



Scripta Philosophiæ Naturalis 17 (2020)

ISSN 2258 – 3335

LA PHILOSOPHIE NATURELLE
ET LA MÉCANIQUE (*)

Miguel ESPINOZA

(*) Version française d'une conférence faite au 5ème Symposium du Cercle de Philosophie de la Nature, Université de Málaga, 24, 25 et 26 février 2016.

Still, all the while, like warp and woof, mechanism and teleology are interwoven together, and we must not cleave to the one nor despise the other; for their union is rooted in the very nature of totality. We may grow shy or weary of looking to a final cause for an explanation of our phenomena; but after we have accounted for these on the plainest principles of mechanical causation it may be useful and appropriate to see how the final cause would tally with the other, and lead towards the same conclusion. In our own day the philosopher neither minimises nor unduly magnifies the mechanical aspect of the Cosmos; nor need the naturalist either exaggerate or belittle the mechanical phenomena which are profoundly associated with Life, and inseparable from our understanding of Growth and Form.

D'Arcy W. Thompson

RESUMEN: Existe un vínculo íntimo entre la filosofía natural y la mecánica, y entre las numerosas pruebas a favor de esta afirmación examino tres conceptos fundamentales estrechamente relacionados entre sí: el determinismo causal y la forma-fin de la filosofía natural, y el principio mecánico de mínima acción.

ABSTRACT: There is a strong link between natural philosophy and mechanics, and among the numerous evidences in favour of this statement, the close union between these three fundamental concepts is examined: causal determinism and the notion of form-finality of natural philosophy, and the mechanical principle of least action

INTRODUCTION

Il existe un lien intime entre la philosophie naturelle et la mécanique, et parmi les preuves que l'on peut donner à l'appui de cette affirmation, j'examine ici trois notions éminentes et étroitement liées entre elles : le principe mécanique de moindre action et ces deux concepts de philosophie naturelle, le déterminisme causal et la forme-fin. Dans ce contexte les expressions *forme-fin* et *finalité* sont synonymes. S'agissant des êtres naturels comme les cristaux ou les êtres vivants, la forme et la finalité sont, en effet, deux aspects d'un même état. Ensuite, dans une science naturelle comme la physique, les phénomènes sont gouvernés par des lois, ils tendent à réaliser une structure formelle mathématique : ici, clairement, la forme assimile la finalité. Certains

diront que cet écrit ne porte pas sur la philosophie naturelle mais sur le naturalisme. Or, pour moi, même s'ils n'ont pas exactement le même sens car la philosophie naturelle est un genre de réflexion, une discipline, tandis que le naturalisme est une doctrine, un point de vue, la philosophie naturelle et le naturalisme ont exactement la même dénotation, le même contenu : tout le réel, tout existant, est naturel.

Une philosophie naturelle — ou philosophie de la nature, la signification est la même — non naturaliste est impossible. La raison en est que les non naturalistes présupposent que la nature est une apparence et non la véritable réalité, que la nature n'est pas intelligible en elle-même, qu'elle n'a pas, en elle-même, les principes de son interprétation — à quoi bon, alors, une discipline sans objet ? C'est pourquoi les non naturalistes, entre lesquels on compte les idéalistes, les platoniciens et les théologiens, cherchent la source de l'intelligibilité et du sens ailleurs, dans un autre monde : c'est une pseudosolution. Le transcendantalisme n'est pas une philosophie de la nature. Cela dit, mon naturalisme n'est ni scientiste ni réductionniste. Il est intégral. Je l'ai dit : tout le réel, tout existant est naturel, la vie et le comportement spirituel, la raison aussi bien que ses symbolismes et la société. Et ce naturalisme reconnaît les énigmes qui sont encore les nôtres, parmi lesquelles l'étoffe de la matière et l'émergence de la conscience.

La thèse principale illustrée dans ce qui suit stipule qu'il existe une contribution réciproque entre ces deux réalités naturelles, le déterminisme causal et la moindre action. La valeur pour la philosophie naturelle déterministe de la moindre action en tant que principe d'une science, la mécanique, réside dans le fait qu'avec les propriétés du calcul des variations et plus généralement de la mécanique, ce principe est un modèle pour la connaissance et pour la compréhension du déterminisme causal du devenir. Je ferai remarquer le caractère naturel, immanent et parfois finaliste du principe de moindre action dans la mesure où le devenir d'un système peut être considéré comme la réalisation d'une valeur extrême minimale ou maximale. Rappelons que la cause finale est un objectif, un principe explicatif d'une entité ou d'un processus qu'elle définit comme un moyen vers cet objectif. S'il y a adaptation à quelque chose, s'il y a une tendance vers un but, alors il y a une finalité

§ 1. — LA PHILOSOPHIE NATURELLE ET LA MÉCANIQUE

La relation entre le principe mécanique de moindre action, le déterminisme causal et la forme-fin est impossible sans les potentialités ou virtualités qui permettent à la

matière de tendre vers un état optimal ou suboptimal (expression qualitative), c'est-à-dire vers un état qui maximise ou minimise un critère, une valeur (expression quantitative). Le concept grec ancien qui enveloppe la causalité et le déterminisme est la nécessité à laquelle les savants-philosophes aussi bien que les poètes tragiques étaient sensibles, car l'*anankè* est la contrainte qui conditionne aussi bien le devenir physique extrahumain que la destinée humaine. Parfois on est allé jusqu'à diviniser la Nécessité. La conviction que la nature suit un ordre strict a été et reste la condition *sine qua non* de la pensée rationnelle, conviction qui, à travers la science et la théologie du Moyen Âge, a transité jusqu'à l'époque moderne, et enfin, globalement, jusqu'à nos jours. Il y a des exceptions au principe du déterminisme causal telles que certaines interprétations de la physique quantique, mais elles ne s'imposent pas et je ne m'attarderai pas ici sur elles. La recherche d'optimisation, la tendance vers une forme-fin qui signifie une harmonisation de la matière-puissance est une composante éminente de la rationalité du monde, de l'ordre naturel.

Concernant le rapport ou l'absence de rapport entre le principe de moindre action et la finalité, mon point de vue est inhabituel. Les auteurs se divisent en deux groupes : il y a d'une part ceux pour qui la finalité n'existe nulle part, d'aucune façon, et, d'autre part, il y a ceux pour qui le principe de moindre action, la tendance naturelle à la simplicité, est une cause finale tellement parfaite, qu'elle ne peut être qu'une manifestation de la sagesse divine. Son origine serait transcendantale. À rebours de ces deux traditions, je considère qu'il est possible de voir dans le principe de moindre action une manifestation de la cause finale, mais il s'agit d'une finalité toute naturelle et immanente aux systèmes et aux processus où elle peut être constatée. Ainsi, quand il y a recherche de solution optimale (ou suboptimale), *primo*, le principe moderne donne un sens précis à l'évolution de la puissance des systèmes en réinterprétant mathématiquement, mécaniquement, la forme-fin de la tradition ; *secundo*, comme Aristote l'avait fait, l'appel à des traits anthropomorphiques est supprimé. Il y a par conséquent une façon naturaliste de concevoir la cause finale. Le fait que le déterminisme causal, le principe de moindre action et la finalité immanente soient compatibles et complémentaires entre eux, est une manifestation évidente de la compatibilité et de la complémentarité qui existe entre la philosophie de la nature et la mécanique.

D'après le déterminisme causal, le devenir de tous les systèmes, sans exception, est causalement déterminé, et l'orientation donnée par la forme-fin au déploiement d'une puissance est l'une des modalités de cette nécessité. C'est pourquoi, réciproquement à la contribution des principes mécaniques au déterminisme causal, le déterminisme

causal dans lequel est plongé ici le principe de moindre action contribue, à son tour, à l'interpréter correctement. Je veux dire que le déterminisme causal contribue à écarter la tentative, invraisemblable, de concevoir le principe de moindre action dans un espace réel de liberté ou de contingence, comme si les corps qui se déplacent ou qui changent, une fois qu'ils savent où ils doivent aller et quel est l'état ou le but à atteindre, pouvaient choisir le meilleur chemin en minimisant ou en maximisant un critère.

