fait, elle est plus précisément, parmi les "principes transcendants", ce que Kant appelle une "analogie de l'expérience", la deuxième des analogies de l'expérience³⁴, dont Kant donne ainsi le principe général: "L'expérience n'est possible que par la représentation d'une liaison nécessaire des perceptions."³⁵ Il faut être attentif à ce que ce principe n'est pas en lui-même l'énoncé de la loi de causalité selon Kant, mais seulement un principe général, qui vaut pour toutes les "analogies", et qui nous explique ce à partir de quoi seul est possible *a priori* l'expérience en tant que telle, c'est-à-dire une "connaissance empirique" qui "détermine un objet par des perceptions". L'expérience, au sens de Kant, est une connaissance *a posteriori*, qui repose sur des données sensibles (celles de ce que nous appelons en un sens large comme en un sens étroit, l'expérience, à la fois au sens d'avoir une longue expérience, et au sens de l'expérimentation, c'est-à-dire de la vérification par des données sensibles de la pertinence de théories conceptuelles). Donc, ce principe signifie que la connaissance au moyen de données sensibles, pour être *objective*, c'est-à-dire pour être une connaissance d'objet, suppose que toutes les perceptions soient liées nécessairement et *a priori*. Ceci est le principe général, nous en comprendrons mieux la démonstration sur l'exemple de la causalité, qui doit d'ores et déjà être comprise néanmoins comme une forme de la liaison nécessaire entre des perceptions ou des représentations, et rien d'autre: non pas donc entre des choses, et encore moins entre des choses en soi.

Comment Kant énonce-t-il donc cette loi de causalité? Les deux éditions de la CRP diffèrent: la première est plus claire pour nous: "tout ce qui arrive (tout ce qui commence d'être) suppose quelque chose à quoi il succède suivant une règle."³⁶ Cet énoncé général est précisé ensuite de la manière suivante: le rapport de cause à effet est caractérisé comme "un rapport dont le premier terme détermine dans le temps le second comme sa conséquence."³⁷ Il s'agit d'un problème de *succession*, donc d'un certain type d'ordre dans le temps; de *phénomènes*, donc de représentation et non de chose en soi³⁸; *suivant une règle*, c'est-à-dire que cette succession obéit nécessairement à une certaine règle. C'est le cas en effet de tous les systèmes dits "déterministes": prenons la chute d'un corps: la succession des représentations est le fait que le corps se trouve à tel endroit dans mon référentiel au temps t1, puis à un autre au temps t2; la règle, c'est la loi de la chute des corps, qui fait que mes représentations se succèdent *nécessairement* selon cet ordre, et que je ne peux pas tout aussi bien voir *d'abord* le corps en bas, *ensuite* le corps en haut. - Nous avons donc donné un contenu très précis, et somme toute très restreint à la loi de causalité.

Il faut maintenant résumer le raisonnement de Kant qui lui permet d'affirmer que la loi de causalité est une condition *a priori* de toute connaissance, ce qui signifie évidemment, que toute connaissance qui ne permettrait pas de déterminer l'ordre successif des phénomènes ne serait pas absolument une connaissance; elle est

³⁴ CRP, 224. L'abréviation que j'utilise signifie ici: *Critique de la Raison pure*, éd. GF, 1987, p. 224. Cette édition est l'édition de poche que l'on trouve le plus facilement dans le commerce.

³⁵ CRP, 215.

³⁶ CRP, 224, note a.

³⁷ CRP, 225.

³⁸ Et même plus exactement d'un changement dans le phénomène: cela signifie que la loi de causalité ne s'applique pas à la notion de substance, que ce qui est causé, c'est toujours un événement et non pas une substance (qui est ce à quoi ce qui arrive arrive)...

même, et c'est peut-être là où Kant est le plus profond une condition *a priori* de toute *expérience*. Ceci signifie qu'il ne s'agit pas seulement du domaine de la connaissance scientifiquement normée, qu'il ne s'agit pas seulement de dire, comme le fit plus tard Einstein, que toute science qui ne donne pas des résultats déterministes n'est pas vraiment une science, - mais que pour que l'on puisse simplement distinguer une perception subjective, d'une objective, il faut que nos représentations se succèdent selon la loi de causalité. Pour qu'il y ait en quelque sorte un effet de réalité ou d'objectivité de nos représentations, il faut que ces représentations se succèdent *selon une règle*, et non pas arbitrairement: ce qui constitue une représentation comme *objective*, et donc donnant une certaine information sur un objet réel (phénoménal mais réel), il faut qu'il obéisse à la loi de causalité. On voit ce qui est ici en question: la causalité permet de construire le champ de réalité et d'objectivité en tant que tel. Car il y a, dans le champ même de la phénoménalité, une différence entre ce qui est subjectif et ce qui est objectif; mais l'on peut observer comment se construit en quelque sorte cette réalité. En fait Kant montre à quelles conditions des phénomènes peuvent être tenus pour objectifs, c'est-à-dire à quelles conditions ces représentations sont des *connaissances* empiriques, par exemple la perception de quelque chose dont on peut dire qu'il existe réellement, et que cette représentation n'est pas une pure et simple hallucination. Il ne s'agit donc pas seulement des conditions générales d'une théorie scientifique acceptable, mais de celles de la plus simple perception. Et quant à celle-ci, l'argumentation de Kant est assez solide.

Elle repose en somme sur un exemple, ou plutôt sur deux exemples divergents. Le premier est celui de la maison. Si je regarde la maison de haut en bas, il est clair que la succession de mes représentations n'est pas objective, mais simplement subjective, ou arbitraire: je peux aussi bien commencer par en bas. Il n'y a pas ici de règle dans la succession de mes représentations. On peut donc dire que *objectivement* le haut n'a pas d'abord été pour que le bas soit, l'un n'est donc pas cause de l'autre. Par contre, si un bateau descend un fleuve, et que je le vois descendre, la succession de mes représentations est *nécessaire* ou réglée, et il s'agit donc là d'une succession objective. (Attention, il ne s'agit pas de réduire tout type de causalité à une succession de représentation, mais de montrer que la loi de causalité est exigée *a priori* pour construire l'objectivité, parce que sans elle on ne pourrait faire la différence entre des représentations objectives et des représentations subjectives.)

C'est qu'il faut que mes représentations suivent un ordre déterminé: or lorsqu'elles le suivent l'on peut parler de "vérité empirique": il ne peut y avoir de vérité empirique que si les représentations sont liées par une règle; sinon, il s'agit aussi bien d'une succession subjective, et le problème d'une adéquation à l'objet est parfaitement déplacé. Il s'agit donc on le voit de rendre possible l'application d'un certain concept de vérité comme adéquation avec un *objet*, et pour cela de déterminer ce qui fait la différence entre un objet (c'est-à-dire une représentation objective) et une image (ou représentation subjective). Kant le dit lui-même d'ailleurs très clairement: "On voit tout de suite que, comme l'accord de la connaissance avec l'objet constitue la vérité, il ne peut être ici question que des conditions formelles de la vérité empirique, et que le phénomène, par opposition aux représentations de l'appréhension, ne peut être représenté que comme un objet de l'appréhension distinct de ces représentations, en tant que celle-ci est soumise à

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

une règle qui la distingue de toute autre, et qui rend nécessaire une espèce de liaison entre ses éléments divers. Ce qui dans le phénomène contient la condition de cette règle nécessaire de l'appréhension est l'objet.³⁹ - Ainsi, pour qu'il puisse y avoir objet, pour simplement construire ce concept d'objet auquel devra être adéquat notre représentation, et par là pour rendre possible tout énoncé vrai, il faut qu'il y ait une succession obligée de nos représentations, c'est-à-dire une loi de causalité au moins implicite. Sinon, l'idée même de vérité n'aurait pas de sens: c'est donc la loi de causalité qui rend possible l'expérience et par là aussi toute connaissance, car pour Kant, la connaissance est nécessairement à terme une connaissance empirique, c'est-à-dire qui peut être confronté à l'expérience, ou bien n'a aucun sens (comme la métaphysique).

De ce principe suit que "tout ce qui arrive est hypothétiquement nécessaire". Ce principe est vrai *a priori* au sens où il rend seul l'expérience possible, puisque pour déterminer une représentation comme objective il faut qu'elle succède nécessairement à une autre: tout ce que l'on pourra déterminer comme existant réellement ou objectivement ne saurait l'être qu'en vertu d'une certaine nécessité. Kant dit: "c'est là un principe qui soumet le changement dans le monde à une loi, c'est-à-dire à une règle de l'existence nécessaire, sans laquelle il n'y aurait pas même de nature."⁴⁰ Il dit un peu plus loin, en ajoutant le principe qui nie la possibilité du hasard (*in mundo non datur casus*): "Ces deux principes sont des lois qui soumettent le jeu des changements à une *nature des choses* (comme phénomènes)..." Un "nature des choses", c'est ce qui fait que les choses sont ce qu'elles sont et doivent être connues telles qu'elles sont...

Résumons: c'est *parce que* le monde est représentation ou que la réalité est phénoménale (que l'on ne peut connaître que des phénomènes et non pas des choses en soi), - que l'on peut dire que la réalité est déterministe, parce que nos représentations ne sauraient devenir objectives que parce qu'elles se succèdent selon une règle, c'est-à-dire *nécessairement*.

On voit donc que c'est le concept même de la Représentation qui amène Kant à affirmer la validité transcendantale de la loi de causalité. On pourrait montrer qu'il en est de même, quoique par des modalités différentes, dans le *Tractatus logico-philosophicus* de Wittgenstein, qui nous dit aussi que "la loi de causalité n'est pas une loi mais la forme d'une loi"⁴¹, c'est-à-dire qu'elle ne nous dit rien sur le monde lui-même, sur la réalité, mais sur la manière dont on ne peut que l'appréhender: "S'il existait une loi de causalité, elle pourrait être ainsi conçue: "Il existe des lois naturelles".⁴² C'est-à-dire qu'on ne saurait jamais décrire la réalité qu'en termes de relation causale, au sens minimal d'une régularité phénoménale entre des faits constatés. La loi de causalité n'est que la forme d'une telle régularité, c'est-à-dire du type même de notre représentation de la réalité: elle est donc une structure de notre représentation, et non pas du réel. Mais elle n'en reste pas moins une structure

³⁹ CRP, 227.

⁴⁰ CRP 354.

⁴¹ TLP, 6. 32.

⁴² TLP, 6.36.

incontournable: "Ce qui se peut décrire, peut aussi se produire, et ce que la loi de causalité doit exclure ne saurait être décrit.⁴³"

Aussi bien Kant que Wittgenstein sont réfutés si l'on peut donner une description de la réalité qui ne soit pas déterministe. Mais il n'est pas sûr, comme nous le disons toujours trop vite, que cela ait été le cas dans les relations d'incertitude, ou dans les théories du chaos: car, en tant qu'elles sont des théories, elles décrivent cependant des régularités, fût-ce la régularité de certaines irrégularités. - Mais c'est ici à d'autres plus compétents que moi de répondre à cette question précise, qui doit être posées en ces termes: est-ce que les théories non-déterministes s'exemptent de la forme générale du "Si...alors"?

Si elles ne s'en exceptent pas - et c'est mon avis -, il faut cependant dire que cette forme est la forme générale non pas de toute représentation, mais de toute *compréhension*: c'est-à-dire que l'on ne peut rien comprendre sinon sous la forme - causale - d'une relation déterminée entre A et B. Et c'est une telle théorie que nous allons chercher chez Spinoza, et que c'est pour cela que l'on peut dire que la Réalité en soi, c'est-à-dire ce qui est *vrai*, est causale ou déterministe dans ce sens particulier où il doit être déterminé par quelque chose, fût-ce, comme n'hésite pas à le dire Spinoza, par soi.

Spinoza affirme sans aucune ambiguïté que la structure du réel est causale, ou, comme on dit, que "tout est nécessaire". Spinoza passe pour un des plus intransigeants nécessitaristes, un de ceux qui formulèrent par anticipation mais le plus rigoureusement, et d'aucun diront jusqu'au délire métaphysique le plus débridé, le déterminisme: "tout est nécessaire". Or nous voudrions montré que ce n'est précisément pas cela que Spinoza nous dit: qu'il ne nous dit pas que la réalité, en tant qu'objet de la pensée, est déterminée nécessairement, mais que c'est ce concept même de réalité, et l'idée de la pensée qu'elle présuppose (comme représentation), qu'il conteste, sous le nom même de nécessité.

Car, pour être très grossier (mais pas nécessairement faux) Kant et Wittgenstein disent en somme: nous ne pouvons connaître que de manière causale, mais la Réalité, elle, nous ne pouvons pas dire si elle est ou non causale et déterministe. Cela semble après tout une position de bon sens, prudente et raisonnable. Mais il se peut que nous puissions aller un peu plus loin, en critiquant les présupposés d'une telle conception.

Et d'abord elle suppose que le Réel et la Pensée sont dans une position d'extériorité réciproque. A cela il faut répondre deux choses. Premièrement, dire même que le Réel est inconnaissable, c'est, selon leurs propres principes en dire trop: car d'où saurait-on justement que le Réel ne correspond pas à ce que l'on pense, puisque l'on ne sait rien de lui? Mieux: comment peut-on même se former le concept d'une Transcendance absolue: car pour que la Transcendance puisse se manifester, même comme transcendance, il faut qu'elle se manifeste dans l'immanence. Dans le cours même de ce que l'on pense, il faut en quelque sorte que l'impensable absolu, strict, fasse *trou*; et il faut que ce soit un trou absolu, et un trou absolu il se trouve que cela ne peut se voir: ce que je ne peux *absolument* pas voir, ce qui n'a aucun rapport avec ce que je peux voir et savoir, je ne peux même pas voir que je ne le vois pas. Je vais en donner un exemple. On peut dire par exemple que Dieu est impensable; mais il n'en faut pas moins que cette impensabilité soit elle-même

⁴³ TLP 6.363

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

pensable. On le dit incompréhensible: mais alors Dieu désigne un certain type de compréhension, où l'on comprend par exemple qu'il y a de l'incompréhensible: car il faut que l'incompréhensible, je comprenne ce que cela veut dire, et pour dire que Dieu est incompréhensible et pour le croire. Or le sens de cette incompréhensibilité est tout à fait immanent. Pour que cette proposition "Dieu est incompréhensible", il faut que j'ai une certaine compréhension de ce qu'est Dieu. Ou alors je peux dire: "Brabibqhbqz est incompréhensible", mais je doute que cela intéresse quiconque: si donc l'on tient tant à ce que "Dieu" soit incompréhensible, c'est que l'on doit bien savoir tout de même un peu - ne serait-ce, n'est-ce pas, qu'entre nous, les hommes - ce que c'est que ce "Dieu" que nous parlons. Mieux: seul un raisonnement, explicite ou non, peut me convaincre de l'incompréhensibilité de Dieu. - Il en est de même de la Réalité en soi: "je ne peux pas penser la réalité en soi; la réalité est absolument transcendante"; du moins alors la Réalité en soi a un sens immanent qui est d'être précisément (par exemple, car il se peut que l'on entende autre chose par réalité, on peut vouloir dire par là bien des choses...) ce que je dis ne pas pouvoir penser. Du moins aussi il y a bien des raisons pour lesquelles j'en viens à penser que la Réalité est incompréhensible: Kant les expose lui-même: c'est trouver une solution aux disputes métaphysiques qui croient pouvoir légiférer sur la Réalité en soi; mais c'est aussi, dit-il, pour redonner à la croyance ses droits. Il y a donc des raisons tout à fait immanentes à cette transcendance radicale de la Réalité en soi, clairement polémiques - sinon politiques...

Deuxièmement, et surtout, il faut objecter que la Pensée aussi est du réel, et que rien ne nous oblige à la sortir de la réalité (et de l'histoire) pour en faire comme un miroir, que l'on jugera ensuite, selon ses goûts en somme, puisque nous n'avons aucun moyen de le vérifier, juste ou déformant; au contraire, c'est ainsi que l'on s'empêche définitivement de comprendre ce qu'est la pensée, on ne peut plus y voir qu'une sorte de chose suspendue au delà du monde et qui ne répond pas à ses lois. - C'est pourquoi Spinoza dit que la Pensée est "un attribut de Dieu". On tient pour très difficile et très obscur cette proposition de Spinoza qui ne veut pourtant rien dire que ceci. Si Dieu est l'Être, le Réel même, il n'est pas l'objet extérieur de la Pensée, mais aussi, la structure interne de la Pensée, pour autant que la Pensée *est*. La Pensée est donc une certaine manière de l'Être, une certaine manière d'être de Dieu, un certain type de réalité. Il ne faut donc pas opposer la Pensée au réel, mais la Pensée à son objet. Cet objet, Spinoza l'appelle le Corps, ou l'Étendue, qui est de ce fait lui aussi un attribut de Dieu, un certain type de réalité. Le problème donc de savoir ce qu'est la Réalité en soi, ce que c'est que d'être, peut être demandé aussi bien à la Pensée qu'à n'importe quel attribut de Dieu.