Pour mieux comprendre les problèmes et les thèses exposées, la réflexion suivante sur les rapports entre la philosophie naturelle et la mécanique s'impose. J'entends par philosophie naturelle la recherche d'intelligibilité. Il s'agit de concevoir un système spéculatif basé sur la continuité entre la science et la métaphysique dont l'objectif est de comprendre, d'une façon cohérente, les systèmes naturels. Dans cette continuité, la mécanique, noyau, base ou modèle de toutes les sciences¹, occupe une place privilégiée, aussi bien par la généralité dans l'application de ses principes que par la clarté et la précision de ses procédures, par sa généralité abstraite et par sa finesse concrète. La mécanique partage avec la philosophie naturelle plusieurs de ses principes : 1° le réalisme métaphysique, 2° la présupposition de l'unité de la nature laquelle serait, finalement, comprise par une grande métathéorie, et 3° le postulat selon lequel la nature est présidée par la nécessité, de telle façon que cette nécessité est descriptible d'une manière déterministe, par exemple, par les moyens du calcul.

D'après le réalisme métaphysique — métaphysique et non scientifique car celui-ci est indiscernable du réductionnisme physicaliste, doctrine rejetée ici —, les catégories fondamentales du langage usuel et les concepts fondamentaux des mathématiques ne sont ni a priori, ni des inventions libres de l'esprit humain, ni des conventions commodes : ce sont d'abord des aspects des êtres et des processus naturels, et ensuite, en tant que symboles, ils se sont forgés dans le frottement de nos organismes contre l'environnement impulsés par le *conatus*, le besoin de continuer à exister, et ce, de la meilleure façon. Les symboles sont obtenus par abstraction du réel et c'est pourquoi ces concepts sont si bien adaptés aux besoins de la vie. Ce réalisme de la philosophie naturelle est partagé par la mécanique : ce que j'appelle *les concepts fondamentaux des mathématiques* sont essentiels à la mécanique, ce qui aide à comprendre qu'ils soient indispensables à notre vie biologique aussi bien qu'à notre description des lois de la nature, à la représentation des processus naturels. Ces concepts sont, dans une certaine

¹ « Je ne considère pas la mécanique comme la base fondamentale de l'explication de toutes les autres sciences, mais au contraire, à cause de son état d'avancement formel, comme un excellent modèle pour celles-ci. » E. Mach, *La mécanique*, éd. J. Gabay, Paris, 1987, p. 359.

mesure, maîtrisés également par les animaux supérieurs, et peut-être, aussi, par d'autres animaux.

Le deuxième principe partagé par la philosophie naturelle et la mécanique stipule qu'il existe un seul monde, une hiérarchie naturelle dotée d'une seule rationalité, susceptible d'être appréhendée par un système spéculatif logiquement cohérent.² D'après mon naturalisme intégral, tout le réel est naturel ou physique ; la vie et les processus de l'esprit sont, eux aussi, naturels, physiques. Le sens et la dénotation de « réel », de « naturel » et de « physique » sont exactement les mêmes. *Naturel* et *physique* sont employés ici dans leur sens ancien. Par exemple le physique est non seulement le physicochimique d'aujourd'hui mais également le biologique et le psychique. Si tout le réel est physique, naturel, alors en principe rien n'empêche l'emploi de concepts appartenant à la physique moderne pour décrire et expliquer des processus psychiques. Et inversement : il y a des termes, considérés aujourd'hui comme psychiques, qui sont pertinents pour décrire et expliquer les phénomènes physicochimiques de la physicochimie moderne. La contrainte pour l'emploi des termes qui semblent ne pas respecter les frontières actuelles entre les disciplines est le contrôle par le critère de vérité propre à la philosophie. J'entends par là la nécessité avec laquelle l'analyse intellectuelle justifie ses jugements ainsi que la qualité et la quantité d'intelligibilité qu'elle permet d'appréhender.

La nature est une, et une façon d'exprimer cette unité consiste à attirer l'attention sur la continuité de la perception à l'imagination. Aux objets et processus réels perçus, l'imagination scientifique ajoute le virtuel. Ce prolongement du réel par le virtuel est contrôlé, encore une fois, par la nécessité avec laquelle l'analyse intellectuelle justifie ses jugements ainsi que par la qualité et la quantité de l'intelligibilité qu'elle permet d'appréhender. L'unité naturelle et la continuité de la perception à l'imagination d'où résultent les concepts sont une preuve du caractère artificiel et erroné des nombreuses doctrines qui, situant l'intelligible exclusivement dans les concepts, le séparent du perceptible. Cette unité et continuité sont des caractéristiques inéliminables de la philosophie naturelle. Si l'intelligible n'appartenait qu'aux possibilités du sujet, le monde

² « C'est grâce au développement de la mécanique que les savants et les philosophes ont conçu la possibilité pour l'homme de chercher et de trouver une explication générale de tous les phénomènes naturels. » Émile Borel, *L'Évolution de la mécanique*, Flammarion, Paris, 1943, p.222.

extrahumain ne serait pas intelligible et la philosophie naturelle, je l'ai dit au tout début, resterait sans objet.³

D'après le troisième principe de la philosophie naturelle et de la mécanique, la nature est rationnelle car elle est causalement ordonnée et déterminée. La nature est un réseau serré de causes multiples et variées. Rien ne sort du néant, rien n'arrive sans causes. Ce sont des idées anciennes qui ont fait leurs preuves à travers les âges. Le déterminisme physicomathématique moderne signifie un raffinement de la causalité. Le déterminisme causal, l'unité du monde et le réalisme métaphysique, principes à l'arrière-plan de la philosophie naturelle et de la mécanique, sont examinables seulement par la philosophie naturelle car seule la philosophie possède les concepts appropriés et le niveau de généralité requis pour les examiner.

Il y a ensuite un autre principe qui définit la mécanique rationnelle lequel, bien qu'étant lui aussi d'ordre métaphysique, n'est partagé que partiellement, et avec précaution, par la philosophie naturelle : la mathématisation. En effet, d'après la mécanique, le monde est mathématiquement structuré, raison pour laquelle la science mathématique est indispensable à la recherche d'intelligibilité :

Le Calcul des variations, bien loin d'apparaître comme un chapitre modeste de ce qu'on appelle encore dans nos universités Calcul différentiel et intégral ou Mécanique rationnelle, doit au contraire être considéré comme une des grandes parties de la science mathématique, autour de laquelle pourraient venir se grouper de plus en plus de théories très variées, tirant leur origine tant de l'Analyse pure que de la Philosophie naturelle (Maurice Janet).

Sans le haut degré d'abstraction des mathématiques, point d'universalité dans la connaissance ni de symbolisme interdisciplinaire. Tout en reconnaissant ces évidences, on n'embrasse pas ici le panmathématisme. Tout dans la nature n'est pas forme ou structure stable : il y a le devenir, les qualités de la matière et le développement incessant et énigmatique de ses puissances (je ne veux pas dire que la qualité n'existe pas en mathématiques car une espèce de qualité, les relations de position, s'y introduit avec la topologie). Il arrive souvent que, pour l'explication du devenir de la qualité, le langage usuel avec ses catégories et sa logique soit nécessaire et suffisant. La forme ou structure mathématique d'un système ou d'un processus est un équilibre, une harmonie de la matière. C'est pourquoi les causes formelles d'ordre mathématique ne

³ « Toute Science [et la mécanique rationnelle en particulier car c'est le sujet de l'auteur] ne porte-elle pas l'empreinte de nos concepts et, quand elle sort de la pure logique, l'empreinte aussi de nos sensations vis-à-vis du monde extérieur ? Sa fécondité et sa certitude ne sont-elles pas alors en raison de son intime contact avec la nature et ne devient-elle pas stérile à mesure qu'elle s'en éloigne ? ». C. de Freycinet, *Sur les principes de la mécanique rationnelle*, Gauthier-Villars, Paris, 1902, p. vi.

sont pas tout : il y a aussi les causes matérielles qui ont la potentialité de se stabiliser dans une forme. Ainsi la nature, à sa façon, déborde le mathématique. Mais le mathématique aussi, à sa façon, déborde la nature : tous les êtres, structures et procédures mathématiques n'existent pas dans la nature. Il y en a qui sont, en effet, bien présents dans de vastes secteurs naturels. La physique moderne avec ses êtres mathématiquement constitués en témoigne. Mais il y a aussi d'autres structures ou êtres mathématiques, comme les transfinis de Cantor, dont on voit mal la correspondance avec le réel (quelques mathématiciens décrivent ces transfinis comme une sorte de délire).

Aux principes précédents, la mécanique ajoute la vérification, indispensable pour ajouter au raisonnement la valeur de vérité sans laquelle la mécanique ne serait pas une science. La philosophie naturelle est la continuité entre la métaphysique et la science. Le moment où la partie métaphysique est un système spéculatif de principes dont l'objectif est l'explication cohérente de la hiérarchie naturelle. Ce système spéculatif justifie son existence par la recherche de signification ainsi que par la nécessité de ses analyses et de ses jugements. Le moment où la partie scientifique est le contact de la signification, c'est-à-dire des symboles, des concepts, des analyses et des jugements d'une part, avec le monde sensible, d'autre part. La science se caractérise par la recherche de vérification ou de réfutation, de probabilité ou de vraisemblance par l'intermédiaire de prévisions précises comparées à ce qui arrive effectivement, étape impossible sans l'intermédiaire de la conception et de l'application de procédures d'observation ou d'expérimentation. La philosophie naturelle, étant davantage philosophique que scientifique, se situe plus du côté de la métaphysique et, en conséquence, ses procédures de validité ne se réduisent pas à la vérification sensible, à la prévision par le calcul.

§ 2. — LE PRINCIPE DE MOINDRE ACTION

Imaginons métaphysiquement, comme on le fait en mécanique rationnelle au moment d'établir le principe d'inertie, qu'un point se déplace sur une surface sans être soumis à aucune force : sa vitesse est constante et sa trajectoire est déterminée par la condition d'extrémalité d'être la plus courte entre deux quelconques de ses points. Cette proposition est-elle généralisable aux cas où il existe une force ? C'est la question que s'est posée Maupertuis et à laquelle il a répondu par l'affirmative. Si l'on introduit une force, on transite du purement mathématique au physique, et la parcimonie, l'économie ou la simplicité géométrique devient le principe de moindre action. Et à son tour

ce principe, en contribuant à la structuration des phénomènes, ramène le processus physique de retour à la géométrie car toute structure a un aspect géométrique. Maupertuis a nommé *action élémentaire* le déplacement très petit du point, c'est-à-dire le produit de sa quantité de mouvement (mv) par le déplacement infiniment petit du point (ds). Grâce au calcul intégral qui permet de remonter depuis les grandeurs infiniment petites aux grandeurs finies, l'action le long d'une trajectoire est la somme des actions élémentaires, c'est-à-dire, comme nous venons de le voir, la somme des produits de la masse par la distance et par la vitesse. Le principe de moindre action stipule que les systèmes naturels, dans leurs mouvements, tendent à minimiser l'action.

La notion d'action est arrivée à s'imposer graduellement. Avant elle, on s'en souvient, on avait considéré l'espace, ensuite le temps, comme grandeur minimale (Héron d'Alexandrie et la réflexion de la lumière, P. de Fermat et la réfraction). Leibniz n'était pas convaincu de cela et avait observé que parfois le minimum n'était ni l'un ni l'autre, mais qu'un système emprunte la route la plus facile, celle qui exige la moindre dépense de force, celle qui oppose la moindre résistance. Ainsi est-il arrivé à concevoir le produit du chemin par la résistance du milieu. Le rayon de lumière suivrait le chemin où ce produit est le plus petit. L'action maupertuisienne n'est pas bien loin.⁴

On le sait, tout corps en mouvement possède une énergie cinétique et une énergie potentielle. L'énergie cinétique est l'énergie du mouvement et l'énergie potentielle est celle qui s'est accumulée par suite de sa position, de sa forme ou de son état, ce qui inclut l'énergie gravitationnelle, électrique, nucléaire et chimique. À chaque point du chemin il y a une différence entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle. L'action est ainsi la somme de ces différences, ce qui s'intègre par rapport au temps entre l'instant initial et l'instant final. On remarque que souvent les systèmes naturels, parcimonieux, emploient le plus possible l'énergie potentielle. Le principe de moindre action généralise cette tendance et stipule que les systèmes, dans leurs mouvements, tendent à dépenser le moins d'énergie possible, c'est-à-dire, à minimiser l'action. C'est ainsi qu'entre les mains des mathématiciens et des mécanistes modernes la vague intuition ancienne et médiévale d'après laquelle la nature est parcimonieuse est devenue une idée précise : ce que la nature économise, c'est l'énergie, une grandeur mathématiquement mesurable et susceptible de se combiner d'une façon calculatoire avec d'autres quantités.

⁴ Pour un bref historique des grandeurs censées être minimales, voir par exemple Paul Janet, *Les causes finales*, Librairie Germer Baillière et Cie., Paris, 1876, Ch. VI, 7° Maupertuis. Principe de la moindre action.

Euler pense avoir trouvé la base du principe de moindre action et de son universalité dans quelque chose de tout à fait fondamental, l'existence universelle de la matière et son impénétrabilité. Les corps agissent les uns sur les autres dans la mesure où ils affectent l'impénétrabilité. Pour assurer celle-ci on génère la plus petite force nécessaire possible, laquelle produit le plus petit effet possible, c'est-à-dire le plus petit changement d'état possible. C'est pourquoi l'action qui produit tous les changements naturels est toujours la plus petite possible :

Quand plusieurs corps se rassemblent dans un même endroit de telle façon qu'aucun d'entre ne puisse rester dans son état sans pénétrer les autres, il y aura une action mutuelle qui sera toujours la moindre action nécessaire pour empêcher la pénétration. Contre tout pronostique vous trouverez ici, Votre Altesse, le fondement du système de feu M. de Maupertuis.⁵

Euler continue sa lettre en disant que Maupertuis a tout à fait raison, que le principe est vrai, qu'il est parfaitement bien fondé dans la nature même des corps — ce n'est pas une libre invention commode de l'esprit humain — et que tous ceux qui ne voient pas les choses ainsi et qui, de plus, se moquent de Maupertuis, se trompent.

Reculons dans le temps avec l'intention de mieux décrire et de mieux expliquer l'intérêt philosophico-scientifique et historique de ce principe. Les Anciens, dont Archimède est un exemple éminent, connaissaient les propriétés de maximum et de minimum du cercle et de la sphère : de toutes les figures de même périmètre, le cercle couvre la plus grande surface, et inversement, parmi les courbes fermées de même surface, le cercle est la plus courte. Pour une surface donnée, la sphère a un volume maximum ; inversement, pour un volume donné, la sphère a une surface minimum. Quand l'inconnu est une courbe paramétrée, on recherche une courbe de longueur minimale (on dit aussi extrémale), une géodésique. Si l'inconnue est une surface, on recherche, pour un périmètre donné, la surface d'aire maximale.

Rappelons que le calcul des variations est une extension du calcul qui réunit des méthodes visant à décrire des objets optimaux et à développer des techniques pour les trouver. L'utilité de ces méthodes, leurs vastes applications au-delà du domaine des mathématiques pures, saute aux yeux. Notre vie, y compris notre comportement inconscient, est déterminée par la recherche et possession du meilleur objet et par l'éloignement du pire. Il s'agit souvent de connaître la stratégie optimale soit pour maximiser une propriété, soit pour la rendre minimale.

⁵ Leonard Euler, *Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*, éd. espagnole Alianza Editorial, Madrid, 1985, Lettre 78 Sur le principe de la moindre action.