Qu'est-ce donc que la Réalité même, qu'est-ce qu'être réel ou être un être? La réponse de Spinoza nous concerne car il dit: être, être une cause; et être quelque chose, c'est être causé, et être en même temps une cause: être une certaine cause, être déterminé. Il n'est pas possible de reconstruire toute l'argumentation de Spinoza. Disons qu'elle repose fondamentalement sur cette proposition de Descartes: on peut toujours demander de quelque chose pourquoi il existe. Toute connaissance se fait selon le principe de raison: c'est l'axiome 4 de la première Partie de l'*Ethique*: "La connaissance de l'effet dépend de la connaissance de la cause et l'enveloppe." - Si tout ce qui est a une cause ou une raison, alors l'être même est structuré selon la causalité: la causalité est la manière même dont les choses sont, c'est-à-dire se produisent. Ainsi, les pensées se produisent et les corps

se produisent. L'être n'est donc pas l'objet extérieur de la pensée, mais la manière interne dont la pensée se produit: causalement.

Donc la question doit donc être: qu'est-ce que penser, connaître, avoir des idées? Est-ce se représenter quelque chose? - ou est-ce, comme nous le suggère Spinoza, produire des idées? Si l'on peut montrer que la *déduction* est la forme de toute pensée, que tout penser est formellement une relation du type général "Si A, alors B", on peut dire que la structure de la pensée est la production et donc la causalité; et si la manière même dont la pensée est la causalité, alors l'être est effectivement et réellement causal, c'est-à-dire qu'il est toujours déterminé par quelque cause. Car Spinoza, de même que Descartes avant lui, définit la causalité par une équivalence au moins aussi célèbre que son *Deus sive natura*, et qui s'énonce ainsi: *causa sive ratio*: à toute chose l'on doit pouvoir donner une cause ou une raison pour laquelle elle existe plutôt que n'existe pas⁴⁴. Il faut donc bien comprendre que la causalité chez Spinoza n'est pas une mystérieuse force incompréhensible qui fait venir à l'être ce qui n'était pas auparavant, mais la structure même de la pensée, en tant qu'elle se donne toujours comme une relation de principe à conséquence: comme le principe de raison, et rien de plus. - Dire que la pensée consiste donc à donner une représentation plus ou moins adéquate d'une réalité qui préexisterait à sa saisie intellectuelle, reste notre idée de la connaissance et même de la science, quelque soit tout ce que l'on a appris sur elle, la plus intuitive: on a toujours l'impression que l'on connaît *quelque chose*, et l'on veut que ce quelque chose existe réellement, c'est même, croit-on avec Kant, le seul critère possible qui nous permettrait de différencier une idée vraie d'une idée fautive: c'est que l'une dit bien ce qui est tel qu'il est, tandis que l'autre ne reçoit de ce qui est que des images tronquées. Et peut-être cette théorie intuitive de la connaissance, n'est-elle somme toute que l'effet naturel du préjugé des sens, qui a l'impression d'être affecté, de recevoir de l'extérieur des impressions qui impriment en quelque sorte les images des objets sur nos facultés réceptrices, - et peut-être est-elle l'effet du privilège méthodologique de la vue depuis le début de la réflexion occidentale sur la connaissance. Mais l'on ne peut plus se contenter de l'emprise du paradigme sensible qui domine les théories de la Représentation pour comprendre notre science contemporaine; d'ailleurs la représentation a toujours conduit à des apories, jusqu'à l'affirmation de l'impossibilité de notre connaissance, qui serait une représentation "déformante". Or l'on peut montrer que la moindre impression sensible suppose en fait une construction de son objet: ce n'est pas l'objet qui s'imprime sur le film récepteur de ma sensibilité, mais mon mode de perception qui construit un objet. Il faut dire la même chose des théories scientifiques: elles construisent leurs objets, comme l'ont montré des épistémologues récents, comme Jacob pour la biologie, etc. - En fait, il faut dire qu'il n'y a pas d'impression pure: par exemple l'image du verre sur la table n'est pas une simple perception, mais une idée, l'idée que le verre est sur la table, et c'est cela que je crois "percevoir", alors qu'il ne s'agit pas d'une simple perception mais d'une croyance très élaborée qui

⁴⁴ Cette expression se trouve pour la première fois dans les *Réponses aux deuxièmes objections* des *Méditations Métaphysiques* de Descartes, dans le premier des axiomes qui se trouvent à la fin de ces "secondes réponses": dans l'édition de poche GF, p. 263: "Premier axiome. Il n'y a aucune chose existante de laquelle on ne puisse demander quelle est la cause pourquoi elle existe. Car cela même se peut demander de Dieu; non qu'il ait besoin d'une cause pour exister, mais parce que l'immensité même de sa nature est la *cause ou la raison* pour laquelle il n'a pas besoin de cause pour exister."

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

exige, pour être produite, le concours d'un grand nombre d'autres idées. Il faut aller plus loin, et dire qu'il n'y a jamais d'intuition pure, mais seulement des déductions: l'intuition ne repose que sur le modèle de la vision sensible.

En effet, si l'on veut faire une phénoménologie de la pensée, c'est-à-dire une simple description immanente de la pensée, de la manière dont on pense, de ce que l'on appelle penser, on découvrira que penser quelque chose c'est en fait toujours comprendre; et que comprendre, ce n'est pas avoir une certaine représentation idéale de quelque chose de non-idéal, mais faire une mini-déduction, c'est-à-dire passer d'une idée à une autre idée: ainsi tombe le problème de l'objet. Ce que m'apprend par exemple toute théorie, quelque'elle soit, elle me l'apprend par un *raisonnement*, c'est-à-dire un enchaînement d'idées: c'est à travers ce raisonnement que se construit progressivement quelque chose comme un objet, si l'on veut, mais ce n'est pas la représentation de cet objet qui est déterminante ou première: ce n'est donc pas d'abord que je pense *quelque chose*, qui définit la pensée, mais le fait que des idées de produisent les unes les autres.

Pas même donc le fait que *je* produise des idées, car le sujet est tout aussi construit que l'objet, et n'est pas non plus premier. Et c'est peut-être là l'apport le plus considérable de Spinoza: cela consiste à nous libérer du modèle sujet-objet pour penser la Pensée, et à définir la Pensée comme un enchaînement d'*idées*. On voit bien quelle est la différence radicale entre Kant et Spinoza, entre ce que j'appelle une philosophie de la représentation (dont Descartes fournissait à Spinoza le modèle contemporain), et une philosophie de la compréhension. Un "sujet", si l'on entend par là la vie consciente d'un individu empirique, n'est qu'un ensemble d'idées qui se succèdent les unes les autres. Il faut dire ici, et je ne sais pas si j'aurais le temps de le faire comprendre, qu'une perception sensible, pour Spinoza, est une idée, de même qu'un sentiment est une idée: c'est ce que Spinoza appelle des *affects*. Affect désigne le fait que les idées soit des causes les unes des autres: ainsi telle idée (par exemple une image publicitaire, ou un théorème mathématique, ou une idée philosophique - le champ de la pensée est homogène) produira sur moi tels et tels effets; ou, plus exactement, "je" suis ces effets, qui sont ce que je pense: je suis les pensées que j'ai, - aussi bien conscientes d'ailleurs qu'inconscientes.

- Mais la principale objection qui se lève ici, est que Spinoza nous voue à un relativisme débridé, puisqu'il semble nous enlever tout critère de vérité, en supprimant la pertinence du concept même de réalité, comme "ce à quoi doit se conformer la pensée quand elle pense vraiment". - Et c'est par ce biais que nous allons rejoindre notre problème: la réalité est-elle déterministe.

Car Spinoza n'est absolument pas relativiste, il passe même pour l'un des plus excessifs rationalistes de l'histoire de la philosophie. Il pense, ou plus exactement, il *sait* que sa philosophie est la vraie. Quel sens a donc ce mot de vérité? Une idée vraie est une idée dont nous connaissons la cause - et la cause d'une idée est toujours une autre idée: c'est en quelque sorte une déduction complète. Toute déduction consciemment effectuée, pourrions-nous dire est vraie. Ainsi, une théorie est vraie si les déductions qui la composent sont correctes: c'est d'ailleurs la raison pour laquelle le principal livre de Spinoza, *l'Ethique*, est écrit à la manière d'une axiomatique. C'est que, par exemple, on ne peut pas dire que la théorie euclidienne est vraie dans le sens où elle décrirait adéquatement le réel; on ne peut pas dire non plus qu'elle soit fausse, parce que Einstein a su montré que c'était des géométries non-euclidiennes qui correspondait mieux aux manipulations théoriques de l'espace-temps. Elle est vraie dans le sens où si l'on accepte ses axiomes et ses

postulats on doit *nécessairement* conclure ce que conclue Euclide. Et cela est vrai, pour tout le monde, et pour toujours: les idées que le géomètre a quand il fait de la géométrie, sont vraies universellement, nécessairement, et éternellement. Mais ce n'est pas pour autant qu'elles décrivent adéquatement le Réel en soi, dont on voit qu'il n'y a aucun sens à parler de réel en soi. Il en est de même pour la physique de Newton, ou pour la philosophie d'Aristote lui-même, du moins pour autant que leurs déductions sont correctes, c'est-à-dire que des mêmes prémisses on conclue *nécessairement* aux mêmes résultats. C'est ainsi que l'on retrouve l'idée de nécessité: la Nécessité n'est donc pas ce qu'il y a à connaître, mais la manière dont il faut connaître, ou même la manière dont on connaît toujours effectivement... Spinoza parle d'une expérience de la nécessité ou de l'éternité: connaître la nécessité des choses pour Spinoza, n'est rien d'autre qu'avoir des idées vraies, qui sont donc nécessaires.

Mais toutes les idées sont nécessaires et donc vraies - pour autant qu'on les comprend, c'est-à-dire que l'on connaît les idées à partir desquelles elles sont produites. On peut donner de cela deux exemples antithétiques. L'un de quelqu'un qui applique les règles de calcul, sans se soucier de savoir si elles sont vraies ou non; ou qui croit que le soleil tourne autour de la Terre, ou l'inverse, sans avoir jamais cherché ou lu une démonstration, mais simplement - et c'est le cas de la plupart d'entre nous - parce qu'il fait confiance à ce qu'on lui dit. Celui-là *ne sait pas* si la Terre tourne autour du Soleil ou si $2+2$ font 4: il le croit. Il y a bien une cause ou une raison pour laquelle il le croit: c'est qu'il fait confiance à ces maîtres, ou que ces propositions lui paraît, étant donné le fonctionnement de son cerveau, évidente, etc. Mais il ne sait pas ce dont il parle, pas plus que celui qui fait confiance à ses sens et qui croit que le soleil est à quelques kilomètres seulement (encore ne doit-il plus exister beaucoup de gens dans ce cas, tant c'est l'intelligence qui nous dit ce que l'on croit percevoir et non pas la perception pure). Cette connaissance, Spinoza l'appelle par ouï-dire et expérience vague. - Soit le cas inverse: de la folie, par exemple, c'est-à-dire de ce qui passe pour irrationnel. Spinoza dirait simplement: c'est que vous ne le comprenez pas les enchaînements d'idées qu'il effectue, ou qui le compose. Certes le fou ne les comprend lui-même pas plus; mais il ne les comprend pas moins non plus que nous lorsque nous croyons que la Terre tourne autour du Soleil: il a simplement d'autres raisons pour croire ce qu'il croit, comme nous avons d'ailleurs des raisons tout aussi contestable (car l'accord de la majorité ne fait pas la vérité) pour penser qu'il n'est effectivement pas Napoléon. Il n'y a pas là, du moins pas *a priori*, de réalité en cause: on ne peut pas dire qu'il n'est pas Napoléon "en réalité", car cette "réalité" n'est pas une réalité en soi que nous, qui ne sommes pas dérangés, percevions correctement, mais simplement un certain type de raisonnement. Si par contre il était *démontré* que cet homme n'est pas Napoléon comme il est démontré que les trois angles d'un triangle sont égaux à deux droits, alors effectivement l'on pourrait dire de ce fou, non pas qu'il est fou, mais qu'il se trompe. On pourrait toujours essayer de le lui démontrer: que suis-je en train de faire, sinon d'essayer de démontrer à certains d'entre vous qu'ils se trompent?... Sur cette idée, il faut lire l'extraordinaire Scolie de la Proposition 42, Partie 2, qui montre que nous avons une connaissance adéquate de Dieu, c'est-à-dire de la réalité même: il y explique que ceux qui disent que "les lignes qu'on mène du centre à la circonférence sont inégales" ont d'autres définitions que nous de ces termes (importance du modèle axiomatique), c'est-à-dire que l'on ne parle pas de la même chose, que l'on ne fait

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

pas les mêmes raisonnements parce que l'on ne part pas de mêmes idées: ils ne se trompent pas, mais font tout simplement un autre raisonnement, ils ont pourrions-nous dire, une autre axiomatique. "Si tu regardes leur Esprit, assurément ils ne se trompent pas", dit Spinoza: si tu fais attention à ce qu'ils pensent, et non pas à ce qu'ils disent, il n'y a pas d'erreur; - et il ajoute cette remarque extraordinaire: "Sinon, nous ne croirions pas qu'ils se trompent en rien; *tout comme je n'ai pu croire que se trompait celui que, récemment, j'ai entendu crier que sa maison s'était envolée dans la poule du voisin, parce que sa pensée me semblait assez claire* .⁴⁵" Il devait savoir, lui, ce qu'il voulait dire; et si lui ne le savait pas, du moins y avait-il une raison pour laquelle il disait cela, et cela n'avait pas pour lui aucun sens.

Comprendre donc - aussi bien nos semblables qu'une théorie, c'est refaire le raisonnement qu'expose cette théorie ou qu'a fait notre semblable. En ce qui concerne notre semblable - comme nous-mêmes d'ailleurs si nous voulons par exemple comprendre ce qui nous a fait agir de telle ou telle manière - une compréhension complète est impossible, car nous ne pourrions jamais avoir toutes les idées qui ont contribué à produire cette idée de notre semblable (par exemple qu'il est Napoléon, ou qu'il est juste de ne pas tuer son semblable). C'est pourquoi Spinoza dit que la connaissance des choses singulières ne saurait être que ce qu'il appelle l'imagination. C'est-à-dire que les idées (imaginaires) qui se produisent par exemple dans l'histoire sont certes nécessaires, mais si l'on refait dans ses moindres détails en quelque sorte tout le cheminement historique. Car pour connaître une chose singulière, il faut en connaître la cause, et pour connaître cette cause, il faut en connaître aussi la cause, etc. La connaissance ne saurait donc être une connaissance de la Nécessité dans ce sens que l'on pourrait prévoir ce qui va arriver absolument, selon le modèle laplacien. On a longtemps voulu faire dire cela à Spinoza, or il le dément formellement: car il oppose détermination et prédétermination: que tout soit déterminé, c'est-à-dire qu'il faille toujours une cause pour que cela se produise (aussi bien une idée qu'autre chose), ne signifie pas que tout est prédéterminé. Car même Dieu justement ne saurait connaître l'enchaînement de toutes les idées sans reproduire toute l'histoire en quelque sorte elle-même: Dieu connaît toutes choses "en même temps" qu'il les produit: sa connaissance est cette production même...

En ce qui concerne les théories, heureusement, il en va tout autrement: l'épistémologie spinoziste donne pour tâche aux sciences de produire des *lois*. Les théories scientifiques, pour autant qu'elles sont des démonstrations, sont *vraies*: mais elles partent d'axiomes, qui par définition ne nous apprennent aucune chose particulière, mais porte sur toutes choses également, et déduisent des théorèmes ou des propositions, qui sont elles aussi ce que Spinoza appelle des "notions communes", et non pas des idées de choses singulières. Ce qui importe, dans la science, ce que Spinoza appelle la "rationalité", c'est que les idées sont produites les unes les autres de manière pleinement consciente. Seul donc le savant qui a démontré que, en vertu de certains principes, tout corps plongé dans un liquide subit une pression de bas en haut, comprend véritablement ce qu'il dit, parce qu'il sait pourquoi il pense ce qu'il pense, alors que le plus souvent nous ne savons pas pourquoi nous pensons ce que nous pensons. - Ainsi connaître, et connaître

⁴⁵ Ce scolie se trouve, dans la traduction de B. Pautrat publié au Seuil - et qui est la meilleure de loi -, p. 181/3. Dans l'édition de poche GF, p. 122/3.

vraiment, ce n'est pas re-produire l'ordre de la réalité, mais c'est produire des idées de telles sortes que l'on connaisse l'effet et la cause à la fois. C'est déduire complètement et attentivement d'une idée d'autres idées. Ainsi, toutes les idées vraies sont nécessaires et adéquates. Faire l'expérience de l'éternité, c'est précisément faire des démonstrations. Ainsi Spinoza dit-il, dans un Scolie célèbre: "Et néanmoins nous sentons et savons d'expérience que nous sommes éternels" (éternel et nécessaire veulent dire la même chose chez Spinoza, qui les emploie comme synonymes, ce qui se comprend d'ailleurs assez intuitivement; notre esprit est éternel en tant qu'il a des idées vraies, puisqu'il n'est rien d'autre que la somme de ces idées, et que les idées vraies sont éternelles: toute la partie de notre esprit qui est composée d'idées vraies est éternelle). "Car l'esprit ne sent pas moins les choses qu'il conçoit en comprenant, que celles qu'il a en mémoire. En effet, les yeux de l'Esprit, par le moyen desquels il voit les choses et les observe, ce sont les démonstrations elles-mêmes.⁴⁶" On en peut mieux exprimer ce qui fait la différence entre une philosophie de la compréhension et les philosophies de la représentation. De ce fait la Nécessité est la Vérité, parce qu'elle est la nécessité avec laquelle se produisent toutes les démonstrations bien comprises, et parce que toutes nos idées sont des démonstrations plus ou moins confuses... Et pour conclure on pourrait dire ceci: plutôt que de spéculer sur l'inconnaissable, mieux vaut se demander comment l'on connaît, et comment l'on peut connaître plus et mieux...

⁴⁶ E, P2, prop. 23, scolie, Seuil, p. 517.

DÉTERMINISME ET BIOLOGIE

Loïc Meunier

Introduction

La physique contemporaine a beaucoup contribué à la problématique du déterminisme, d'abord par la mécanique classique, puis par le débat de la mécanique quantique, riche de matière à penser en raison de son contenu souvent contre-intuitif, mais aussi par certaines découvertes de l'astrophysique. Pourtant, si le déterminisme laplacien semble mort, cela implique-t-il que toute forme de déterminisme doive être exclue à priori ? En particulier si l'on considère dans les échelles de temps et d'espace des niveaux plus élevés que ceux des fondements de la matière - bien que ces concepts s'y perdent -, mais inférieurs à ceux des processus cosmologiques, en d'autres termes, les êtres vivants, que devient la notion de déterminisme ?

Dans cet exposé, qui n'a rien de définitif, nous essaierons de préciser quels éléments de réflexion la biologie peut apporter à cette problématique. En partant des interactions physico-chimiques entre molécules, nous nous poserons le problème du déterminisme des comportements, avant de dépasser l'échelle des organismes pour nous interroger sur la place du hasard et du déterminisme dans les processus de l'évolution biologique.

I- Le déterminisme physicochimique du vivant : l'approche analytique ou réductionniste

Pour fonder une approche scientifique de l'étude des êtres vivants, il est nécessaire de poser le postulat du déterminisme, et cela même si l'objet étudié n'est pas fondamentalement soumis à un déterminisme rigoureux. Ce qui importe en effet est la répétabilité [réitérabilité] du résultat d'une expérience. Les conditions d'un phénomène une fois connues et remplies, celui-ci doit se produire nécessairement, de sorte que le résultat d'une expérience dans des conditions données est toujours le même, à la précision expérimentale près. Une expérience peut ainsi prendre, par convention certes, valeur de démonstration, car cette répétabilité est le support d'une cohérence d'ensemble. C'est ainsi que Claude Bernard définit les bases d'une méthode scientifique expérimentale pour l'investigation du vivant :

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

" Il faut admettre comme un axiome expérimental que chez les êtres vivants aussi bien que dans les corps bruts les conditions d'existence de tout phénomène sont déterminées d'une manière absolue (...) Tous les phénomènes de quelque ordre qu'ils soient existent virtuellement dans les lois immuables de la nature, et ils ne se manifestent que lorsque leurs conditions d'existence sont réalisées."⁴⁷

Cette méthode s'est avérée particulièrement féconde dans tous les domaines de la biologie, de la physiologie à la biologie moléculaire dont on sait l'avancée fantastique de ces vingt dernières années. Le vivant a ainsi été disséqué en ses constituants moléculaires ultimes, révélant une organisation et des interactions extraordinairement complexes, répondant parfaitement au postulat du déterminisme phénoménal de départ.

Quelques exemples du déterminisme physico-chimique **Déterminisme de la conformation tridimensionnelle**

Les ribosomes sont des constituants cellulaires responsables de la traduction des ARN messagers en protéines. Ce sont des complexes macromoléculaires composés de 4 molécules d'ARN, qui a ici un rôle structural voire catalytique, et de 82 protéines différentes (pour un ribosome d'eucaryote). La conformation tridimensionnelle d'un ribosome, qui lui est spécifique, est complexe et précise. Une fois isolés en solution dans des conditions particulières, on peut les dénaturer en diminuant la concentration en ions Mg^{++} , c'est-à-dire désorganiser le complexe, dont les molécules forment alors des chaînes linéaires indépendantes et sans conformation fixe. Il y a eu rupture des liaisons faibles (i.e liaisons non covalentes). On obtient donc un mélange désorganisé de protéines et d'ARN. Lorsque l'on rétablit les conditions initiales, les complexes macromoléculaires se reforment spontanément, à l'exact de leur conformation de départ : les ribosomes sont à nouveau fonctionnels. Que s'est-il passé ? Doit-on en conclure que la séquence primaire d'une protéine et d'un ARN contient en puissance l'information nécessaire à la formation d'une organisation spatiale complexe ? Y a-t-il un déterminisme physicochimique strict par lequel une séquence donnée se replie spontanément en une conformation donnée (pour un état donné du système) ?

La ribonucléase est une enzyme dont la séquence primaire comporte 124 aminoacides et dont la conformation tridimensionnelle est maintenue par des liaisons faibles et par quatre liaisons covalentes (des ponts disulfure) s'établissant deux à deux entre les huit atomes de soufre des huit résidus cystéine de la protéine. En milieu réducteur les quatre liaisons S-S sont rompues, la protéine est dénaturée et elle est inactive. Lorsqu'on la replace en milieu oxydant les ponts disulfures se reforment. Or il y a de nombreuses possibilités de liaisons, mais ce sont toujours les quatre mêmes ponts initiaux qui se reforment pour aboutir à la même conformation tridimensionnelle de l'enzyme, la seule qui soit active.

Ainsi il apparaît que la séquence primaires d'une protéine ou d'un ARN comporte l'information nécessaire pour imposer une structure spatiale définie, dans des conditions données. Cette conformation n'est que l'une des très nombreuses

⁴⁷Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, cité dans Encyclopedia Universalis à *Déterminisme*.

conformations tridimensionnelles possibles de la molécule, mais elle est privilégiée. Elle représente en effet la configuration la plus stable thermodynamiquement, c'est-à-dire celle qui demandera pour être dissociée le maximum d'énergie et aura donc la plus grande stabilité. (Cependant dans beaucoup de cas le repliement des protéines nécessite l'action d'autres protéines, que l'on appelle 'protéines chaperons' et qui interviennent notamment lors des chocs thermiques).⁴⁸

Cybernétique des gènes

Une manifestation plus complexe du déterminisme physicochimique se trouve dans les interactions entre molécules au sein d'une cellule. Malgré l'inextricable fouillis moléculaire, à la dynamique désordonnée, s'expriment des comportements complexes et cohérents, des régulations fines du fonctionnement de la machinerie cellulaire. L'expression du génome est régie par des mécanismes d'activations et d'inhibitions successives, qui résultent eux-mêmes d'une compétition dynamique entre molécules à effets opposés : s'il y a plus d'activateurs que d'inhibiteurs le gène sera transcrit ; de plus cela est souvent modulé par l'affinité des protéines régulatrices : à concentration égale un activateur dont l'affinité pour une séquence d'ADN donnée est plus forte permettra la transcription. Certaines protéines se fixant à ces séquences modifient leur affinité pour certains régulateurs. De surcroît ces régulations peuvent avoir lieu à différents niveaux du fonctionnement cellulaire. En somme il résulte de cela une extraordinaire complexité d'interactions, que l'on peut décrire en termes cybernétiques (régulations et interactions entre éléments d'un ensemble). Ainsi l'opéron lactose d'*Escherichia coli*, étudié par J.Monod et F.Jacob, est-il inhibé par un répresseur qui peut être lui-même inactivé par un inducteur, système que l'on peut décrire par un schéma simple. Ou encore, tel gène A va produire une protéine A qui va activer tel autre gène B qui à son tour va exprimer une protéine B qui inhibera le gène C, lui-même pouvant être activé par A : dans ce cas, le gène C va-t-il s'exprimer ou non ? On se rend vite compte dans cet exemple que la complexité vient de ce que contrairement aux ordinateurs classiques, le système fonctionne ici en parallèle et s'inscrit dans une dynamique temporelle où chaque élément agit simultanément. Ces interactions ont d'abord été étudiées dans un modèle simple, un petit virus bactérien, le bactériophage lambda, dont on a disséqué le fonctionnement dans ses moindres détails, mettant ainsi au jour une véritable 'merveille d'ajustement génétique' pour reprendre les termes de F.Gros, qui continue :

"Avec le modèle lambda on détient la connaissance, sans doute la plus précise au niveau moléculaire, d'une horloge génétique commandant le développement complet d'un système biologique à partir d'un programme entièrement codé au niveau de l'ADN qu'il renferme."⁴⁹

Conséquences

⁴⁸Voir Michel Morange, *Les molécules chaperons*, La Recherche, 259, nov 93, vol 24

⁴⁹François Gros, *Les secrets du gène*, Ed.Odile Jacob, 1986, p.134

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

L'approche réductionniste conduit de fait à désacraliser le vivant, et pose avec plus d'acuité le problème de sa définition. Puisque les cellules qui composent les organismes ne sont que des agrégats de molécules dont on peut décrire le comportement en termes physico-chimiques, quelle différence peut-il bien y avoir entre les réactions de la chimie de laboratoire et celles prenant place dans une cellule ? Force est de constater qu'il n'y a pas de différence de nature : il n'y a ni principe vital, ni singularité thermodynamique du vivant par laquelle celui-ci serait une exception au deuxième principe ; les mêmes lois thermodynamiques régissent le monde inanimé et le monde animé. A quoi bon même les distinguer, puisque des principes identiques les régissent, et plus encore puisque l'on peut réaliser in vitro des réactions chimiques complexes, propre au vivant, telles que la réplication de l'ADN ou la traduction protéique ? Que dire de la vie dans un monde où l'on peut synthétiser artificiellement des virus ? Doit-on accepter la réponse de Kahane, qui affirme, non sans une certaine provocation, que la vie n'existe pas⁵⁰ ? Si cette affirmation est vraie, si la vie ne se distingue pas du reste du monde, alors une place plus grande peut exister pour un déterminisme rigoureux.

Pour 'sauver la notion de vie', tournons-nous vers des auteurs comme E.Morin⁵¹ ou E.Prigogine⁵², chez qui une vision moins simplificatrice du vivant rend possible des approches originales : la pensée de la complexité pour l'un et la thermodynamique des systèmes ouverts pour l'autre. Ainsi, ce qui distingue le vivant est d'abord son extrême complexité, que l'on peut analyser selon plusieurs niveaux, avec ses propriétés émergentes, et son état de structure dissipative : l'organisme est continuellement traversé par un flux de matière et d'énergie. A cela on peut ajouter une autre particularité - peut-être plus subtile - qui est la téléonomie ou finalité . Cette notion, dont on doit récemment la diffusion à J.Monod⁵³, est généralement mal comprise, mélangée souvent de vitalisme ou de causes finales. Reprenons les phrases du philosophe F.Kaplan qui en expose simplement le sens, et la pertinence.

"La totalité, que constitue un être vivant n'est pas celle d'une simple forme géométrique - par exemple, un cercle - ou d'une oeuvre d'art. C'est celle de moyens en vue d'une fin, comme dans une machine."⁵⁴

Celui-ci précise toutefois, par une citation d'Oparine, que

"le terme finalité ne doit pas, évidemment, être pris dans un sens idéaliste d'exécution de quelque dessein supérieur. On utilise ce mot pour indiquer que l'organisation du système tout entier sert à son autoconservation et son autoreproduction ainsi que pour souligner l'adaptation de ses constituants à l'exécution la plus efficace et la plus coordonnée de ses fonctions vitales dans l'ensemble de ce système considéré comme un tout"⁵⁵

⁵⁰Ernest Kahane, *La vie n'existe pas !*, Ed.Rationaliste, 1962

⁵¹Voir Edgar Morin, *Science avec conscience*, Ed. du Seuil, 1990

⁵²Voir Ilya Prigogine et Isabelle Stengers, *La nouvelle alliance*, Ed.Gallimard,1979

⁵³Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité*, Ed. du Seuil, 1970

⁵⁴Francis Kaplan, *Le paradoxe de la vie*, Ed. la Decouverte, 1995, p14

⁵⁵Ibid, pp. 72-73

II- Déterminisme biologique et liberté humaine

Introduction

Si l'on accepte le déterminisme physico-chimique du fonctionnement du vivant, et que l'on déroule les chaînes causales de la molécule à l'organisme on est forcé d'admettre que la liberté humaine est illusoire, et que le sentiment que l'on en a n'est tout au plus qu'une prise de conscience d'un enchaînement nécessaire. Doit-on soutenir le déterminisme jusqu'à cette extrémité ou faut-il supposer une rupture à un niveau ou à un autre des chaînes causales ? On se rend bien compte ici que le problème posé implique celui de la cause des comportements animaux, et, au moins pour l'homme, celui de l'existence de la conscience. La contribution de la biologie à ces problématiques ne peut se faire que par l'étude des causes biologiques des comportements, du déterminisme génétique au fonctionnement propre du système nerveux central.

L'emprise des gènes.

Comprendre le rôle des gènes dans la mise en place et le fonctionnement du cerveau humain, y compris dans ses manifestations les plus complexes tel que la cognition ou la pensée, est logiquement voué à l'échec comme nous le rappelle J. Monod "puisque aucun système logique ne saurait décrire intégralement sa propre structure"⁵⁶. Cependant l'hypothèse déterministe constitue une approche heuristiquement féconde qu'il serait dommage d'écarter au premier abord - ce qui constitue pour Maynard-Smith une attitude fataliste⁵⁷.

La première question que l'on vient à se poser est celle du nombre et de la nature des gènes exprimés dans le cerveau. Leur nombre est trois à cinq fois plus élevé que dans les autres organes : 30000 à 40000 dans un cerveau de souris contre 5000 à 10000 dans les autres organes. De plus la moitié de ces gènes est exprimé uniquement dans le système nerveux central. (Chaque organe ou tissu, une fois différencié, exprime certaines protéines qui lui sont propres). Ainsi que ce soit au niveau de sa formation ou de son fonctionnement, le cerveau mobilise à lui seul autant de gènes que tout le reste du corps⁵⁸. Comment interpréter cela ?

De par leurs choix topologiques réversibles les neurones sont des cellules caractérisées par leur grand nombre d'interactions cellulaires. Ces interactions nécessitent de nombreuses protéines, dont la fonction et la localisation ont pu être mise en évidence, et l'on peut voir en cela l'explication du nombre de gènes exprimés dans le cerveau.

Cependant ces acquis ne concernent encore que les niveaux inférieurs d'intégration et se rapportent surtout à l'analyse sensorielle. Qu'en est-il des fonctions supérieures du cortex et des processus cognitifs ? Globalement deux voies de recherches se distinguent : l'étude des altérations neuro-anatomiques génétiquement

⁵⁶J. Monod, op.cit. p162

⁵⁷John Maynard Smith, *Did Darwin get it right ?*, Penguin Books, 1988, P.249

⁵⁸F. Gros, op.cit., pp.469-471

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

déterminées, comme la trisomie 21, et la génétique du comportement. Dans cette dernière deux méthodes ont été employées : d'une part, la sélection à partir de groupes d'animaux de la même espèce, comme dans les expériences déjà vieilles et controversées de R.C.Tryon, qui mériteraient d'être refaites; a montré que des variations individuelles du comportement (telle que la rapidité à sortir d'un labyrinthe) doivent correspondre dans de nombreux cas à des génotypes différents⁵⁹ ; et d'autre part, la comparaison de lignées pures. Considérons deux souches de souris, la souche A, qui manifeste des convulsions épileptiques à l'écoute d'une sonnerie stridente et la souche B, qui n'en manifeste pas. Cette sensibilité étant transmise héréditairement, doit-on en conclure qu'il existe un gène de la 'crise épileptique audiogène' avec deux allèles, l'un déterminant la résistance, l'autre la susceptibilité ? En fait il se pourrait très bien que ce gène puisse influencer sur la quantité d'un certain messager chimique qui, de manière fortuite se trouve permettre aux neurones de ne pas 's'emballer' pendant la sonnerie⁶⁰. Ainsi il est simplificateur de dire qu'un gène 'code' pour un comportement, car il s'agit d'une influence indirecte, de concert avec d'autres facteurs, car un tel déterminisme génétique fait souvent intervenir plusieurs gènes⁶¹

Il existe donc bien évidemment une composante héréditaire des comportements, d'autant plus forte que l'organisme montre moins de souplesse, d'adaptabilité. Cependant, même chez des organismes fortement contraints sur le plan génétique, cela n'exclut pas l'apprentissage sachant que les lois de l'apprentissage peuvent être génétiquement déterminées. On pense par exemple à la période d'empreinte chez les oiseaux qui a lieu pendant une période fixée après la naissance. Ou, comme le pensent certains linguistes, au processus d'apprentissage primaire du langage chez l'enfant.