La structure de la recherche est la suivante : à un point de départ donné ou condition initiale s'ajoute une contrainte, c'est-à-dire l'objectif à atteindre, et le problème consiste à satisfaire la contrainte, à atteindre l'objectif de façon optimale en tenant compte de la condition initiale, du point de départ. Dans le domaine des systèmes physiques, ces problèmes concernent leurs formes. Une fois le volume intérieur d'une maison fixé, quelle forme possède la superficie minimale pour que les pertes de chaleur soient les plus petites possibles ? (Les spécialistes informent que la forme a été trouvée il y a longtemps par les esquimaux : l'iglou, la demi-sphère). Soit la construction d'un avion : quelle forme doivent avoir le fuselage, les ailes, l'empennage vertical et l'empennage horizontal, etc., pour minimiser la résistance de l'air et rendre l'appareil plus rapide.

Dans l'Antiquité, au premier siècle de notre ère, la *lex parcimoniae* a trouvé une application dans les travaux d'Héron en physique. Héron avait observé que les lois de la réflexion de la lumière sur un miroir plan découlent de l'hypothèse selon laquelle le rayon lumineux émis par une source est réfléchi dans le miroir et atteint notre œil en suivant le chemin le plus court parmi tous les chemins possibles passant par un point quelconque du miroir. Au 10^{ème} siècle le mathématicien arabe de Bagdad Ibn Sahl avait découvert la loi de la réfraction de la lumière, redécouverte sept siècles plus tard en Europe sous le nom de loi de Snell-Descartes, et Fermat a étendu le principe de minimum à la réfraction. Le principe de Fermat généralise l'observation selon laquelle pour aller d'un point A à un point B, la lumière suit le trajet de longueur minimale. Or quand le milieu est non homogène ou bien quand il y a deux milieux différents, le trajet suivi peut alors comporter des réflexions et des réfractions, et dans ce cas, « parmi tous les trajets que l'on peut imaginer entre deux points A et B, celui qui est réellement suivi par la lumière est celui dont la longueur optique [le chemin optique] est stationnaire, le plus souvent minimal. »

En effet, en passant d'un milieu à un autre, par exemple de l'air à l'eau, la trajectoire n'est pas une droite mais une ligne brisée car la vitesse de la lumière dans ces deux milieux n'est pas la même. Il y a, comme on sait, un rapport des sinus de l'angle d'incidence et de l'angle de réfraction, qui est égal à l'indice de réfraction, c'est-à-dire au rapport des vitesses. Il s'ensuit que le parcours optimal n'est pas une droite, le chemin rectiligne, celui qui minimise l'espace, mais celui qui minimise le temps. Le parcours dans le temps minimum exige que le trajet dans le milieu où la vitesse est supérieure soit plus long que celui où la vitesse est inférieure. Quand la lumière passe de l'air à l'eau elle se comporte comme l'athlète qui, étant aussi bon pour la course à pied que pour la nage, pour aller d'un point de la plage à un radeau dans le moindre

temps, ne se précipite pas en ligne droite vers lui, il ne court pas non plus jusqu'au point de séparation entre la plage et la mer où la distance à la nage est la plus courte, mais il emprunte une trajectoire intermédiaire. Et Huygens a montré que ce genre d'optimisation du parcours de la lumière subsiste lorsqu'elle s'étale dans un milieu de réfraction hétérogène : la ligne brisée, polygonale, décrite par son déplacement est parcourue dans un temps inférieur à la durée imposée par toute autre courbe. La recherche des théorèmes du minimum a été ensuite élargie de l'optique aux phénomènes mécaniques dévoilant des analogies entre ces deux domaines de la physique.

Depuis l'Antiquité on a considéré que des faits mathématiques tels que les figures optimales signifient une nécessité explicative des processus naturels. Quand une explication mathématique optimale est trouvée, l'itération de la question pourquoi n'a plus de sens. Les Anciens ont considéré que si un phénomène pouvait être décrit de plusieurs façons, celle qui optimise un critère important, celle qui minimise ou maximise une grandeur, est la description vraie. Dérivons la conclusion, la perfection révèle une vérité :

Si le mouvement du ciel est la mesure de tous les mouvements par le fait qu'il est le seul à être continu et régulier et éternel, et si, dans chaque espèce la figure est le minimum, et le mouvement minimum est le plus rapide, alors, clairement, le mouvement du ciel doit être le plus rapide de tous les mouvements.⁶

Tout autre est l'attitude de plusieurs savants et philosophes du 17^{ème} et du 18^{ème} siècles qui croyaient au surnaturel. Leur idée est qu'il y a deux mondes, l'un naturel, l'autre surnaturel. Aussi, attendu que les faits mathématiques dont font partie les principes du minimum et du maximum sont également naturels, il leur arrive ce qui arrive à tous les phénomènes du monde sensible, c'est-à-dire que leur explication ultime ne peut être qu'extranaturelle. Finalement, le rejet de la métaphysique prôné par les doctrines kantienne, positivistes et pragmatiques postérieures a, pour conséquence, que rien n'explique, ni le naturel ni le surnaturel. Les fondements des mathématiques, ses êtres essentiels, ne sont plus considérés comme étant inscrits dans la nature : ce ne sont que des exigences de notre pensée, des procédures simples et commodes utiles surtout pour la prévision des phénomènes et non pour leur compréhension.

Le positivisme et le pragmatisme sont des héritiers de Kant, et dans un esprit tout kantien, M. Born écrit :

Nous sommes encore loin de connaître la formule universelle de Laplace mais nous pouvons être convaincus qu'elle aura la forme d'un principe extrémal, non pas parce que la nature a

⁶ Aristote, *Traité du ciel*, II, 4, 23-29.

une volonté, un but ou une économie, mais parce que le mécanisme de notre pensée n'a pas d'autre voie pour condenser une structure de lois compliquée en une brève expression.

D'accord, la nature n'a pas des buts anthropomorphiques, mais M. Born écarte d'un revers de main l'interprétation réaliste de l'extrémalité et de la continuité, le déterminisme causal et l'organisation finaliste de beaucoup de processus naturels. Pourquoi le mécanisme de notre pensée, de notre cerveau, serait-il comme il est, si la réalité en soi n'avait rien à voir avec les catégories de la pensée ? Pourquoi cette façon de penser est-elle si utile, si indispensable à la vie, si elle n'est rien d'autre qu'un mécanisme possible parmi un nombre infini de mécanismes possibles a priori ?

L'invraisemblance d'une coïncidence miraculeuse, par hasard, entre les catégories de la pensée et celles de la nature extrahumaine saute aux yeux. Les mécanismes de la pensée animale et humaine se sont formés comme conséquence du besoin de l'organisme de satisfaire le *conatus*, l'aspiration à continuer dans l'existence. Cette aspiration ne peut être satisfaite sans l'adaptation de l'entité à son environnement. Cela signifie que l'animal et l'homme ont formé leurs mécanismes symboliques en se frottant à leur environnement et comme conséquence des exigences de la vie biologique. Il fallait s'attendre à ce que la psychè, principe de vie, et l'esprit, principe de la pensée symbolique, naissent et se développent de manière analogique, en résonance, en harmonie avec la nature non vivante ou non psychique.

En physique récente, on le sait, le non réalisme a été renforcé par la puissante influence de l'interprétation de Copenhague de la physique quantique. Cette physique ne serait pas une image vraie du réel mais un instrument de calcul, de prévision, et très utile pour la technologie. Au niveau quantique il n'y aurait rien à comprendre parce que cette strate ne partage pas les catégories de l'expérience à notre échelle. Mais il est à remarquer que l'affirmation « au niveau quantique il n'y a rien à comprendre », tout comme les raisons que l'on donne en sa faveur, sont métaphysiques, et cela contredit le positivisme que l'affirmation et les raisons données en sa faveur expriment. Le problème de l'explication est, bien entendu, métaphysique : la façon de le présenter, les voies considérées comme raisonnables à suivre en vue de sa solution, les critères avec lesquels on juge le bien-fondé des hypothèses, tout cela découle de ce que l'on pense être la structure ultime du réel, et les affirmations sur la structure ultime du réel sont métaphysiques.