Cependant ce rôle des gènes ne peut être que limité si l'on considère les 10p12 à 10p13 neurones connectés entre-eux par quelque 10p14 à 10p15 synapses. Comment supposer un déterminisme génétique direct de la connexion des neurones alors que le nombre de gènes total est estimé à un maximum de 10p5 ? Compte tenu de ce nombre et de la variabilité des comportements possibles, il n'est donc pas raisonnable de soutenir un déterminisme génétique strict pour l'ensemble des comportements. De même que J.P.Changeux fait remarquer qu'il ne peut exister de correspondance simple entre la complexité d'organisation du génome et celle du système nerveux central et que l'aphorisme : 'un gène - un enzyme ' de Beadle et Tatum, en aucune manière ne devient : 'un gène - une synapse'⁶², on peut dire qu'il ne devient pas non plus : 'un gène - un comportement', bien que 'de fait', dans certains cas très particuliers (par exemple les comportements simples des insectes), cela soit vrai.

Qui plus est, il est simplificateur de parler de *la* cause d'un comportement, car comme le fait remarquer A. Jacquard, il n'y a pas une cause mais des causes multiples. Reprenons son exemple : un enfant reçoit un coup, devient blanc de colère et réplique par une giflure. On peut décrire la cause en termes d'influx nerveux

⁵⁹Ibid, pp. 487-488

⁶⁰Voir Marcel Blanc, *Les héritiers de Darwin*, Ed. du seuil, 1990

⁶¹F.gros, op. cit. p.491

⁶²Jean-Pierre Changeux, *L'homme neuronal*, Fayard, 1983, p.231

afférants et efférants, et de vasoconstriction de certains vaisseaux, ou la trouver à un autre niveau, celui du caractère de l'enfant et de la société dans laquelle il vit⁶³. De même, en biologie évolutionniste, il est indispensable de différencier les causes proximales d'un phénomène (souvent d'ordre physiologique) des causes évolutives, responsables de la mise en place du programme et des éléments constitutifs des causes proximales.

Le problème est donc de savoir si le déterminisme physicochimique se déploie jusqu'aux comportements et aux manifestations conscientes non par le jeu d'une correspondance simple, voire simpliste, avec les gènes, mais sous la forme de propriétés émergentes dues aux interactions complexes des éléments constitutifs du vivant, ou bien s'il y a intervention d'un autre principe, tel que pourrait être l'esprit. Dans cette voie, que nous dit la biologie sur la conscience ?

La biologie de la conscience

Si l'on cherche à comprendre, à la suite de Claude Bernard, la fonction par la structure, en posant l'hypothèse que celle-ci est suffisante pour l'expliquer, et à condition de considérer le niveau d'organisation pertinent pour une fonction donnée, on remarque qu'il y a un rapport très net entre l'activité du cerveau et les états de conscience. Deux avancées techniques permettent d'étudier cette correspondance : d'une part, la caméra à positrons, qui permet de visualiser les débits sanguins locaux à l'intérieur du cerveau, bien que limitée par sa résolution temporelle et spatiale, complète l'étude des lésions des lobes frontaux dans la réalisation de cartes cérébrales mettant en relation des zones du cerveau avec des processus cognitifs ou des états de conscience; et d'autre part, les mesures électrophysiologiques in situ, qui permettent de visualiser l'activité d'un seul neurone lors de processus cognitifs. Ainsi ont été mis en évidence des neurones qui réagissent uniquement à certaines stimulations, telle que l'image d'un visage dans une orientation donnée, ou des ensembles de neurones formant des réseaux à oscillations cohérentes.

Pour J-P Changeux ces observations sont univoques et proclament "l'identité entre états mentaux et états physiologiques ou physicochimiques du cerveau"⁶⁴, si bien qu'il n'y a pas à proprement parler d'Esprit puisqu'il n'y a plus lieu de séparer l'activité mentale de l'activité neuronale. Cependant il est plus raisonnable de penser que malgré ces éléments récents sur le fonctionnement du cerveau, la question posée reste ouverte et laisse une large place aux réflexions philosophiques sur le problème du cerveau et de la conscience.

III- La place du hasard

Le hasard comme principe fondamental du processus darwinien

⁶³Albert Jacquard, *L'héritage de la liberté*, Ed du Seuil, 1991

⁶⁴J-P.Changeux, op.cit, p.334

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

Pour bien comprendre l'idée de Darwin, il faut se rendre compte que le hasard y a une place primordiale. Reprenons rapidement les éléments de cette idée : un ensemble d'individus biologiques se reproduisant, à variabilité héréditaires ; une source de variations nouvelles apparaissant à chaque génération ; et des pressions de sélection qui font que certains individus survivent et se reproduisent mieux que d'autres dans un environnement donné; et reprenons l'exemple célèbre des girafes. Pour Darwin le cou des girafes est adapté à la hauteur des feuilles parce que celles qui avaient un cou plus petits sont mortes. Imaginons que les arbres soient de plus en plus grands et les feuilles de plus en plus hautes. En simplifiant, pour Lamarck, la 'volonté' ou le 'besoin' de chaque girafe d'avoir un cou plus long fait que sa descendance a effectivement un cou plus long, ce caractère étant ensuite transmis héréditairement (hérédité des caractères qui ont été acquis par 'volonté' propre). Pour Darwin l'explication est autre, parmi les descendants d'une femelle certains auront un cou plus long, d'autres plus court, et d'autres seront identiques, mais seuls ceux qui ont le cou le plus long survivront et se reproduiront. La différence essentielle ne réside pas, comme on le dit souvent, dans l'hérédité des caractères acquis - Darwin ne s'opposait pas à ce principe, bien qu'il lui attribuât un rôle mineur - mais dans le fait que pour Darwin le sens des variations est aléatoire par rapport à ce qui est sélectionné, alors que dans la pensée de Lamarck les variations sont toutes orientées dans le sens favorable. Cela ne veut pas dire bien sûr que les mutations qui sont sources de variations n'ont pas des causes physicochimiques, ni qu'elles sont équiprobables.

Ainsi le hasard est un élément important de la sélection naturelle telle qu'elle a été proposée par Darwin. Est-ce à dire que les êtres vivants et leur complexité sont issus du hasard ? La réponse à cette question ne peut venir que si l'on a bien à l'esprit qu'il ne s'agit pas d'expliquer l'extrêmement improbable par le hasard pur, comme ce serait le cas si l'on considérait la formation en quelques secondes d'un mouton, par agencement au hasard de chacun de ses atomes, mais de rendre compte de l'émergence de formes complexes par une organisation dans lequel le hasard fait partie d'un processus qui crée des objets extrêmement improbables en eux-mêmes à partir de l'accumulation et de la réutilisation de nombreux objets et événements plus probables, en un temps relativement long. Une illustration de cela est suggéré par F.Kaplan : pour obtenir un nombre donné par tirage au hasard (avec remise) de nombre compris entre 0 et 999999, il faut en moyenne 1000000 tirages, alors que si l'on tire d'abord le premier chiffres entre 0 et 9, puis le second une fois que le premier est celui du nombre voulu, et ainsi de suite, il ne faudra en moyenne que 60 tirages⁶⁵.

En somme cela n'est pas expliquer l'ensemble des êtres vivants par le hasard, mais l'expliquer en montrant sa place dans un processus qui l'englobe et le canalise. Dès lors la question se pose à nouveau; l'orientation du processus darwinien est-elle due au hasard ou est-elle déterminée ?

"La vie est belle" ?

⁶⁵K.Kaplan, op.cit pp. 121-122

Lorsque l'on considère un passage de l'histoire moderne, il est rare de ne pas trouver d'éléments contingents ayant eu un rôle décisif dans son cours, et l'on peut se demander ce qu'il serait advenu si cet élément avait été différent : l'histoire aurait-elle été chamboulée ou bien le contexte historique était-il tel qu'un déroulement analogue aurait d'une façon ou d'une autre eu lieu ? La réponse dépend de la situation, tel événement proximal déclenchant une guerre eût pu être différent, alors qu'un train raté à cause d'un incident routier ne l'aurait pas été si l'on avait pris un autre trajet.

La fin du XIX^e et le XX^e siècle porte une constatation dont l'enjeu et les conséquences n'ont pas encore été intégré dans nos conceptions : l'univers a une histoire, les êtres vivants en sont le produit. Dès lors, puisque tout phénomène historique est un enchaînement de faits dans une étroite relation de causalité avec ses contingences et ses tendances, la question se pose de savoir si les êtres vivants auraient été ce qu'ils sont si l'histoire de la vie recommençait. En d'autres termes l'émergence de l'homme, puisque c'est lui qui nous importe le plus - la question pouvant naturellement se poser pour n'importe quel taxon, est-elle le résultat d'événements contingents et aurait-elle très bien pu ne pas avoir lieu, ou bien était-elle inéluctable, inscrite dans les conditions de départ, et se serait réalisée d'une manière ou d'une autre, en dépit des contingences de l'histoire ?

Cette question, qui fait l'objet de débats ou de désaccords, n'est pas sans remuer les idéologies et convictions religieuses ou métaphysiques. En s'en tenant à une approche scientifique, et du point de vue biologique, deux phénomènes sont susceptibles d'enrichir notre réflexion : les tendances évolutives et les extinctions de masses.

Une tendance évolutive est un changement évolutif directionnel qui persiste suffisamment longtemps pour être détectable dans les registres fossiles. On cite souvent la règle de Cope ou loi de l'augmentation de la taille au cours de temps, que l'on illustre par l'exemple de l'évolution de la lignée des Equidae : l'ancêtre le plus lointain du cheval actuel avait la taille d'un chien et les dimensions de ses descendants ont augmenté de façon régulière jusqu'à l'espèce moderne, bien qu'il y ait eu des exceptions. D'une manière générale de la bactérie au sequoia, et sur une très grande échelle de temps, cette tendance est de même observée. On pourrait en citer d'autres, telle que l'augmentation de la complexité du système nerveux chez les animaux (bien qu'encore une fois il y ait des exceptions), ou la complexification des interactions écologiques entre les êtres vivants. Il existe plusieurs explications de ces tendances, chacune s'inscrivant à différents niveaux dans un cadre de réflexion darwinien. De fait, une question s'impose, l'intelligence réfléchie est-elle le résultat d'une tendance engagée depuis des millions d'années ? Selon Teilhard de Chardin, qui n'était pas, comme on le sait, seulement scientifique, elle est le résultat inéluctable de ce processus, alors que pour L. de Bonis elle aurait très bien pu être assumée par une autre lignée⁶⁶ - mais jusqu'à quel point ?

Lorsque l'on étudie les données fossiles correspondant aux 530 derniers millions d'années de l'histoire des métazoaires, on constate plusieurs réductions drastiques du nombre global de familles pouvant aller jusqu'à près de 50 %. Leurs causes sont diverses et mal connues (impacts météoritiques et/ou éruptions volcaniques, variations rapides du niveau des mers avec remontées de la zone d'anoxie, etc.). Le

⁶⁶Louis de Bonis, *Contingence et nécessité dans l'histoire de la vie*, Pour la Science, 187, mai 93

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

fait important est qu'aucune propriété des espèces en présence ne permet de savoir lesquelles seront éliminées, en d'autres termes, il n'y a pas de cohérence d'ensemble. Cependant cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'explication de la disparition d'une espèce particulière : certaines ont survécu et d'autres ont disparu selon qu'elles possédaient ou non certains caractères. Mais le résultat est bien le fait d'un hasard puisque ces caractères ont évolué indépendamment des conditions anormales des extinctions de masse. Ainsi pour S.J. Gould, faisant allusion la grande diversité du début de l'histoire de la vie pluricellulaire,

" on doit se convaincre que chaque forme primitive n'a reçu guère plus qu'un simple numéro dans la plus grande loterie jamais tirée sur notre planète et que chaque lignée survivante, dont la nôtre, le phylum des vertébrés, doit la vie au hasard du tirage plus qu'à des adaptations particulières."⁶⁷

Que serait advenu par exemple les mammifères sans la disparition des dinosaures à la fin du crétacé ? Écoutons à nouveau l'opinion de S.J. Gould :

" On admet généralement que les mammifères l'emportèrent sur les dinosaures, dans ces temps difficiles, parce qu'ils leur étaient supérieurs. C'est très peu probable : les mammifères ont cohabité avec les dinosaures pendant 100 millions d'années, mais les plus gros sont restés de la taille d'un rat, et aucun signe évolutif n'indique qu'ils auraient pu supplanter les dinosaures. Aucun argument convaincant n'a pu être avancé qui justifierait la supériorité des mammifères, et le hasard semble avoir été le seul à intervenir."⁶⁸

C'est cette contingence dans l'évolution du vivant qui fait dire à S.J.Gould que 'la vie est belle'⁶⁹, car nous aurions très bien pu ne pas être là. Cette conception est contraire à l'idée du déterminisme classique et il faut bien comprendre qu'elle bat en brèche toute croyance selon laquelle l'homme serait de droit la plus haute expression de la vie.

IV- Logique situationnelle et optimisation

K.Popper considère le darwinisme comme une application de ce qu'il appelle la 'logique des situations'⁷⁰. La définition et la situation des organismes vivants une fois données, "l'idée d'essai et d'élimination de l'erreur ou darwinisme devient non seulement applicable mais presque logiquement nécessaire."⁷¹ Et le point que

⁶⁷Stephen Jay Gould, *L'évolution de la vie sur terre*, Pour la Science, 206 dec 94

⁶⁸Ibid.

⁶⁹S.J.Gould, *La vie est belle*, Ed. du seuil, 1991

⁷⁰Karl Popper, *La quête inachevée*, Pocket, coll. Agora, 1989, p.237

⁷¹Ibid. p.238

Popper précise immédiatement est particulièrement intéressant pour la problématique du déterminisme : "Cela ne signifie en rien que ni le cadre ni l'origine de la vie soient nécessaire". Ainsi se définit, du moins est-ce une proposition, la notion de déterminisme local, qui ne répond certes pas à l'affirmation de Laplace, mais permet un point de vue particulier. Car il n'y a là aucune démonstration, simplement le fait d'une nécessité ou d'un déterminisme local, qui ne diffère de la chute d'une pierre que par le nombre et la complexité des éléments et interactions en jeu.

Nous pensons qu'il est possible d'appliquer cette idée plus avant dans le domaine de la biologie, ce qui revient en quelques sorte à trouver d'autres situations particulières à l'intérieur de celle du darwinisme. Nous prendrons deux exemples, les spirales végétales et le sex-ratio des pollinisateurs de figuier.

Depuis longtemps les botanistes ont remarqué qu'il était possible, pour certaines plantes, de faire correspondre la phyllotaxie (disposition des feuilles sur les tiges) à une suite bien connue des mathématicien, celle dite de Fibonacci, et ainsi au fameux nombre d'or. L'explication a été apportée par le physicien S.Douady⁷², qui a réalisé un système physique à l'aide de gouttes d'un fluide ferromagnétique placé dans un champ magnétique, mimant les contraintes stériques de la naissance des primordia foliaires (massifs cellulaires responsable de la formation d'une feuille) au niveau des meristèmes primaires (zone terminale de divisions cellulaires). Il obtint ainsi la même organisation liée à la suite de Fibonacci que chez les plantes. Par conséquent ce sont bien des contraintes stériques (d'encombrement) qui sont la cause de cette organisation qui semble être une optimisation de l'utilisation de l'espace disponible compte tenu des propriétés des éléments. Cette 'situation' aboutit donc nécessairement à une organisation particulière, qui est la même quel que soit le support matériel des éléments de la situation (primordium foliaire ou goutte de ferrofluide).

La pollinisation du figuier est non seulement 'une belle histoire', mais aussi un modèle de choix pour les biologistes de l'évolution. Il s'agit d'un mutualisme obligatoire entre une espèce de figuier et une espèce d'insecte (Hyménoptère Agaonide), l'un ne pouvant se reproduire sans l'autre. (il existe environ 700 couples figuier-pollinisateur). L'insecte femelle portant du pollen entre dans une figue, qui est une inflorescence fermée et contient un grand nombre de fleurs mâles et femelles, pond ses oeufs dans les ovaires d'une partie des fleurs et dépose en même temps le pollen sur d'autres fleurs femelles avant de mourir. Quelques semaines plus tard les mâles émergent, fécondent les femelles, et meurent. Ces dernières sortent de la figue, se chargeant au passage du pollen des fleurs mâles qui sont alors matures, et s'envolent à la recherche d'une autre figue pour y pondre. Une question que l'on peut se poser est celle du sex-ratio optimal (proportion de femelles et de mâles) que doit réaliser une femelle en fonction du nombre de femelles fondatrices entrant dans la figue. (Les Hyménoptères peuvent déterminer, pour des raisons génétiques particulières, le sexe de leurs descendant). Dans le cas où la fondatrice est seule dans la figue, et puisqu'un seul mâle suffit pour féconder toutes les femelles, le nombre optimal de mâles à produire est 1 (sachant que la fondatrice pondra ainsi plus de femelles). Si au contraire il y a beaucoup de

⁷²Stéphane Douady et Yves Coudier, *Les spirales végétales*, La Recherche, 250, janvier 93, Vol 24

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

fondatrices le sex-ratio optimal devient 1/2, ce qui est le cas chez beaucoup d'animaux. Mais que devient-il pour N fondatrices ? On peut trouver une solution en appliquant à cette situation de compétition locale pour la reproduction un modèle continu de théorie des jeux, qui consiste à obtenir une équation donnant la valeur sélective d'une femelle variante en fonction de son sex-ratio X (proportion de mâles) et de celui adopté par les autres femelles X*. Dans la théorie des jeux une 'stratégie' (ici le sex-ratio) est évolutivement stable (ESS) si dans une population d'individus l'adoptant un variant ne peut pas l'envahir, c'est-à-dire avoir une valeur sélective meilleure que les autres. Pour déterminer l'ESS il suffit de trouver la valeur $X=X^*$ pour laquelle la fonction passe par un maximum. La formule ainsi obtenue est simple, $X=(N-1)/2N$, et correspond bien (statistiquement) à ce qui est observé lors des expériences de manipulations du nombre de fondatrices⁷³. En d'autres termes les pollinisateurs de figuiers ont atteint un optimum en ce qui concerne ce caractère.