Dans la physique moderne, le principe de moindre action précise la *lex parcimoniae*, l'intuition ancienne selon laquelle, la nature, économique, « ne fait rien en vain ». ⁷ Ce qui dans un mouvement est économisé, en vertu des équations de la dynamique, est une grandeur appelée action que les pères de la mécanique ont conçu comme le produit $m \times d \times v$ (la masse par la distance par la vitesse) :

Il faut maintenant expliquer ce que j'entends par la quantité d'action. Lorsqu'un corps est porté d'un point à un autre, il faut pour cela une certaine action, cette action dépend de la vitesse qu'a le corps et de l'espace qu'il parcourt, mais elle n'est ni la vitesse ni l'espace pris séparément. La quantité d'action est d'autant plus grande que la vitesse du corps est plus grande, et que le chemin qu'il parcourt est plus long, elle est proportionnelle à la somme des espaces multipliés chacun par la vitesse avec laquelle le corps les parcourt. C'est cela, c'est cette quantité d'action qui est ici la vraie dépense de la Nature, et ce qu'elle ménage le plus qu'il est possible dans le mouvement de la lumière. ⁸

Il ne faudrait pas voir ce principe comme la manifestation d'une mystérieuse cause finale surnaturelle, ce qui a souvent été le cas pendant le 17ème et le 18ème siècles entre les mains des savants éminents tels que P. de Fermat, G.W. Leibniz, Maupertuis et L. Euler. Ils croyaient que la nature était présidée, finalement, par la contingence et non par la nécessité, une contingence que l'on considérait comme indispensable à l'action de la cause finale. Si la nature est ordonnée, si elle ne fait rien en vain ni de superflu, c'est grâce à la sagesse divine qui l'a créée. La divinité agit toujours de la façon la plus rationnelle et simple. Pour ma part je reprends, bien qu'avec une variante, la conception naturaliste du 19ème siècle chère à E. Mach et à H. Poincaré, qui en ceci ont été précédés par P.-S. de Laplace et par J.-L. Lagrange : le principe de moindre action est un résultat simple et général des lois de la mécanique. Ma variation est que, contrairement à E. Mach, à H. Poincaré et à plusieurs autres scientifiques (positivistes, phénoménistes, conventionnalistes ou pragmatiques), et attendu qu'il n'y a pas de procédure scientifique formelle ou expérimentale sans pré-suppositions métaphysiques sur le réel, premièrement, je reconnais dans les problèmes de philosophie naturelle le continuum scientificométrique, et, deuxièmement,

⁷ Aristote, *Génération des animaux*, II 5 741 b.

⁹ Pierre Louis Moreau de Maupertuis, *Accord de différentes lois de la nature qui avaient jusqu'ici paru incompatibles*, Paris, 1744, p. 426. Le lecteur intéressé dans la critique du choix de ces trois grandeurs, *mvs*, peut lire, entre autres, Ernst Mach, *op. cit.*, Ch. III, 8 Le principe de la moindre action.

j'accorde aux causes formelle et finale, naturellement conçues, la place qu'elles méritent.

§ 3. — LE PRINCIPE DE MOINDRE ACTION ET LE DÉTERMINISME CAUSAL

Pourquoi tant de savants et de philosophes modernes ont-ils rejeté si énergiquement les causes finales ? L'une des hypothèses les plus communément proposées stipule que c'est la conséquence de leur conception d'un monde physiquement déterminé par les causes matérielles et motrices. Par contre, la finalité présuppose, ou semble présupposer, la contingence car, sans elle, on ne voit pas comment il y aurait quelque chose à guider, il n'y a pas de porte par où pourrait s'introduire l'influence de la cause finale. Or cette conjecture de la contingence, terrain de la finalité, présuppose, ou semble présupposer, une idée absente de l'aristotélisme et de ma propre philosophie, à savoir, que la cause finale est quelque chose d'extérieur, de transcendant aux autres aspects de l'évolution d'une puissance tels que les causes efficientes et matérielles. Mais il faut bien se rendre compte que les quatre causes de la tradition aristotélicienne ne sont séparables entre elles que conceptuellement, par abstraction, elles forment, en effet, une seule réalité. Cela signifie que d'une façon qui reste, dans plusieurs cas, énigmatique, la cause formelle et la cause finale, en tant que principes organisateurs, sont immanents aux systèmes en devenir, inscrits en eux.

Il n'est pas dans l'horizon de la raison que quelque chose puisse émerger sans causes, spontanément, d'un vide parfait. C'est pourquoi la quête des principes explicatifs est une recherche de causes. Et une fois que les corps et les processus sont là, comment penser que dans leur état présent, remplis qu'ils sont de puissances orientées vers l'avenir et prêtes à se déployer, cet état présent ne soit pas la cause de l'avenir : « Rien ne sort de rien... ni ne va vers le néant » (Lucrèce, *De rerum natura*, I, 210-212 ; I, 300-303). Sans causalité, ni nous ni notre milieu ne serions stables. Plus généralement, l'uniformité et la stabilité présupposent la causalité et cette dernière peut être exprimée comme suit : approximativement les mêmes causes produisent approximativement les mêmes effets par translation dans l'espace et dans le temps. Sans l'uniformité naturelle toute connaissance inductive serait impossible, ce qui rendrait impossible toute vie animale et humaine. Si la stabilité d'un système et l'uniformité d'une loi existaient spontanément ou par hasard, alors rien n'empêcherait que, par hasard ou spontanément, la stabilité et l'uniformité disparaissent : ce serait invraisemblable, comme le montre le témoignage solide du sens commun.

Appliquons maintenant la nécessité causale aux principes d'optimum. L'interprétation correcte de la recherche d'une valeur minimale ou maximale signifie que la forme recherchée est une propriété géométrique locale ou infinitésimale d'une courbe, d'une trajectoire, propriété locale déterminée par l'état local du corps et par sa dépendance globale du milieu. Pour justifier le déterminisme causal naturel dans lequel je plonge le principe de moindre action et la finalité immanente qu'il contribue à atteindre, j'emprunte une prémisse à Maupertuis lui-même. Celui-ci et d'autres, hantés par le surnaturel, n'ont pas su tirer parti de l'idée de Maupertuis qu'il existe une action élémentaire, infinitésimale. Pour tout corps, étant donné une action infinitésimale et une direction dans un milieu, dans un champ donné, le corps suivra le chemin qui, à chaque point, aura une action minimale. Il n'est donc nullement nécessaire que le corps sache quelque chose ni sur le point d'arrivée ni sur le chemin le plus court. Remarquons donc le déterminisme causal du processus : à chaque pas, le pas suivant est déterminé par la réalisation d'une valeur extrême. Ainsi la forme optimale du processus est engendrée par la série d'actions élémentaires. La forme optimale de la trajectoire, comme toute forme, est engendrée par le déploiement de la puissance de la matière.

§ 4. — LA MÉCANIQUE ET LA FORME-FIN

La compréhension du fait que la forme-fin de la philosophie de la nature est interprétable en termes mécaniques est importante en soi ainsi que pour la perception de la continuité entre la mécanique et la philosophie de la nature. Étant donné la forme du squelette d'un animal, la composition physicochimique des os et le champ gravitationnel, il existe une hauteur et un poids que l'animal ne peut dépasser. Un autre exemple : comme tout servomécanisme, l'animal reçoit des signaux, et déterminé par son programme, par les contraintes auxquelles il est soumis, il transforme les signaux reçus en nouveaux signaux ou ordres qui agissent, à leur tour, en tant que forces appliquées, sur son propre état, c'est-à-dire sur l'état d'un système réel soumis au mécanisme. Attendu que l'organisme qui donne les ordres et qui les reçoit est le même, la dépendance est une autorégulation, et quand l'objectif des ordres est le fait de ramener le système à un certain point d'équilibre, le mécanisme de régulation est homéostatique. Il serait intéressant de continuer cet exemple en considérant les variables thermodynamiques, ce que je ne fais pas à cette occasion.