Cet exemple un peu long s'inscrit dans un raisonnement qui consiste à chercher dans une situation donnée la stratégie optimale en appliquant des méthodes mathématiques d'optimisation, et de vérifier s'il a été atteint par la sélection naturelle. L'idée qu'à partir des conditions de départ le système devait nécessairement s'orienter vers cet optimum, peut être vue comme une forme de déterminisme. (Ce qui ne veut pas dire que tout dans la nature est optimal, loin s'en faut, car d'une part beaucoup de contraintes entrent en jeu, et d'autre part le processus darwinien peut s'engager vers des optima locaux).

Conclusion

Après l'échec de la théorie des variables cachées, comme le souligne I.Ekeland, "nous sommes donc acculés à l'idée que le hasard qui intervient en mécanique quantique n'est pas réductible à un déterminisme sous-jacent. Le déterminisme macroscopique, lui, celui qui règne à notre échelle est réductible au hasard quantique grâce aux lois de la statistique qui s'exercent sur des nombres immenses de particules. C'est donc le hasard qui semble être la donnée fondamentale, l'ultime message de la nature."⁷⁴

Ainsi, de manière paradoxale, le déterminisme surgit-il au niveau moléculaire là où on l'attendait le moins, c'est-à-dire du hasard, avant de se perdre dans les aléas historiques au niveau des organismes et dans la sensibilité aux conditions initiales pour les phénomènes physiques de grande échelle, et de revenir localement sous la forme d'optimisation dans le processus darwinien. Cependant chacune de ces formes de déterminisme est de nature différente et a un rapport spécifique avec le hasard : loi des grand nombre, probabilité et statistique pour l'un, et hasard moteur d'un processus ordonné pour l'autre...

Le déterminisme a donc disparue au profit de différentes formes de déterminisme, passant du statut supposé de fondement à celui de conséquences ou d'émergence à

⁷³Pour les courbes, voir E.A. Herre, 1985, *Sex-ratio adjustment in fig wasp*, Science, 228:896-900

⁷⁴Ivan Ekeland, *Au Hasard*, Ed. du Seuil, 1991, p.42

différents niveaux d'organisation. L'image qui semble donc se faire jour est celle d'un univers où ni le déterminisme ni le hasard ne règnent en maître, mais où le royaume de l'un est aussi le berceau de l'autre. Car enfin, comme nous le dit E.Morin, "un monde absolument déterminé, de même qu'un monde absolument aléatoire, sont pauvres et mutilés, le premier incapable d'évoluer, le second incapable même de naître", excluant totalement l'esprit humain, "qu'il faut bien essayer de placer quelque part."⁷⁵

⁷⁵E.Morin, op.cit., pp. 187-188

DÉTERMINISME ET APPROCHE SÉMANTIQUE DES THÉORIES PHYSIQUES

Les discussions sur le déterminisme montrent souvent beaucoup de confusions et d'obscurités. Par exemple, à la fin du recueil *Chaos et déterminisme*⁷⁶, on trouve ce "Cinquième conflit des Idées transcendantales" :

Thèse : la loi ultime du monde est le hasard et tout déterminisme partiel qu'on peut y trouver est un effet de la loi des grands nombres.

Antithèse : la loi ultime du monde est entièrement déterministe et tout phénomène aléatoire qu'on peut y observe est un effet du chaos déterministe.

L'expression "loi ultime du monde" a-t-elle vraiment un sens ? Et que signifie "déterministe" ici ? Vraisemblablement le sens de ce mot est assez proche de "causal", mais alors, pourquoi ne pas le dire ?

Face à ce constat de confusion, mon but est de présenter la théorie philosophique qui clarifie le mieux les problèmes posés par cette notion pour mieux la comprendre et pour déterminer si elle nous permet de mieux comprendre le monde, c'est-à-dire si une *thèse* déterministe à propos de certains phénomènes - l'affirmation selon laquelle ces phénomènes ont un comportement déterministe - nous donne ou non des informations intéressantes sur ces phénomènes. Le point de vue que j'adopterai est donc en large part pragmatiste.

La théorie philosophique⁷⁷ qui me semble le mieux caractériser la thèse déterministe considère celle-ci comme trouvant son expression la plus adéquate dans certains types de *formalismes* utilisés en physique (et éventuellement dans d'autres sciences de la nature) : les équations différentielles et les systèmes dynamiques. (En cela je rejoins l'affirmation de Jean Petitot selon laquelle la notion de système dynamique idéalise et exprime mathématiquement le principe physique de déterminisme. De la même façon je suis d'accord avec l'affirmation de Prigogine et Stengers⁷⁸ selon laquelle la question du déterminisme relève de l'histoire des sciences, et en particulier des modélisations mathématiques des phénomènes physiques. C'est en effet dans ce domaine que la notion de déterminisme a pris un sens scientifique. C'est là que cette signification peut être discutée, à la lumière des développements contemporains.)

Les discussions philosophiques traditionnelles sur le déterminisme sont en apparence moins restreintes que celle que je vais présenter : classiquement, quand on parle

⁷⁶ Seuil 1992

⁷⁷ C'est celle de van Fraassen, exposée dans *Lois et symétrie* et dans *Quantum Mechanics*.

⁷⁸ Mon accord avec les thèses de Prigogine et Stengers s'arrête là. En effet je ne pense pas que la réflexion physique et philosophique sur le déterminisme doive être remplacée aujourd'hui sans plus de considération par une réflexion sur le concept de stabilité, ni que l'essor des théories dites du chaos déterministe ait opéré un changement gestaltiste dans notre vision philosophique des phénomènes physiques, d'un point de vue quantitatif et déterministe à un point de vue qualitatif et prenant comme notion centrale celle de stabilité.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

de déterminisme, on parle aussi de causalité, de hasard, de contingence, de nécessité, parfois même de libre-arbitre. Cependant, ce genre de discussion est toujours très éloigné de la physique en tant que science ; pour parler de façon philosophique du déterminisme en physique, il faut regarder quelle expression cette notion d'origine scientifico-philosophique a trouvée dans la pratique scientifique contemporaine. Il se peut d'ailleurs que l'on retrouve, en étudiant cette expression formelle contemporaine du déterminisme, quelques-unes des notions qui lui sont traditionnellement rattachées.

On pourrait se demander quelle pertinence peut avoir une réflexion philosophique sur une notion dont je viens de dire qu'elle s'exprimait dans un formalisme mathématique. Outre que l'origine philosophique de la notion de déterminisme peut légitimer sans autre justification une telle réflexion philosophique, deux autres types de justification peuvent être envisagés. Une première possibilité, souvent adoptée, est de construire un discours herméneutique à propos de ce type de concept, où l'on cherche à montrer comment l'être s'y dévoile ou au contraire s'y enfouit. La deuxième possibilité, celle que je choisirai, est de faire s'exercer les techniques d'analyse propres à la philosophie pour tenter de déterminer l'emprise du concept de déterminisme, tel qu'il est formalisé aujourd'hui, sur la réalité.

Pour cela, je commencerai par une rapide présentation de l'approche des théories physiques qui me semble la plus adéquate pour élaborer une réflexion philosophique intéressante sur cette science.

Introduction : l'approche sémantique des théories physiques

Mise au point sur le concept de théorie

Une théorie peut être définie comme un objet qui ordonne la représentation d'une certaine classe de phénomènes. Elle se caractérise par l'unité du domaine de phénomènes qu'elle étudie et par l'unité de ses principes d'explication, c'est-à-dire par sa *cohérence* et par son ambition de *complétude*, qui se manifestent par une certaine structure hiérarchisée des éléments qu'elle contient (définitions, axiomes, théorèmes ; équations, modèles).

Le point important de cette caractérisation lorsque l'on réfléchit sur le déterminisme est qu'une théorie cherche à être la plus complète possible, c'est-à-dire à laisser le moins possible de caractéristiques des phénomènes de son domaine en reste. Sa première étape (priorité logique) est une description la plus complète possible de ce domaine ; les suivantes sont traditionnellement considérées comme étant consacrées à l'explication de ces phénomènes.

L'approche syntaxique des théories physiques

Pour comprendre l'origine et l'intérêt de l'approche sémantique des théories physiques, il est utile de comprendre à quelles autres approches elle s'oppose. Une de ces approches est l'approche syntaxique, élaborée par les positivistes logiques.

Pour les positivistes logiques, les théories physiques sont des ensembles de propositions hiérarchisées dont la forme canonique (normativement typique) est la forme *axiomatisée*. D'autre part, il existe une dichotomie radicale entre deux types de propositions, celles contenant des termes d'observables, qui sont censées nous fournir un contenu cognitif empiriquement adéquat sur les phénomènes, et celles contenant des termes théoriques, dont l'adéquation empirique (et donc le contenu cognitif) n'est pas directement testable. Pour faire le lien entre ces deux types de propositions, et donc pour pouvoir tester empiriquement les propositions théoriques, il faut des lois-ponts. C'est grâce à ces lois-ponts que l'on peut déterminer si une théorie est empiriquement adéquate ou non.

Il se trouve que les progrès de la philosophie ont montré qu'il était fort difficile de donner un sens précis à la distinction entre termes théoriques et termes d'observables. C'est ce qui a, entre autres, motivé la construction de nouvelles théories philosophiques sur les théories physiques. Le défi qu'elles avaient à relever était de fournir un substitut convaincant aux propositions contenant des termes d'observables, c'est-à-dire à des entités de la théorie porteuses d'un contenu cognitif directement testable.

L'esprit de l'approche sémantique des théoriques physiques

Plutôt que d'envisager les théories comme des ensembles de propositions, c'est-à-dire de privilégier leur forme logique, l'approche sémantique a pour objet principal, comme son nom l'indique, le rapport des théories à la vérité. Cette approche cherche à déterminer ce qui, dans une théorie, fait que certains de ses éléments peuvent avoir une valeur sémantique. (Cette approche considère comme indifférentes les différentes formulations possibles d'une théorie, et n'accorde que peu d'importance à leur éventuelle axiomatisation). L'objet d'étude principal de cette approche est la façon dont les scientifiques construisent des modèles de ces théories.

Qu'est-ce qu'un modèle ?

Cette notion technique provient d'une branche de la logique appelée justement "théorie des modèles", qui formalise le versant sémantique de la logique.

En logique, on étudie des *langages formels*, constitués de symboles, et les propriétés de ces langages, mais on étudie aussi l'*interprétation* de ces langages. Une interprétation d'un langage est appelée un *modèle* de ce langage.

Exemple : "l'espace à 7 points" comme modèle de la théorie géométrique définie par les axiomes suivants :

A1 - Il y a au plus un point qui est sur deux lignes en même temps.

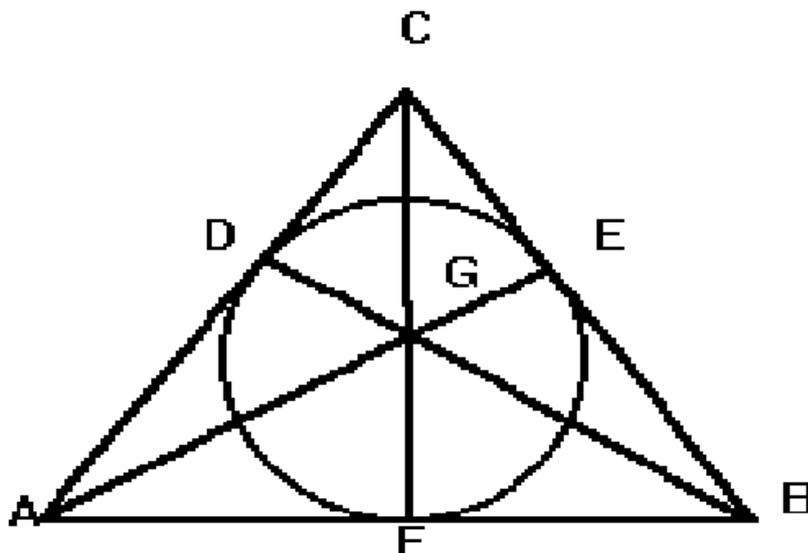
A2 - Il y a une ligne et une seule qui passe par 2 points donnés.

A3 - Sur toute ligne il y a au moins deux points.

Un modèle simple de cette théorie est constitué par une seule ligne comportant 2 points.

Un modèle un peu plus complexe est l'Espace à Sept Points :

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?



Pour satisfaire A2 il faut une ligne qui passe par D et F : le cercle.

(Les seuls points de ce modèle sont ceux indiqués par des lettres. Le reste est là seulement pour la présentation visuelle.)

Remarques : - Ce modèle est fini. On peut le dessiner.

Lorsqu'un modèle est infini (par exemple l'espace en 3 D à courbure nulle pour les axiomes d'Euclide) on peut seulement le décrire.

Un modèle est un objet abstrait ou mathématique. Il existe en tant qu'objet abstrait ou mathématique même si personne ne le construit.

Les modèles des théories physiques

L'approche sémantique des théories physiques utilise cette notion de modèle de la façon suivante : elle considère que ce qui fait la valeur d'une théorie est la façon dont elle permet de décrire une certaine classe de modèles *dont l'ensemble des phénomènes qu'elle a pour objet fait partie*. Une théorie physique parfaite (parfaitement adéquate aux phénomènes dont elle cherche à rendre compte) est une théorie dont l'un des modèles est justement l'ensemble des phénomènes en question.

Caractérisons de façon plus précise ce que sont les modèles des théories physiques.

Comment définir théoriquement un ensemble de systèmes ou de modèles ?

Comment énoncer les caractéristiques communes à ces systèmes, comment unifier une certaine classe de modèles ?

: Par un **espace d'états** qu'ils ont en commun. Tous les modèles d'une même classe peuvent être décrits par un certain nombre d'états qui appartiennent tous au même espace d'états. De plus, chaque modèle a un *domaine d'objets* propre (particules, planètes, ...) et une fonction temporelle ou *fonction d'histoire* qui attribue une histoire à chaque objet, *c'est-à-dire une trajectoire dans l'espace des états*.

Comment une théorie est-elle reliée à ses modèles ? Une théorie a plusieurs classes de modèles, chaque classe ayant son espace d'états propre. On peut, pour décrire théoriquement une théorie, définir une classe de types d'espaces d'états (on unifie un type d'espaces d'états et c'est ce qui définit une théorie).

Exemple : Comment classer les modèles de théories non relativistes ? (comment trouver des caractéristiques qui unifient une classe de modèles, qui permettent de décrire des modèles ?)

Le classement se fait selon 2 niveaux :

1. Grâce à des équations fondamentales de 2 types que l'on appelle traditionnellement "lois de coexistence" et "lois de succession".

Les lois de coexistence restreignent les *positions* possibles d'un système dans l'espace des états. cf $PV = nRT$

Les lois de succession restreignent les *trajectoires* possibles. cf $\mathbf{f} = m\mathbf{a}$, équation de Schrödinger. Il semble que ce soient précisément ces lois qui nous disent si un modèle est déterministe ou non. En fait, un critère plus général est plus intéressant.

2. Grâce aux **symétries** des modèles. Les symétries ont un pouvoir unificateur, classificateur et descriptif plus grand que les lois de coexistence et de succession car elles disent des choses sur la structure même des lois de coexistence et de succession **avant** même qu'on ait énoncé des lois particulières. Nous verrons que ce sont en fait les symétries d'un modèle qui permettent de le classer comme déterministe ou comme indéterministe.

Par exemple la relativité galiléenne implique que le vecteur accélération est invariant par changement de référentiel (galiléen) avant que l'on sache que $\mathbf{f} = m\mathbf{a}$. Plus généralement dans les théories où l'espace est homogène (relativité galiléenne et relativité restreinte), on sait que les lois du mouvement sont invariantes par translation spatiale : on peut donc déduire d'importants résultats d'après les seules symétries du modèle sans connaître le détail des lois dynamiques.

Par conséquent les lois et les symétries sont des caractéristiques des modèles grâce auxquelles on peut les décrire et les classer, c'est-à-dire grâce auxquelles on peut *définir* des théories et décrire leur structure au sein de l'approche sémantique des théories physiques.

On peut donner une caractérisation plus précise de ce qu'est un modèle d'une théorie physique⁷⁹. Ainsi la description des phénomènes observables est faite par des "modèles de données" (*data models*) ou des "modèles de surface", qui doit pouvoir être plongés dans des modèles théoriques grâce à un isomorphisme.

- Un modèle de surface contient : * deux ensembles de conditions observables, à savoir un ensemble A de choix de mesures réalisables et un ensemble B de résultats possibles

* une surface d'états P qui est une fonction réelle de A dans [0, 1] qui assigne une probabilité aux résultats (probabilité conditionnelle par rapport à la mesure). P doit pouvoir être étendue à une fonction de probabilité classique. On appelle surface de probabilité les nombres fournis par P.

- Un modèle théorique fournit : *une famille M d'observables (de grandeurs physiques), qui chacune peuvent prendre différentes valeurs

* un ensemble d'états S

⁷⁹cf *Quantum Mechanics*.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

* une fonction de réponse stochastique P_s^m pour chaque m dans M et pour chaque s dans S , qui est une mesure probabiliste sur le domaine de m .

On dit qu'un modèle théorique MT "correspond" (*fits*) à un modèle expérimental ME si MT possède un état s tel que P_s^m contient la surface d'états de M , par rapport un certain dispositif expérimental pour m .

Avec cette notion très générale de modèle théorique, tout surface d'états peut en principe être "remplie" (*filled*).

Cette caractérisation de la notion de modèle a été élaborée par van Fraassen dans le cadre d'une réflexion sur la mécanique quantique. Cependant, elle apporte un éclairage intéressant sur le problème de la modélisation déterministe, car elle nous engage à distinguer très soigneusement entre la surface d'états décrivant un phénomène "en surface" et l'ensemble d'états S du modèle théorique : ce sont en effet les états de S qui peuvent être décrits théoriquement comme se succédant de façon déterministe. Mais il est important de souligner que ce "remplissement" particulier de la surface d'états n'est pas par principe incompatible avec un autre type de remplissement, indéterministe par exemple, comme nous allons le voir.

Que signifie "proposer un modèle déterministe d'une théorie physique" ?

Le déterminisme envisagé comme un certain type de symétries dans une classe de modèles

Il est intéressant de considérer le déterminisme comme étant défini par une symétrie temporelle des trajectoires possibles du système étudié dans l'espace des phases. Examinons pour ce faire la définition du déterminisme donnée par Russell dans les années 1930 :

"un système est dit déterministe quand, étant donnés certains événements e_1, e_2, \dots, e_n aux temps t_1, t_2, \dots, t_n , qui concernent ce système, si E_t est l'état du système à un temps t , il existe une relation fonctionnelle de la forme $E_t = f(e_1, t_1, e_2, t_2, \dots, e_n, t_n)$ ".

Russell s'est rapidement rendu compte que cette définition conduisait à un truisme : en effet, dire dans ces conditions que l'univers est déterministe n'apporte aucune information. Cela revient à dire seulement que l'état total de l'univers au temps t est exprimable sous forme d'une fonction de t , ce qui n'est pas très intéressant.

A ce propos, je voudrais faire une remarque : il est très souvent arrivé que des scientifiques ou des philosophes proposent des définitions du déterminisme qui se révèlent ainsi fort peu pertinentes si on se donne la peine de les analyser soigneusement. Par exemple, la définition que donne Laplace grâce à son fameux démon est ambiguë : en effet, selon les pouvoirs que l'on accorde au démon, le mot "déterminisme" change de sens⁸⁰.

- Si on dit que le démon a les mêmes pouvoirs qu'une machine de Turing universelle, le mot "déterminisme" acquiert un sens intéressant, mais alors on peut affirmer avec certitude

⁸⁰ Ces remarques se trouvent dans Earman, *A Primer on Determinism*.

que ni l'univers, ni même la plupart des systèmes étudiés en physique, ne sont déterministes : les états futurs ne sont pas calculables à partir des états présents.

- Si on lui accorde des pouvoirs divins, alors on peut dire que les capacités de prévision du démon sont le reflet des ses capacités précognitives plutôt que de l'être déterministe du monde.

Voilà de bonnes raisons de chercher à donner un sens plus rigoureux à la notion de déterminisme, et c'est ce qu'a fait Russell quelques années plus tard.

* En 1953 Russell propose une nouvelle définition. Il suggère que le véritable concept de déterminisme exige que le temps lui-même n'apparaisse pas comme facteur dans l'évolution du système en question : pour qu'un système soit déterministe, il doit exister une fonction f telle que

$\forall t, \forall b > 0, s(t+b) = f(s(t), b)$, s étant la trajectoire du système dans l'espace des phases.

Notons que f décrit une symétrie temporelle : l'*invariance par translation temporelle* ou *périodicité* :

$$\forall t \text{ et } \forall t', \text{ si } s(t) = s(t') \text{ alors } s(t+b) = s(t'+b),$$

* Cependant cette première symétrie n'est pas suffisante pour caractériser le déterminisme. En effet elle n'élimine pas la possibilité d'autres trajectoires de l'espace des phases que le système n'a pas suivies, alors que l'idée de déterminisme suppose l'élimination de ces possibles jamais réalisés : cela signifie que l'évolution du système, le fait qu'il suive telle ou telle trajectoire, ne doit pas dépendre de sa place dans le déroulement du temps absolu.

La fonction f doit donc être telle que :

$\forall t, \forall b > 0, \forall s'$ (quelle que soit la trajectoire (possible) du système dans l'espace des phases), $s'(t+b) = f(s'(t), b)$

On a ici une symétrie qui rend périodique **chaque** trajectoire possible dans l'espace des phases, et qui relie également les trajectoires entre elles.

* On peut maintenant condenser toutes ces symétries dans un groupe défini par l'opérateur d'évolution U_b tel que :

$$U_b v(t) = v(t+b)$$

$\{U_b : b \in \mathfrak{R}\}$ est le groupe dynamique du système.

On a les propriétés suivantes :

$$U_0 = \text{Id}$$

$$U_b U_c = U_{b+c}$$

$$\forall b \in \mathfrak{R}, \forall t, \forall t', \forall u, \forall v, \text{ si } u(t) = v(t'), \text{ alors } u(t+b) = v(t'+b)$$

$$U_{b^{-1}} = U_{-b}$$

Dans ces conditions, un système sera dit déterministe s'il possède un groupe dynamique sur l'ensemble de ses trajectoires possibles.

Que peut-on dire face à un modèle (ou à une classe de modèles) déterministe(s) ?

* Première possibilité : ce modèle est sinon le bon, du moins le meilleur possible. C'est le point de vue des néo-kantiens et de R. Thom. Cette affirmation se fonde sur la certitude selon laquelle tout phénomène, quel qu'il soit, peut en principe être analysé comme un phénomène déterministe. Ainsi les néo-kantiens pensaient-ils que la

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

construction d'une théorie physique ne pouvait pas être considérée comme achevée si elle ne rendait pas compte des phénomènes de son domaine de façon déterministe. De la même façon, R. Thom pense que "le déterminisme n'est pas une donnée, mais une conquête". Lorsqu'un phénomène nous apparaît comme indéterminé, nous pouvons toujours restaurer le déterminisme qui seul l'explique en multipliant l'espace de phase de la première description (U) par un espace de variables cachées S. Le phénomène est alors à envisager comme étant la projection d'un système déterministe dans U S. Le problème des physiciens est selon R. Thom de trouver le modèle minimal restaurant le déterminisme.

Critique : L'argumentation de R. Thom à partir des espaces d'états, qui selon lui conforte la thèse du déterminisme ontologique, en est en fait complètement indépendante ; elle pourrait même servir à étayer la thèse opposée (certes de façon aussi peu convaincante). En effet, on pourrait dire que tout phénomène qui apparaît comme déterministe n'apparaît tel que parce que le modèle qui le décrit possède trop de variables. Avec un modèle plus économique et donc plus approprié on arriverait à en rendre compte en terme de probabilités objectives.

* Deuxième possibilité : il faut prendre quelques précautions :

. Tout d'abord, lorsque nous sélectionnons les caractéristiques du système avec lesquelles nous construisons l'espace des phases (par exemple la vitesse et la position de ses éléments), nous n'avons aucune garantie que ces caractéristiques choisies par nous décrivent de façon pertinente le système considéré, même si elles sont soumises à certaines conditions : il peut arriver que les trajectoires possibles de l'espace des phases constituent un ensemble trop symétrique par rapport aux véritables symétries physiques du problème. C'est peut-être ce qui arrive lorsqu'on postule qu'un système est ergodique, et que l'on fait des calculs à partir de ce postulat, alors qu'on ne peut prouver cette propriété pour le système en question.

. D'autre part il ne faut pas oublier que la définition du déterminisme en terme de groupe dynamique concerne les états et trajectoires *possibles* du systèmes : cela signifie que cette définition s'applique à des *types* de systèmes (par opposition à des systèmes individuels). Ainsi, pour caractériser un système, on peut dire, une fois la modélisation mathématique effectuée, qu'il appartient à un type déterministe, mais cela ne préjuge en rien de son "essence" déterministe ou non, puisqu'au sein d'un type déterministe, il peut exister des sous-types indéterministes, qu'on ne peut distinguer formellement du type principal. La maxime est ici :

"Too keen an eye for pattern will find it everywhere."

T.L. Fine, *Theories of Probability*

Reichenbach a été l'un des premiers à mettre en évidence cette possibilité. Voici son argument :

Soit une théorie T. Les modèles M de T ne sont pas de type déterministe, mais ils se divisent en deux sous-types A et B qui sont déterministes. Le fait que M ne soit pas caractérisé quant au déterminisme introduit un élément d'*incomplétude* dans l'ensemble descriptif-explicatif théorie + modèles. Ainsi différentes possibilités d'interprétation existent :

Option 1 : poser comme hypothèse théorique que 2 systèmes réels, quels qu'ils soient, sont toujours bien décrits par le même sous-type de modèles s'ils sont bien décrits par l'un de ces sous-types, mais nous ne savons pas par lequel (cela correspond à une conception classique de l'incomplétude des théories).

Option 2 : poser comme hypothèse qu'il existe des systèmes réels qui se laissent décrire par chacun des 2 sous-types. La question qui se pose alors est : certaines grandeurs physiques (non traitées par la théorie) permettent-elles de les distinguer ?

option 2 a : oui - conception classique de l'incomplétude

option 2 b : non - affirmation non équivoque d'un indéterminisme réel.

Reichenbach souligne la possibilité de choisir l'option 2 b, que l'on n'avait presque jamais envisagée avant lui. Cela revient à dire qu'il est purement contingent que les grandeurs physiques discriminantes de l'option 2 a existent ou non. Il suggère également qu'il est parfois raisonnable de postuler que de telles grandeurs n'existent pas dans la réalité.

Cette forme d'indéterminisme dont la possibilité a été mise au jour par Reichenbach est *classique* : adhérer à ce type d'indéterminisme revient à souligner qu'il est au moins possible de concevoir le phénomène en question comme ne pouvant être décrit que de façon incomplète par un modèle déterministe. Je ferai remarquer qu'on peut également envisager un type d'indéterminisme non classique, tel qu'on ne peut même pas concevoir que le modèle du système étudié puisse être compatible avec un déterminisme sous-jacent.

* Troisième possibilité (compatible avec la précédente, mais différente d'elle) : d'un point de vue empiriste, le plus que l'on puisse dire à propos d'un système réel est : le type de modèle qui décrit ce système réel est (ou n'est pas) déterministe, et est tel qu'un modèle de ce type a une histoire (une trajectoire dans son espace des phases) qui coïncide avec l'histoire du système réel durant tel intervalle de temps relativement aux valeurs des grandeurs physiques pertinentes. Par conséquent, ce qui a un sens, ce n'est pas de dire d'un système réel qu'il est déterministe (ou indéterministe), mais seulement qu'il peut être *conçu* comme étant déterministe (ou indéterministe), parce qu'un même système peut être conçu comme étant décrit par des modèles appartenant (simultanément ou non) à des types différents.

Cette prudence langagière permet de couper court à ce qu'on pourrait appeler le "dilemme de Poincaré". Ses réflexions sur le sujet l'ont conduit à caractériser l'état de la modélisation différentielle son époque, qu'il avait lui-même contribué à développer et à améliorer, de façon presque désespérée : en effet il en est venu à considérer que cette façon de faire de la physique conduisait à deux catégories de modèles tout aussi inquiétante l'une que l'autre :

- des modèles exacts mais incapables de prédire, puisqu'il est impossible, comme il le démontre, d'intégrer certains systèmes d'équations (cf le problème à 3 corps)
- des modèles qui prédisent l'impossible avec certitude : c'est par exemple le cas des modèles auxquels s'applique le *théorème de récurrence* de Poincaré.

Pour conclure sur ce point, je voudrais signaler qu'en cherchant à savoir si un système est déterministe ou non, nous appliquons la stratégie de Curie : ce que l'on appelle le principe de Curie s'énonce de la façon suivante "quand certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits" - ou encore "une asymétrie ne peut venir que d'une asymétrie". La recherche de modèles déterministes correspond donc à une stratégie tout à fait courante de la modélisation mathématique des phénomènes physiques ; reste à l'analyser pour déterminer le statut de cette stratégie quant au savoir que son application peut nous aider à gagner.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

Quelle est la signification du principe de Curie ?

Il faut d'abord remarquer que les raisonnements qui s'appuient sur des considérations de symétries reposent presque toujours sur une *hypothèse* selon laquelle des symétries réelles existent dans la nature. En effet il est presque toujours impossible de fournir une démonstration *a priori* de l'existence de telles symétries. Dire qu'une symétrie a été brisée, c'est tout simplement dire que finalement le monde ne se comporte pas selon cette hypothèse.

Cependant, même si aucune symétrie du monde ne peut être décrite par une vérité *a priori*, le principe de Curie, et donc le recours à une modélisation déterministe ont un sens : ils codifient une tactique méthodologique, qui consiste à toujours chercher des solutions qui n'introduisent aucune asymétrie nouvelle par rapport à l'exposé du problème. Il faut donc choisir des modèles qui comportent le plus de symétries internes possible. Qu'y gagnons-nous ?

Pour répondre à cette question, il faut analyser plus avant ce que c'est que fonder un raisonnement ou une résolution de problème sur des considérations de symétries.

Ici on appellera modèle du problème rencontré un ensemble M de variables dont on peut donner les valeurs. Résoudre un problème, c'est répondre à la question suivante : pour chaque variable m de M , lui associer une valeur unique. La solution du problème se présentera sous la forme d'une règle ou d'une fonction qui fournira cette association unique d'une valeur à chaque variable de M . Dire que le modèle a des symétries, c'est dire que la situation présente des aspects pertinents pour le problème, et d'autres qui ne le sont pas, et que certaines transformations peuvent affecter les valeurs des variables en conservant "l'essence" ou "ce qui est pertinent" dans problème. Le principe de Curie impose que la règle ou la fonction proposée comme solution doive respecter ces symétries.

Utiliser cette tactique de transformation rend le problème *plus facile à résoudre*. C'est là un de ses principaux intérêts. C'est ainsi que cette tactique est un des instruments les plus puissants mis à disposition de notre *compréhension* des phénomènes.

Ce détour par le principe de Curie nous fait mieux comprendre la nature du déterminisme méthodologique comme maxime du comportement cognitif : "cherche à formaliser tout processus en termes de systèmes dynamiques". A présent il faut soigneusement distinguer entre deux attitudes possibles vis à vis du déterminisme méthodologique :

- la croissance que le déterminisme méthodologique nous fournit un moyen d'aller plus loin qu'une simple modélisation des phénomènes étudiés, c'est-à-dire nous fournit un reflet fidèle des processus "réels sous-jacents". Cette attitude de croyance ignore que la démarche de formalisation d'un phénomène passe par tant d'étapes intermédiaires qu'elle ne saurait, sauf au prix de graves imprécisions conceptuelles, être tenue pour un reflet même flou des processus à l'oeuvre dans ce phénomène. Les modélisations des phénomènes dits chaotiques rendent ce point manifeste (cf III).

- l'acceptation du déterminisme méthodologique peut être motivée par des considérations pratiques : en effet les formalisations non dynamiques ont une apparence d'incomplétude qui fait qu'on a parfois du mal à s'en satisfaire, surtout dans des théories encore peu sophistiquées. On peut expliciter cette idée de la façon suivante : si l'on accepte la thèse dite de "Mill-Ramsey-Lewis" selon laquelle "les lois de la nature sont, parmi les phrases qui décrivent les régularités communes à toutes les théories vraies d'où l'on peut inférer déductivement les lois de la nature, celles qui réalisent un équilibre optimal de simplicité et de force", alors on a tendance à penser que les vraies lois de la nature sont plutôt déterministes que probabilistes. En effet, une loi déterministe semble nous donner, en une

seule équation, tous les renseignements que nous pourrions souhaiter posséder sur le processus physique qui nous intéresse, car elle le décrit en *chaque* instant. Une loi probabiliste semble avoir en ce sens moins de "force" ou de contenu informationnel ; elle semble laisser des trous dans la caractérisation qu'elle offre du phénomène en question. Voilà pourquoi ce type de loi peut paraître moins satisfaisant que des lois déterministes. Cependant, encore une fois, les développements contemporains des formalisations dynamiques nous invitent à avoir un regard nouveau sur ce genre d'idées.