La forme-fin est traduisible en termes géométricomécaniques. Il faut donc rejeter l'idée fautive selon laquelle l'explication d'un processus par la forme-fin est incompatible avec l'explication mécaniste. La goutte d'eau qui s'étale sur une surface

horizontale lisse, l'être vivant qui croît, agit et vieillit sont des développements jusqu'à la limite permise et fixée d'une part par leur constitution, et, d'autre part, par les propriétés du champ ou milieu où ces processus se développent et auquel ils contribuent par leur propre présence. Nous sommes face à l'épanouissement d'une puissance active, d'une action orientée qui à un moment donné est satisfaite : l'expansion de la goutte d'eau atteint une forme limite et se stabilise, le chaton devient adulte, telle action humaine obtient son objectif.

Les causes matérielles et les causes formelles agissent ensemble, c'est indéniable car il n'y a pas de forme sans matière ni de matière (seconde) sans forme. Pour sa part, l'aspect finaliste devient évident au moment d'étudier l'organisation, par exemple, celle d'un être vivant. La complexité de l'organisation des organes et des organismes et, chez un organisme, le degré d'adaptation mutuelle de ses organes est tel, qu'une explication en termes de séries causales purement efficientes ou motrices manquerait une bonne partie de l'essentiel, c'est-à-dire la collaboration si intime entre de telles séries et la raison de la collaboration. Cette collaboration ou organisation est un ordre global. La cause finale est un principe organisateur. Quiconque le saisit, actualise dans son intellect une bonne partie de l'intelligibilité, l'autre partie correspondant aux causes matérielles et efficientes :

Voici maintenant le problème que se pose le physiologiste, et que la nature a dû se poser avant lui : Comment l'estomac qui digère la viande ne se digère-t-il pas lui-même ? Comment le suc gastrique qui attaque et dissout tous les aliments, ne dissout-il pas l'estomac, qui est précisément de la même nature que les autres aliments ? Eh bien ! il se trouve que la nature, répondant d'avance à l'objection, a enduit les parois intérieures de l'organe d'un vernis particulier qui les rend inattaquables à l'action du suc gastrique. Comment se refuser à admettre que la production de ce vernis a un rapport déterminé et rigoureusement calculé avec le phénomène futur que devait produire l'estomac ? Dire qu'un tel rapport n'existe pas, et est le résultat d'une pure coïncidence, c'est admettre que pendant que certaines causes physiques produisaient la substance appelée estomac, d'autres causes, sans aucun accord avec les précédentes, produisaient la substance appelée *épithélium*, qui se trouve être précisément la condition *sine qua non* de la fonction digestive. Ces deux séries de causes travaillant dans la nuit, sans aucun rapport entre elles, ni avec le futur, finissent cependant par s'accorder entre elles, et par leur accord, rendre possible le phénomène futur qui ne le serait pas sans cela. N'est-ce pas renoncer au principe de causalité, que de ne voir là qu'une coïncidence fortuite, et le résultat de certaines chances heureuses ?⁹

René Thom a attiré l'attention sur la situation suivante : dans le développement d'un organe ou d'un organisme, d'une feuille ou d'un œil, on observe qu'une fois l'organe achevé et sa fonction mise en place, le biologiste comprend localement et ana-

⁹ Paul Janet, *Les causes finales*, Librairie Germer Baillière et Cie., Paris, 1876, pp. 42-43.

lytiquement comment les éléments se réunissent pour arriver à ces résultats. Mais quand il s'agit de rendre compte du caractère adaptatif de tels systèmes et de telles fonctions, de leur vertu si visiblement bénéfique, la réponse de la chimie et de la biologie laisse à désirer : elle invoque un principe de sélection. Ainsi les organismes ayant développé, par mutations accidentelles, ce genre d'organes et de processus ont un avantage sélectif, la conséquence étant que ceux qui ne les possèdent pas sont éliminés par sélection naturelle :

Cet argument paresseux et parfaitement incontrôlable est actuellement le seul dont on dispose pour rendre compte de la finalité biologique. Et cependant, la finalité biologique pose à l'esprit un défi qui mériterait d'être relevé par d'autres moyens [...]. On sait qu'en mécanique classique, l'évolution d'un système matériel peut être décrite de deux manières : l'une par des équations différentielles locales comme les équations de Lagrange ou de Hamilton, l'autre par un principe variationnel global comme le principe de moindre action de Maupertuis. Ces deux descriptions sont parfaitement équivalentes bien que l'une présente un aspect mécaniste de déterminisme local et l'autre, un aspect finaliste. Il est vraisemblable qu'il en va de même en biologie ; tout processus épigénétique ou homéostatique est susceptible d'une double interprétation, déterministe et finaliste.¹⁰

Si le lecteur revient maintenant à l'épigraphe de mon essai, il appréciera la ressemblance d'esprit entre D'Arcy Thompson et René Thom. On remarquera que le géomètre utilise ici « déterminisme » dans son sens courant moderne selon lequel le déterminisme est associé à la cause efficiente ou motrice et à la prévision par le calcul, d'où la distinction entre le déterminisme et le finalisme. Pour ma part je conçois un déterminisme aussi varié que les quatre causes. Chaque cause impose un déterminisme *sui generis*. Par conséquent je trace plutôt une distinction entre plusieurs classes de déterminisme. Par exemple il y a d'un côté celui des causes matérielles et motrices, mécaniques, et, de l'autre, le déterminisme de la forme-fin.

Prétendre expliquer quoi que ce soit, en l'occurrence la formation d'une entité ou d'un processus bénéfique à la vie et à la survie par le hasard, par une série de coïncidences heureuses, c'est avouer qu'on n'a rien compris. Expliquer signifie exposer à la lumière du jour que ce qui arrive, arrive selon une nécessité causale. Expliquer signifie montrer les causes multiples et variées productrices d'un effet. Ainsi les mécanismes engagés dans les processus adaptatifs sont constitués par des causes efficaces en harmonie avec la forme-fin. Ce qui vient d'être observé l'est d'un point de vue philosophique, et il correspondrait aux sciences pertinentes, et en particulier aux mathématiques appliquées à la biologie, de renseigner sur l'application du calcul

¹⁰ René Thom, *Stabilité structurelle et morphogénèse*, 1972, 2^e éd. InterÉditions, Paris, 1977, pp. 276-277.

variationnel à ce domaine. Certains spécialistes laissent entendre qu'il n'est pas absurde de se demander, par exemple, si la mutation qui se produit à un moment donné n'est pas celle qui a le meilleur effet sur le métabolisme, celle qui minimise la production d'entropie.

§ 5. — LA MÉCANIQUE, LE NON VIVANT ET LE VIVANT

Des mathématiciens informent qu'aujourd'hui un vaste domaine des mathématiques appliquées se réduit à l'optimisation. Le grand développement de l'industrie, en particulier à partir de la Deuxième Guerre Mondiale, est dominé par l'optimisation, par la recherche de solutions extrêmes. La stratégie est toujours la même : ayant à l'esprit la contrainte ou cahier des charges, par exemple la construction d'un pont, l'ingénieur cherchera la meilleure solution, celle qui minimise ou maximise un critère. Ces méthodes sont omniprésentes dans la pensée technologique, et l'existence de maxima et de minima, en tant que formes-fins, tendent à montrer que de telles opérations ont un sens (j'aimerais faire remarquer que dans mon système spéculatif la signification de quelque chose est sa nécessité, sa participation au déterminisme causal). Il est entendu que les principes variationnels et le principe de moindre action s'appliquent tout naturellement dans la construction d'objets artificiels et c'est pourquoi je ne m'attarde pas maintenant sur cet aspect-là. Par contre il importe de s'interroger sur la pertinence de ces méthodes non seulement pour la compréhension des systèmes physico-mathématiques, où le principe de moindre action stipule que les mouvements se déroulent de telle façon que l'action est rendue soit minimale, soit stationnaire, mais il convient également de s'interroger sur leur pertinence en vue de comprendre l'organisation interne et le comportement des êtres vivants. Nous y reviendrons bientôt, dans la section suivante, au moment d'examiner la vision mécaniste de la liberté.