Conclusion : les leçons philosophiques du chaos déterministe

Le problème de l'interprétation des variables dans les modélisations chaotiques : le théorème de Ruelle-Takens

Décrivons sommairement la situation expérimentale qui a conduit Ruelle et Takens à ce résultat.

- Dans un processus chaotique, on mesure à intervalles réguliers un certain phénomène, dont il est possible qu'on ne sache pas du tout à quelle variable des modèles courants du processus en question il correspond. Cela peut être un débit, ...
- De cette série de mesures on tire deux autres séries grâce à un décalage :
 - si la première série est 2 5 1 7 8 ...
 - la deuxième est 5 1 7 8 ...
 - et la troisième 1 7 8 ...
- Ces trois séries de valeurs traitées par ordinateur déterminent un attracteur, témoin d'une stabilité cachée sous l'apparence chaotique du processus. (Trois séries sont nécessaires pour construire un attracteur intéressant, parce qu'on ne peut avoir d'attracteur étrange que dans une dimension au moins égale à 3).
- Le théorème énonce que *quel que soit le phénomène mesuré*, une fois les trois séries numériques traitées par l'ordinateur, on obtient toujours le même attracteur.

Cette indifférence du type de stabilité révélée vis-à-vis des mesures faites bouleverse la question traditionnelle de l'interprétation des variables mathématiques en physique. Généralement, on construit un modèle mathématique à partir de mesures, et une variable mathématique représente une caractéristique particulière, idéalisée mais parfaitement déterminée et individualisée du phénomène physique. Avec ces différentes variables on construit des équations pour décrire l'évolution du système et on vérifie si les conséquences mathématiques de ces équations sont compatibles avec la signification physique des variables ; on vérifie si aucune loi physique connue n'est violée par les conséquences mathématiques du modèle construit.

Dans le cas des expérimentations de Ruelle, rien de tel : une seule série de mesures *non interprétées*, et même *indépendantes de toute interprétation*, conduit au dessin sur l'écran de l'ordinateur d'un attracteur unique pour le processus physique étudié, que l'on

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

peut également dessiner à partir d'un système d'équations. Le point étonnant est que les variables de ces équations n'ont à première vue aucune signification physique "traditionnelle".

Moralité philosophique

"It is certainly somewhat Pickwickian to base determinism solely on the mathematical structure that a theory assigns to its objects, if that structure does not enable us to determine the observable properties of these objects in any conceivable application." (*The Empire of Chance*)

La question qui se pose est : quelle est la légitimité de l'appellation "déterministe" pour les modélisations des phénomènes chaotiques telles que celles auxquelles s'applique le théorème de Ruelle-Takens ? Si cette légitimité est fournie par la nature du formalisme et par elle seule, il est clair que l'on perd tout contact avec les sens philosophiques traditionnels du concept de déterminisme, mais que peut-on dire alors de l'approche du déterminisme présentée ici ? Nous avons vu que la construction de modèles déterministes (c'est-à-dire opérant avec un formalisme dynamique) pouvait être envisagée comme étant la mise en oeuvre d'une tactique méthodologique permettant de *simplifier* notre façon d'aborder tel phénomène. En allant plus loin on pourrait dire que la construction de modèles déterministes est parfois (ou plutôt a été) notre *seule* façon de pouvoir traiter d'un phénomène de façon scientifique, notre seul moyen d'esquisser une voie vers sa compréhension.

Les phénomènes chaotiques sont typiquement les phénomènes qui aujourd'hui nous laissent perplexes et devant lesquels nous distinguons mal une telle voie nous menant à une compréhension même partielle, à une façon de les appréhender qui ne soit pas purement "de surface". Devant les phénomènes chaotiques, nous sommes en général bien en peine de construire un modèle théorique. La découverte d'attracteurs avant toute forme de modélisation (l'attracteur est dans ce cas typiquement une description "de surface") et surtout le fait de savoir que ces attracteurs peuvent être par principe modélisés par des systèmes dynamiques, qui a motivé l'appellation de "déterministe" pour ce type de modélisation, ne nous donnent-ils pas justement une première voie vers une compréhension de ces phénomènes ? N'instancient-ils pas une nouvelle fois la fécondité de cette tactique méthodologique qu'a été est qu'est encore la modélisation dite déterministe ? Dans le cas des systèmes chaotiques, cette forme de modélisation est souvent la seule praticable.⁸¹

Cependant, cette instanciation nouvelle d'une tactique séculaire ne laisse pas de soulever un certain nombre de problèmes qui lui sont propres. Dans les formalisations dynamiques récentes, le problème de la *complétude* de la théorie se pose ainsi de façon aiguë : en effet comment savoir si les modèles construits sont empiriquement adéquats à *l'ensemble* des caractères pertinents du phénomène étudié si on ne sait comment interpréter les éléments (les variables) qui les constituent ? D'un autre côté, il est nécessaire de remarquer qu'un modèle d'une théorie *complète* n'est pas nécessairement déterministe si une description exhaustive des facteurs réels ne fournit pas les moyens d'un tel formalisme déterministe. Il se pourrait ainsi que le fait que nous puissions actuellement construire que des modèles "déterministes" (en tout cas dynamiques) des

⁸¹ Cependant certains résultats de la théorie mathématique des systèmes dynamiques comme le "lemme de poursuite" doivent peut-être nous inciter à nuancer ce point de vue.

phénomènes chaotiques vient de ce que nous utilisons trop de variables - mais comment le vérifier si nous ne savons pas du tout à quoi elles peuvent correspondre -, alors qu'en fait les traits pertinents des phénomènes en question sont en nombre trop limité pour pouvoir être modélisé sous forme de systèmes dynamiques.

La leçon de tout cela est qu'il est urgent de réviser notre conception de la modélisation en physique, en insistant davantage que par le passé sur les aspects pragmatiques de cette activité plutôt que sur une hypothétique "métaphysique de la modélisation" dont les fondements sont pour le moins ébranlés par les modélisations dynamiques nouvelles. Le rapport entre modélisation et "réalité" est loin d'être immédiat ; la tâche du philosophe est d'analyser les diverses médiations qui le constituent, et celle du physicien est d'en prendre conscience. On ne peut saisir la nature de ces médiations qu'en étudiant enfin sérieusement les différentes tactiques méthodologiques que peuvent employer les scientifiques, les façons dont ils peuvent appréhender, décrire et reconstruire avec des matériaux mathématiques les phénomènes qui les intéressent. Dans cette étude, il ne faut pas oublier que ces tactiques sont en partie historiquement déterminées par "l'état de la science à un moment donné", qui comprend entre autres les pratiques en cours, les connaissances disponibles, les moyens de transmettre l'information scientifique *et* les techniques de confrontation avec "le réel".

La question du déterminisme doit être considérée dans ce cadre ; en certain recul historique permet peut-être de dire que la question pertinente est aujourd'hui celle des formes possibles de *l'indéterminisme* plutôt que celle du sens du déterminisme. Aborder le déterminisme avant tout comme un certain type de modélisation ou de formalisation, c'est tirer un trait sur une foule de questions oiseuses, et c'est aussi le faire passer d'une problématique traditionnellement ontologico-épistémologique à une problématique de philosophie de la physique comme étude de la façon dont les physiciens résolvent les problèmes qui sont jugés pertinents à une époque donnée. La force et la persistance du déterminisme sous ses formes ontologiques et épistémologiques s'explique par la conception traditionnelle de la connaissance que l'on peut faire remonter à Aristote : on ne peut dire que quelqu'un possède un savoir que s'il est établi qu'il était impossible que la chose connue fût autrement. Cette conception a été magnifiée par Kant, qui a également été le grand philosophe du déterminisme. Aujourd'hui la voie la plus prometteuse en philosophie des sciences est une collaboration avec une philosophie de la connaissance qui prend acte des résultats des sciences cognitives et en particulier des travaux sur la transmission des connaissances scientifiques.

Dans cette perspective la question du déterminisme est moins dramatique qu'il y a quelques décennies, et cela est dû en large part aux facettes multiples qu'elle a acquises depuis l'essor des modélisations dynamiques.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

Bibliographie

- Bas van Fraassen *The Scientific Image*, Oxford U. P. 1980
Laws and Symmetries, Oxford U. P. 1985
Quantum Mechanics, Oxford U. P. 1991
- John Earman *A Primer on Determinism*, Reidel 1986
- *La Querelle du déterminisme*, **Le Débat**, Gallimard 1990
- *Chaos et déterminisme*, Seuil 1992

L'APPEL DE LA FORÊT

A propos du déterminisme et de la sociologie des sciences

Je tiens avant toute chose à m'excuser auprès du lecteur de la minceur et des imperfections de cette contribution, pour laquelle je n'ai pas pu mobiliser toutes les ressources nécessaires (en particulier en temps). Je tiens aussi à dire que la richesse des diverses contributions au séminaire, en me permettant de poursuivre ma réflexion, a eu un effet pervers sur la difficulté de rédaction de ce texte. Je m'en console en me fixant pour objectif de débroussailler le terrain pour ceux qui ne s'y étaient pas encore aventuré, quitte à renvoyer, pour tout approfondissement, à un certain nombre de "classiques" du domaine, dont je donne une liste succincte plus bas.

Comme Bertrand Monthubert le soulignait en introduction du séminaire, on peut distinguer deux problèmes distincts dans la question du déterminisme. Le premier, c'est celui de la causalité des choses en soi, dans leur réalité intime. Les pistes pour y répondre sont issues généralement de la mécanique quantique (ainsi que des théories des systèmes dynamiques et du chaos déterministe). Mais c'est essentiellement une question métaphysique, fort peu opérationnelle, sur laquelle je ne reviendrai guère pour ma part.

Dans sa seconde acception, le déterminisme peut être considéré comme un pari fondateur de la démarche scientifique. En effet, pour qu'un phénomène (car nous nous plaçons ici au niveau des apparences) soit susceptible d'un traitement scientifique, il faut qu'il recèle une causalité minimale, et qu'un traitement de type logico-mathématique lui soit applicable - ce qui est une définition simple du déterminisme, laquelle conviendra probablement pas à tous les philosophes, mais satisfait généralement les scientifiques eux-mêmes, et les légitime dans leurs investigations.

C'est de ce déterminisme "stratégique" pour les scientifiques que je veux parler. Pour ce faire, je décrirai d'abord, à travers les théories actuelles de la *sociologie des sciences*, comment on peut faire une place à des éléments stratégiques, psychologiques, sociologiques, dans la description du progrès scientifique, dont je donnerai deux dynamiques possibles. A travers les relations entre ces deux modèles, nous pourrons alors trouver une place pour les objets comme le déterminisme, et en tirer des conclusions sur le rôle de la philosophie des sciences, et sur la nature de la connaissance scientifique.

Les réseaux de la pratique scientifique et leur fonctionnement

L'opinion dominante en matière de dynamique des sciences a longtemps été que les sciences se développaient dans un espace "à elles", un "monde des idées" dans lequel les hommes, chercheurs et découvreurs, n'avaient de place que pour découvrir un nouveau résultat, un nouveau maillon. De là la distinction établie entre théorie et expérimentation; de là aussi la mise en valeur d'un petit nombre de faits et de "génies" extraits de l'ensemble des scientifiques de l'époque (quelle qu'elle soit).

Il est aujourd'hui largement reconnu que des éléments extérieurs au champ scientifique se retrouvent au coeur de la démarche scientifique, de la dynamique de progression des connaissances. C'est Thomas Kuhn qui a formulé le premier une théorie "révolutionnaire" de la dynamique des sciences, axée principalement sur les *révolutions scientifiques*, instants particuliers où, plusieurs théories absolument incomparables s'opposant, le choix de l'une ou de l'autre s'établit selon des critères extra-scientifiques, et principalement psychologiques et sociologiques.

Cependant, la théorie kuhnienne est moins une réinsertion de l'activité scientifique dans le cadre global de l'activité humaine, que la reconnaissance tardive d'un nombre limité de cas où des externalités peuvent influencer le cours de la recherche. En un sens, Kuhn, au prix de ces parenthèses peu nombreuses, courtes, dont il est difficile d'établir clairement les limites sur des cas réels et qui n'apparaissent jamais qu'*a posteriori*, refonde l'autonomie de la pratique scientifique, qui ne se soumet à l'analyse sociale que ponctuellement.

Le problème a depuis été renversé par les "sociologues des sciences" (dont les chefs de file sont alphabétiquement David Bloor, Michel Callon, Harry Collins, Bruno Latour, Andy Pickering, Trevor Pinch, Simon Schaffer, Steve Shapin, Steve Woolgar, etc.). Ces derniers, en étudiant des cas (des terrains), en allant dans les laboratoires ou en reprenant l'histoire des controverses scientifiques, ont voulu mettre l'accent sur les pratiques des scientifiques, pour expliquer la production de résultats.

Cette volonté est confortée par l'organisation actuelle de la recherche, qui fait intervenir un grand nombre d'acteurs divers, reliés par des interactions variées. Les scientifiques eux-mêmes, au premier chef, peuvent appartenir à des structures différentes, avec tout ce que cela comporte de différences en origines, en capacité de financement, en répartition des responsabilités (l'influence des tâches administratives et d'enseignement, "extra-scientifiques" selon la description classique, est énorme : une Chef de Laboratoire universitaire américaine me déclarait y consacrer près de 80% de son temps). Et il faut aussi tenir compte de leurs interlocuteurs, gouvernements, entreprises, financiers, journalistes, groupes de pression, grand public, etc.

De même, la manière dont les résultats sont communiqués, la diffusion des nouveautés, sont des paramètres qui, selon les sociologues des sciences, influent sur l'intérieur des théories, sur les découvertes qui sont faites. Ainsi

l'émiettement de la recherche, sa mondialisation, mais aussi le coût croissant des appareillages et l'extension permanente du corpus ont fait que le *médium* privilégié de la communauté scientifique est l'article (maintenant précédé de sa *preview* sur *internet*), dont les règles d'écriture sont fixées par consensus (et sous la pression des *boards* des grands magazines internationaux). Cela privilégie en retour la présentation parcellaire des théories, et leur propagation sous forme de modèles clos.

Il faut enfin souligner la diversité des buts poursuivis par les scientifiques et par leurs partenaires. Un exemple évident peut en être la recherche nucléaire dans les années 40 et 50, dont le moins qu'on puisse dire est qu'y cohabitaient des projets très divers, des plus fondamentaux aux plus appliqués, le tout mâtiné de bien des arrière-pensées politiques.

La rupture introduite par la sociologie des sciences, c'est d'affirmer que toutes ces tâches annexes, toutes ces différences délaissées par l'analyse philosophique traditionnelle, constituent *in fine* la réalité de l'activité scientifique, et doivent donc être prises en compte comme fondement des descriptions des sciences.

Le premier mécanisme mis en avant dans cette description de l'activité scientifique est la *mobilisation*, ou la capacité à intéresser à un résultat ou à un potentiel scientifique ou technique un nombre suffisant d'acteurs pour le faire exister (sous la forme d'un objet technique, d'une publication, d'une participation financière, etc.). Le corollaire immédiat de cette description, est qu'il faut étudier les stratégies et les instruments des acteurs pour mobiliser le plus largement autour de leurs recherches.

On peut donc dire que les communautés scientifiques et leurs partenaires (volontaires ou non) sont organisés sous forme d'un *réseau*. Ce concept a été beaucoup travaillé par les "sociologues des sciences", qui le reprennent de la pratique sociologique en l'approfondissant à partir du *rhizome* de Deleuze et Guattari. Le réseau est un ensemble d'acteurs hétérogènes (humains et non-humains), qui interagissent de manière locale. Les limites du réseau sont les limites des interactions significatives, ce qui revient à dire que tout réseau est *a priori* extensible à l'infini, à charge pour l'observateur de s'arrêter aux seuls événements significatifs par rapport à ses questions, après analyse. On a ainsi un réseau de la K-théorie, un réseau du nucléaire en France, un réseau de la biologie pastorienne à la fin du XIX^{ème} siècle, etc.

La force de ce concept est de faire une place à à peu près tous les acteurs d'un événement scientifique, voire plus largement à tout acteur social. Sa faiblesse tient dans son extensibilité : *a priori* non structuré, le réseau acquiert une cohérence en fonction des interactions de ses membres. Ce sont donc elles qu'on devra étudier, en gardant à l'esprit deux lois de comportement d'un réseau : il tend à la fois à *s'élargir*, à se développer, à intégrer de plus en plus d'acteurs de plus en plus éloignés, et d'autre part à *se renforcer*, à s'approfondir, à établir des liens de plus en plus forts et rigides entre ses membres (on peut parler ici d'invariance d'échelle); ces deux règles antagonistes fondent la dynamique globale d'un réseau, et s'enracinent dans les interactions locales.