L'interprétation correcte des principes variationnels en général, et celle du principe de moindre action en particulier, écarte toute tentative de concevoir la recherche d'économie en termes anthropomorphiques. Par conception anthropomorphique de ces principes je veux dire que le corps ou le mobile *sait* où il veut aller, que pour arriver à destination il considère plusieurs voies possibles parmi lesquelles *il choisit* la meilleure. Or rien ne justifie cette attitude : d'une part, le corps purement physique, évidemment, ne sait pas où il veut aller, et, d'autre part, l'idée que pour réaliser quelque chose une entité, non consciente ou consciente, puisse choisir la meilleure voie parmi une multiplicité de possibilités est une chimère. Par *interprétation correcte* de la recherche d'un minimum ou d'un maximum j'entends celle selon laquelle la forme

recherchée est une propriété géométrique locale ou infinitésimale d'une courbe, d'un trajet — déterminisme causal local —, propriété qui est, à son tour, déterminée par la disposition globale de la matière-énergie — déterminisme causal global identifiable à une cause formelle et finale. Il n'est donc pas vrai que le déterminisme causal local soit suffisant pour comprendre le processus car celui-ci est déterminé, aussi et surtout, par la situation physique globale de l'univers, situation bien représentée par un principe variationnel global comme le principe de moindre action.

La poursuite consciente d'une finalité est une cause de l'action chez l'animal et chez l'homme, et c'est à leur action que la conscience et le savoir doit se restreindre. Cela dit, comme je le montrerai dans la section suivante, le savoir conscient ne signifie pas qu'il y a un libre choix parmi plusieurs possibilités réelles. Les principes variationnels s'appliquent bien au-delà du comportement animal et humain, et pour faire disparaître toute trace d'anthropomorphisme, c'est surtout dans ces autres domaines qu'il convient de faire remarquer que la propriété de minimum d'un trajet ou d'une courbe sur une surface est locale, infinitésimale. Étant donné une courbe, la condition qu'elle doit satisfaire pour être une géodésique, le plus court chemin entre ces deux extrêmes A et B, est celle-ci : à partir de A traçons un arc infiniment petit. Maintenant son plan osculateur, le plan le plus proche possible d'un élément non plan, le plan mené par la tangente parallèlement à la tangente infiniment voisine, est normal à la surface. Si cette condition est réalisée par tous les arcs infiniment petits de la courbe, alors la courbe est une géodésique. D'après ce modèle mathématique cette forme d'optimum est purement géométrique et locale, d'où il suit que sa conception anthropomorphique est inutile.

Contre la supposition d'un choix entre plusieurs voies possibles, considérez ce qui arrive au ruisseau qui descend le long d'une colline. Le chemin suivi, appelé le meilleur, est déterminé par les propriétés de l'eau, par son énergie, par les relations causales en jeu, par la force de gravitation, par les caractéristiques du relief et ainsi de suite. Cet exemple illustre qu'il est erroné d'affirmer que selon le principe de moindre action une puissance suit, de tous les chemins *réellement possibles*, celui qui est optimal. *En réalité*, il n'y a qu'une trajectoire possible ou potentielle (comme cela a été établi dans ma conférence « No hay potencias que nunca se realizarán »).¹¹ Il n'y a pas de choix. Ce qui se réalise, le mouvement de tous les corps qui suivent leurs géodésiques, est déterminé par la situation de la matière-énergie qui les constitue et par la situation de la matière-énergie de leur environnement. Pensez, par exemple, à ce qui

¹¹ *Actas del Congreso Internacional de Filosofía de la Ciencia y la Tecnología*, Arequipa, 2017.

est stipulé en ce sens par la physique relativiste où les corps suivent leurs lignes d'univers, leurs géodésiques dans l'espace-temps courbé.

Voici un point, à première vue, énigmatique : comment se fait-il que l'utilité du calcul variationnel soit si générale, et, en ce qui concerne la recherche du minimum par exemple, pourquoi la propriété locale, infinitésimale, capte-t-elle si bien le conditionnement physique ? Et plus généralement, concernant l'union du physique et du mathématique, comment se fait-il que souvent, en physique mathématique, les mathématiques non seulement s'appliquent de l'extérieur aux phénomènes physiques mais elles les constituent de l'intérieur ? Dans un esprit aristotélicien, je suis d'avis que la réponse ultime se trouve dans le fait que les bases des mathématiques ont été obtenues par abstraction de quelques propriétés des corps et des processus physiques, et que le reste des mathématiques, jusqu'aux êtres et aux méthodes les plus récentes, sont des abstractions d'abstractions. Nous imaginons des surfaces sans épaisseur, des lignes sans largeur et des points sans dimension ; d'un couple d'yeux et d'un couple de bras nous abstrayons la multiplicité qu'ils sont en commun. Le monde sensible est en mouvement, en devenir, déterminé par des forces ; il y a des frottements, ce qui n'existe pas en mathématiques. Pour cette raison les propositions mathématiques sur le monde sensible ne sont le plus souvent que plus ou moins approchées. On sait que la plupart du temps les solutions naturelles sont mathématiquement quasi optimales, non pas tout à fait optimales. Beaucoup de formes, par exemple les pommes, les ventres des femmes enceintes, ne sont pas parfaitement sphériques par suite, entre autres, notamment de la gravitation.

Depuis les débuts du calcul variationnel, les mathématiciens appliqués et les ingénieurs ne cessent de s'étonner du fait que la recherche d'optimisation, tout comme d'autres principes de la mécanique, semble être inscrite chez les organismes de façon inconsciente. Les calculateurs disent : si vous voulez construire un tunnel, regardez les fourmis ; si vous voulez vous déplacer depuis un point A vers un point B sur un terrain plein d'obstacles (dénivèlements, arbres, flaques d'eau), regardez le parcours de votre chien déterminé par son instinct et par sa pensée. Qui n'a vu son chat utiliser mécaniquement et de façon optimale son corps pour ouvrir une porte ou une fenêtre.

§ 6. — LA MÉCANIQUE ET LA LIBERTÉ

La mécanique est inscrite dans notre squelette, dans notre motricité et, ce qui est important pour la compréhension de notre propre action, dans notre cerveau. Je pense

que les actes attribués au libre arbitre sont, en fait, une application plus ou moins consciente, dans un espace psychologique, des stratégies visant l'optimisation au sens de la mécanique : quand nous choisissons quelque chose, nous avons une idée, plus ou moins consciente ou explicite, à la fois de notre situation de départ — la condition initiale — et du point auquel nous voulons arriver — l'objectif, la contrainte —, le problème étant alors de remplir l'écart entre le point de départ et le point d'arrivée d'une manière optimale. L'espace psychologique de l'activité volontaire où s'exerce l'acte dit libre est compatible avec l'espace physique et le complémentaire. Une fois la situation considérée comme elle vient de l'être, la liberté absolue, l'acte qui ne serait conditionné par aucune cause, n'existe pas. L'épanouissement d'un acte est favorisé et canalisé à la fois par un vaste réseau de causes de plusieurs classes et par la recherche d'économie, de simplicité, d'une optimisation causalement déterminée par l'état de puissance du système et par l'influence de son environnement.

La liberté ne peut être la condition d'un esprit libre affranchi des contraintes naturelles. Le libre arbitre, le choix et les autres concepts plus ou moins proches de la même famille (la contingence, le hasard, etc.) ne peuvent être des événements spontanés. Puisque rien n'échappe à la nécessité de la relation causale et que nous sommes doués d'une subjectivité, je définis le libre arbitre comme l'intériorisation de la nécessité. L'analyse de la double thèse suivante aide à la compréhension de ma définition de la liberté. Premièrement, l'objectif final de tous nos actes, conscients et inconscients, est d'assurer la continuité de l'existence, et ce, de la meilleure manière (*conatus*) ; deuxièmement, au moment d'agir, nous essayons invariablement d'optimiser un critère ou une valeur, raison pour laquelle il y a une forte similarité ou analogie entre notre comportement psychosocial dit libre et celui des corps sujets aux principes variationnels de la mécanique, des corps sujets, en particulier, au principe de moindre action.