Ces interactions sont principalement les divers usages (au sens le plus large du terme) qui peuvent être fait du résultat, de la théorie ou de l'objet scientifique qu'on étudie. Ces usages vont associer les acteurs entre eux, les

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

pousser à faire exister l'objet. Le point important ici, est que le gage de réussite n'est pas d'amener tous les acteurs à une même appréhension de l'objet en question, mais bien de le faire exister d'une manière différente pour tous - d'y intégrer suffisamment de points importants pour les divers interlocuteurs pour qu'ils le soutiennent tous pour des raisons différentes. On ne mobilisera pas de la même manière un confrère chercheur et un partenaire industriel; et c'est en réalisant la mobilisation de tous que l'objet acquerra sa réalité.

Ces idées sont illustrées par exemple par l'enquête de Bruno Latour sur le projet de métro automatique "Aramis". Il s'agissait d'un projet de petit métro dont les voitures amèneraient les voyageurs à leur destination sans rupture de charge, grâce à un système d'aiguillage automatique, et dans un temps bref, grâce à la constitution de rames virtuelles (dont les wagons ne se touchent pas physiquement). Ce fut un échec. Latour montre qu'*Aramis* était techniquement aussi faisable que bien d'autres projets, et que personne n'a sciemment décidé de le couler. Mais personne non plus ne l'aimait assez pour pousser à sa réalisation, aucune dynamique assez forte pour faire converger les divers images que des acteurs nombreux (Etat, collectivités locales, RATP, industriels, etc) aux buts divergents avaient d'*Aramis* n'a eu lieu. *Aramis*, conclut Latour, est mort de n'avoir pas été assez aimé.

Les analyses des sociologues des sciences tournent autour de ce qu'ils appellent des *hybrides*, c'est-à-dire des objets qui sont à la fois des objets techniques et des objets sociaux. *Aramis* en est un. D'autres exemples évident en sont le SIDA (à la fois virus étudié par les biochimistes, maladie objet de recherches épidémiologiques, phénomène de société susceptible d'un traitement politique et social, nouveau marché pour les firmes pharmaceutiques, etc.), l'effet de serre ou les satellites (à propos desquels Michel Serres utilise le beau terme d'*objets-monde* pour signifier qu'ils atteignent par une de leurs dimension à un effet global sur notre planète).

L'étude de ces hybrides demande qu'on mette en relation toutes les facettes qui les constituent, qu'on ne respecte pas les catégories *a priori* des disciplines (philosophie, histoire, sciences, etc.).

Pour en revenir plus directement à notre sujet, on peut dire que le déterminisme est un tel hybride. C'est à la fois une propriété de certaines théories (selon la définition mathématisée qu'en a donné Anouk Barberousse, par exemple), un pari à la base de la démarche scientifique, et l'auxiliaire des scientifiques quand ils veulent approcher un sujet quelconque.

Le travail sur les hybrides est antinomique avec la pratique classique de la philosophie des sciences. Mais il rompt plus profondément avec la pratique dite "moderne". Selon Bruno Latour, la modernité se définit comme la croyance en un découpage de la réalité entre éléments scientifiques et éléments extra-scientifiques, opposition déclinée de l'opposition fondatrice nature / culture. La nature est le domaine des sciences, la culture celui de la politique et de la philosophie. Les hybrides appartiennent à la fois à la nature et à la culture, de même que la pratique scientifique est à la fois du domaine naturel (recherche des lois naturelles) et culturel (pratique sociale).

Cette approche conduit donc à récuser l'illusion moderne, et à dire que "*nous n'avons jamais été modernes*" (Latour).

Deux dynamiques concurrentes pour expliquer les progrès scientifiques

Nous nous trouvons donc en présence de deux modèles (ou macromodèles, qui acceptent nombre de variantes) pour décrire la dynamique des sciences : le modèle philosophique classique, et le modèle sociologique.

Les moteurs du premier ont pour nom : vérité, cohérence, complétude, dialectique théorie / expérience, etc. Les hommes, on l'a dit, n'y sont pas très présents (ils découvrent ce qui existe déjà). Cette description n'est pas un bon cadre pour travailler sur le déterminisme, parce qu'il est supposé dans ses principes. En effet, on ne cherche pas ici à comprendre pourquoi un champ devient scientifique (pourquoi l'alchimie devient la chimie, l'astrologie l'astronomie, etc.); on explique comment, après une maturation nécessaire, la science y devient apparente aux hommes.

A l'inverse, le modèle sociologique ne réduit pas l'activité scientifique à ses résultats. Elle cherche à mettre en rapport les descriptions scientifiques du monde avec les autres (philosophiques, religieuses, artistiques, sociales, etc.). Le déterminisme, ici, est la manifestation d'une approche scientifique au travail. Si elle est puissante, déjà travaillée et grosse de résultats, elle sera "logicisée", mathématisée. Si elle est embryonnaire, l'affirmation de la présence d'un déterminisme servira à la fois de principe de recherche et d'arme pour convaincre de son bien-fondé.

Dans l'étude de controverses scientifiques, la sociologie des sciences pose en principe la symétrie de traitement pour les diverses théories en présence. En effet, comme Kuhn aussi l'a montré, on ne peut se servir de la "vérité" d'une théorie pour expliquer sa victoire, quand c'est justement cette "vérité" qui est l'enjeu de la controverse.

La description sociologique fait, nécessairement, la part belle aux hommes. Cependant, il ne s'agit plus de quelques génies incarnant une révolution intellectuelle, mais bien de tous les scientifiques, de tous les chercheurs qui, par leur travail, développent et approfondissent le réseau. Bruno Latour les appelle *médiateurs*. Ils relient les autres acteurs du réseau, en renforcent ou en diminuent les interactions, les font se connaître, s'aimer ou se haïr. Le travail des scientifiques est plus souvent une médiation (apprentissage, enseignement, écriture, vérification, confrontation de résultats, mais aussi conférences, *interviews*, stages, courrier, etc.) qu'une découverte.

Dans le cadre de cette médiation, les scientifiques utilisent un outil principal, dont Anouk a déjà parlé : les *modèles*. L'intérêt des modèles est de pouvoir appartenir à diverses catégories, sans qu'il y ait de frontières tranchées entre celles-ci. On peut distinguer les modèles selon leur *computabilité* (du programme au schéma de principe), leur *taille* (des "petits modèles" physiques ou économiques au "modèle standard" cosmologique,

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

par exemple) et leur *réalité* (des modèles qui prétendent décrire la réalité des mécanismes aux "boîtes noires" qui simulent le réel). Au cours de leur vie, les modèles se déplacent successivement sur ces trois axes; cela permet au chercheur de communiquer "au bon niveau" suivant l'interlocuteur, de se replier en cas de problèmes, et d'avancer très vite s'il est écouté, vers des "résultats applicables" ou vers une extension de son domaine de validité.

Nous avons jusqu'ici décrit deux dynamiques concurrentes du développement scientifique, en soulignant que le déterminisme est un des fondements de l'une, et un des objets de recherche de l'autre. Pour obtenir une description cohérente du déterminisme; il est à présent nécessaire de travailler à la relation qui lie ces deux dynamiques. De cette manière, nous saurons si nous appelons du même nom deux choses différentes, ou si ces deux rôles du déterminisme peuvent fusionner.

La première relation possible entre les deux dynamiques est la *transcendance* du philosophique. Il s'agit d'admettre que la recherche est une activité sociale, mais de nier toute effet réel de cette activité sur le contenu des théories. Cette position est combattue par les nombreuses études de terrain des sociologues des sciences, qui montrent justement comment le travail de recherche a imprégné les résultats (un bon exemple pourrait être le double formalisme de la mécanique quantique - Heisenberg et Schrödinger -, issu de deux traditions de recherche, et dont la fusion a demandé des années).

A l'inverse, il existe une tentation en sociologie des sciences de ne retenir que les aspects sociologiques, et de nier toute réalité, toute capacité explicative, aux concepts classiques de philosophie des sciences. C'est un programme fort, qu'on appelle souvent le *socially constructed knowledge*. En particulier, le critère de vérité (ou au moins ceux de cohérence logique et de prise en compte de l'expérience) y est considéré comme socialement déterminé. C'est une hypothèse outrancière, qui n'est plus défendue aujourd'hui par beaucoup de sociologues des sciences.

On en vient finalement à proposer un lien d'*incarnation* : la dynamique des idées prend racine dans l'activité sociale, à la manière dont l'esprit s'enracine dans le cerveau. Dès lors, on ne peut plus dire qu'un des deux niveaux domine l'autre, et il faut parler de contraintes réciproques et complexes.

Ainsi la neurobiologie du cortex permet-elle d'imposer des contraintes aux modèles de la vision (par exemple la séparation des étapes du traitement visuel en phases successives, correspondant à des cascades d'activités synaptiques décalées dans le temps), et inversement la connaissance des divers types d'aphasie permet de prouver l'existence de zones spécialisées dans le cerveau. De même qu'en sciences cognitives le seul objet de recherche complet est l'esprit / cerveau (qui est un très bel exemple d'hybride), la philosophie des sciences doit s'attacher aux deux niveaux, et les faire communiquer pour obtenir une description complète.

Thomas Kuhn, avec les révolutions scientifiques, propose une "incarnation ponctuelle", les effets sociaux restant localisés (mais sensibles). C'est évidemment une réelle simplification. Mais cela reste une erreur. En effet, si l'on peut distinguer des périodes extraordinaires dans la recherche (avec cependant une bonne dose d'arbitraire dans les découpages), les

explications sociales courent en fait sur toute la période précédente (de précurseur en impasse, de chercheur esseulé en drame historique), et les effets restent sensibles sur toute la période suivante.

La démarche doit donc d'abord être descriptive et locale. Cela explique l'attachement des sociologues des sciences à travailler sur un terrain (un laboratoire, un département, un réseau autour d'une controverse ou d'un objet, etc.). Il s'agit d'abord de décrire "*la science telle qu'elle se fait*". On peut cependant aussi travailler sur les controverses et les épisodes passés, grâce à un matériau historique souvent riche et abondant. Mais les concepts qui vont permettre de poser une problématique, de mettre au point une dynamique, devront être réinventés à chaque fois; ou, s'ils sont sortis de la boîte à outils classique de la sociologie des sciences (concurrence, médiation, mobilisation, alliance, etc.), il faudra en revalider la pertinence sur le cas.

On se rend bien compte qu'une telle pratique est locale, très précise, qu'elle décrit un tableau foisonnant dans lequel, *a posteriori*, on tente de mettre un ordre. D'où le titre de cette contribution : cette description est comme une forêt, touffue et inconnue, qu'il faut apprendre à connaître, ce qui ne peut se faire qu'en en arpentant les sentiers.

Le déterminisme, principe fondateur et résultat de l'activité scientifique

Quittons à présent, après ces quelques détours, le terrain de la construction d'une philosophie des sciences unifiée, pour en revenir à notre préoccupation première, à savoir la recherche d'une définition du déterminisme cohérente avec les deux approches. Pour cela, j'utiliserai un concept que développe Jean-Pierre Dupuy, le *bootstrapping* (littéralement, le "tirage-par-les chausses", c'est-à-dire le talent du Baron de Munchausen à s'envoler en tirant sur les lacets de ses bottes, étant ainsi la cause de son propre mouvement) ou "auto-transcendance". En effet, la distinction entre le déterminisme et l'activité scientifique relève donc du même type de coupure *a priori* que celles que relève Jean-Pierre Dupuy entre la foule et son chef, ou entre l'individu et la société.

Le débat est vicié dès lors qu'on cherche à séparer activité scientifique et déterminisme des phénomènes. La croyance en un déterminisme est un fondement de la démarche scientifique (approche philosophique), et en même temps c'est une construction des scientifiques (approche sociologique). Il explique la nécessité d'une approche scientifique, et il apparaît seulement à travers cette approche.

C'est que le déterminisme est le principe de construction d'un champ de recherche (qui passe par la recherche des effets et des causes essentielles d'une classe de phénomènes), et que la construction d'un champ fait partie de la recherche (elle n'en est nullement un préalable, puisqu'elle en est

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

concomitante, partie intégrante). Les exemples de telles constructions ne manquent pas, même si on les trouve plus facilement en sciences sociales. Ainsi la société, objet de la sociologie traditionnelle, n'acquiert une existence qu'à travers les études sociologiques. Elle ne leur préexiste pas, et il en existe plusieurs descriptions incompatibles fondées sur des études divergentes. De même, l'esprit en psychanalyse est à la fois un présupposé du domaine (existence d'un esprit structuré) et un résultat de recherche (manifestations de l'inconscient).

C'est un fonctionnement commun de la recherche de produire de tels concepts, qui s'autonomisent apparemment de la démarche, tout en lui restant en fait intimement liés. L'anthropologie est le domaine où la démarche de "construction de l'objet de recherche" est la plus visible : elle y est revendiquée comme faisant partie de la méthode de la discipline.

Par contre, les sciences dites dures, mathématisées, ne mettent pas en avant ces constructions. C'est essentiellement un problème culturel et historique : les sciences de la nature se sont développées en prétendant décrire le réel, et même si aujourd'hui on a relativisé cette adéquation, il n'en reste pas moins que la culture scientifique pousse à externaliser un maximum d'objets. De plus, ces objets externalisés agissent ensuite comme autant d'alliés - de greffons - de la discipline. Quelqu'un qui est familier de la notion de société sera plus naturellement à même de s'intéresser à la sociologie que quelqu'un qui place la notion d'individu au-dessus de tout le reste.

Le déterminisme est donc dans cette relation ambiguë avec l'activité scientifique : il en est le produit, et il en est le père. Il s'agit bien d'une de ces figures enchevêtrées dont parle Jean-Pierre Dupuy. Cela justifie *a posteriori* cet exposé : le problème du déterminisme est inséparable de celui de l'évolution des sciences, et de leur ambition de description du réel.

Le *bootstrapping* que nous avons évoqué permet de réduire l'opposition entre les deux dynamiques et entre les deux acceptions que Bertrand évoquait : en tant que principe de la pratique scientifique, le déterminisme est bien un principe transcendantal, qui touche à la réalité ultime des phénomènes; en tant que produit de l'activité scientifique, le déterminisme est bien une stratégie de recherche et de communication. Il faut souligner qu'il ne s'agit ici nullement de tout réduire au jeu social, de vider de son sens la philosophie des sciences. Tout l'enjeu au contraire est de ménager un espace commun pour les différentes approches.

C'est, plus généralement, un thème actuel que de travailler à faire émerger un tel espace de concertation. Ce qui est important pour le déterminisme l'est aussi, et c'est un problème plus directement brûlant, pour que les experts scientifiques et les décideurs politiques et sociaux puissent se rencontrer, et parler le même langage, sans que les uns ne noient les autres de termes techniques et sans que les autres refusent *a priori* d'intégrer les problèmes scientifiques dans leurs débats. La très récente décision de reprise des essais nucléaires français illustre fort bien cette nécessité. Cet espace existe déjà, mais son fonctionnement actuel, parce qu'il est souvent caché, n'est en rien démocratique. Le changement de pratique nécessaire, Bruno Latour l'appelle "le parlement des choses", parce que le rapport des

L'appel de la forêt

scientifiques à leurs objets de recherche est un rapport de représentation tout comme les députés de l'Assemblée Nationale représentent leurs électeurs, c'est-à-dire traduisent leurs attentes, mais aussi peuvent les traduire, les trahir, passer des alliances pour eux, etc.

Le but, au fond, c'est de penser ensemble science et démocratie.

OÙ EN EST-ON DU DÉTERMINISME ?

Bibliographie

BLOOR, David

Sociologie de la logique ou les limites de l'épistémologie, Editions Pandore, Paris, 1982

CALLON, Michel

La Science et ses réseaux, La Découverte, Paris, 1989 (sous la direction de)

La Science telle qu'elle se fait, La Découverte, Paris, 1991 (sous la dir. de, avec Bruno Latour)

COLLINS, Harry

Changing order, Sage, Londres, 1985

DELEUZE Gilles et GUATTARI Felix

L'Anti-OEdipe. Capitalisme et schizophrénie, Minuit, Paris, 1972

DUPUY, Jean-Pierre

Introduction aux sciences sociales, Ellipses, Paris, 1994

HACKING, Ian

Concevoir et expérimenter. Thèmes introductifs à la philosophie des sciences expérimentales, Christian Bourgeois, Paris, 1989

LATOURE, Bruno

La Vie de laboratoire, La Découverte, Paris, 1988

La Science en action, La Découverte, Paris, 1989

Aramis, La Découverte, Paris, 1990

Nous n'avons jamais été modernes, La Découverte, Paris, 1991

LEVY, Pierre

Les Technologies de l'intelligence. L'avenir de la pensée à l'ère informatique, La Découverte, Paris, 1990

LYNCH, Michael

Art and Artifact in Laboratory Science, Routledge, Londres, 1985

Representation in Scientific Practice, MIT Press, Cambridge, Mass., 1990
(avec Steve Woolgar)

PICKERING, Andy

Science as Practice and Culture, Chicago University Press, Chicago, 1992

PINCH, Trevor

Confronting Nature. The Sociology of Neutrino Detection, Reidel, Dordrecht, 1986

SHAPIN, Steve et SCHAFFER, Simon

L'appel de la forêt

Leciathan and the Air Pump, Princeton University Press, Princeton, 1985

STENGERS, Isabelle

L'Invention des Sciences Modernes, La Découverte, Paris, 1994