Depuis des temps immémoriaux les humains ont dû s'émouvoir devant l'effort de tout être vivant pour survivre, aussi infime soit-il ; ou bien, moins dramatiquement, devant l'impulsion naturelle vers un objet représenté comme un but (conception aristotélicienne et stoïcienne de *conatus*). À l'époque moderne, après Hobbes et Leibniz, Spinoza généralise le *conatus* : « Chaque chose, autant qu'il est en elle, s'efforce de persévérer dans son être ». M'écartant maintenant de Spinoza car il a rejeté, erronément, la cause finale, je pense que la satisfaction du *conatus* est la cause finale suprême de notre comportement. Dans des conditions normales, nous faisons tout ce qui est à notre portée pour continuer à vivre, et ce, de la meilleure façon. Une fois en

vie, on n'a pas le choix, mais, *dans l'absolu*, rien n'est plus mystérieux que cette impulsion : on ne comprend pas qu'exister soit préférable à ne pas exister.

Je partage l'avis de ceux qui pensent que le sentiment de responsabilité lié au libre arbitre, par exemple la fierté et la honte, le mérite et le démerite, etc., est une astuce de l'évolution en vue de préserver la vie de la société. Affirmer que la satisfaction du *conatus* est la cause finale suprême de l'action implique que les autres objectifs choisis sont en même temps, mais non dans le même sens, des moyens, des étapes vers la satisfaction du *conatus*. Et c'est dans la recherche d'un chemin en vue d'arriver à une fin que l'optimisation, que la structure et la signification du principe de moindre action devient un modèle pertinent. En conséquence il est tout à fait pertinent d'étudier la liberté, bien que non exclusivement, avec quelques idées de la mécanique, de la théorie de systèmes ou de la théorie du contrôle tels que les principes d'optimum, le principe de moindre action, les opérations de guidage d'une trajectoire. Ces concepts mécaniques sont régulateurs des processus, raison pour laquelle ils signifient une réinterprétation scientifique des causes finales directrices et organisatrices.

Revenons à notre fil d'eau qui descend de la colline. Il est en contact avec le terrain, le touche, laisse les traces des tentatives avortées car une nécessité plus forte vient couper la voie d'une autre nécessité moins forte : seule la nécessité limite la nécessité. Le chétif ruisseau emprunte le meilleur chemin, celui où il utilise le mieux possible tous les éléments pertinents constitutifs de lui-même et de son environnement. Ainsi, pour toute évolution, il n'y a qu'une trajectoire possible, celle effectivement suivie, et qui est comparable à d'autres chemins mathématiquement conçus grâce à l'abstraction. D'après l'avis de Petzoldt et de Mach les théorèmes d'Euler, de Hamilton et de Gauss décrivent analytiquement le fait expérimental que les phénomènes de la nature sont déterminés d'une façon unique : « c'est la singularité du minimum qui est déterminante » (Mach).

Imaginons maintenant, analogiquement, l'être humain à la place du fil d'eau. Notre action, comme le comportement de l'eau dans sa descente — cela ne peut être autrement — suit les lois de la nature. Comme lui, nous essayons de nous épanouir de la meilleure façon possible étant donné notre constitution particulière, et pour prendre une décision nous faisons appel à la meilleure connaissance, c'est-à-dire à la compréhension des causes. À mesure que la connaissance progresse, le champ des possibles imaginés, comme les possibles imaginés pour la descente du fil d'eau, se canalise, subit des contraintes, jusqu'à nous rendre compte, dans le meilleur des cas, qu'une seule décision

s'impose : la liberté, en connaissance de cause, disparaît, tout comme pour le ruisseau il n'y avait finalement qu'une seule trajectoire, le chemin optimal, celui qui lui permettait d'aller le plus loin, étant donné son énergie et l'organisation causale de son environnement. Le besoin de satisfaire le *conatus* et la recherche d'optimisation qui déterminent l'action dite libre existent, invariablement et toujours, soit consciemment soit inconsciemment, la recherche consciente n'est pas nécessaire.

F. Jacob écrit :

Les objets plus simples sont soumis aux contraintes plus qu'à l'histoire. Avec l'accroissement de la complexité grandit l'influence de l'histoire [...]. Bien évidemment, l'histoire prend beaucoup plus d'importance en biologie. Mais comme seules les contraintes, mais non l'histoire, peuvent être formalisées, la biologie a un statut scientifique différent de celui de la physique.¹²

Tous les aspects de l'action humaine ne sont pas quantifiables. Les scientifiques font preuve d'une grande ingéniosité pour élaborer des échelles concernant des phénomènes qualitatifs (considérez, par exemple, l'histoire des thermomètres), mais comment graduer quantitativement la participation de la conscience, l'influence psychique ou sociale, favorable ou défavorable, du milieu dans lequel s'exerce l'action volontaire. C'est pourquoi la recherche de valeurs extrêmes telles qu'on les observe par exemple en mécanique rationnelle ne peut être identique à l'étude du comportement humain — la relation est analogique. Les principes de la mécanique sont un modèle. Mais, bien entendu, faut-il le dire, ce n'est pas parce que tout ce qui concerne l'action consciente n'est pas quantifiable que la conscience n'est pas naturelle. L'esprit, percevant la nature de l'intérieur, se rend compte qu'elle l'a fait naître et s'épanouir avec les mêmes mécanismes qu'elle a utilisés ailleurs dans ses œuvres.

Nous l'avons considéré à plusieurs reprises : on vérifie souvent des propriétés exprimant des valeurs extrêmes maxima ou minima, d'où la tendance à généraliser, avec Aristote, Fermat, Euler et bien d'autres, que la nature, universellement conçue, cherche à atteindre des valeurs extrêmes. Des questions surgissent. Cette tendance vers des valeurs extrêmes est-elle universelle, comment pourrions-nous le savoir ? La difficulté principale est celle d'identifier, selon les différentes strates et systèmes explorés, le critère qui s'optimise. En ce qui concerne la matière vivante, nous sommes

¹² François Jacob, *Le jeu des possibles. Essai sur la diversité du vivant*, Fayard, Paris, 1981, pp. 64-65.

face à une difficulté majeure due à son haut niveau de complexité. Parce qu'elle dépend de l'histoire comme nous venons le voir rappelé par F. Jacob, elle est moins apte à être comprise formellement, quantitativement, que les systèmes plus simples de la physicochimie où priment les contraintes. Quand on pense à l'évolution par exemple, on a du mal à trouver l'optimisation, à parler de parcimonie, de simplicité ou d'économie au moment de comparer les quelques millions d'espèces actuellement en vie au plus de cinq cents millions d'espèces disparues. Mais la leçon de l'histoire des sciences est que, pour comprendre, il est raisonnable de continuer à se demander s'il n'y aurait pas d'autres critères qui s'optimisent cachés derrière ceux qui ne présentent pas cette propriété. C'était l'attitude de ceux qui sont passés de l'espace, au temps, à l'action, à l'énergie. Mention a été faite de l'inscription des principes de la mécanique dans le squelette, dans la motricité et dans le cerveau. Cela dit, la croyance selon laquelle la nature comme unité, considérée dans sa globalité, réaliserait cette perfection que signifie l'optimisation, n'a pas de valeur cognitive : il n'y a ni critère ni symbolisme rationnels en vertu desquels cette croyance soit formulable et contrôlable.

CONCLUSION

J'ai illustré la collaboration si intime et si réussie entre la philosophie naturelle et la mécanique. Elle signifie la continuité de la science à la métaphysique dans la recherche d'intelligibilité, la continuité de l'expérience à la raison. La science affine et contrôle les idées, renfonçant ainsi l'aspect métaphysique des intuitions. Le principe de moindre action et la doctrine de la nécessité qu'il incarne font partie d'un nombre restreint d'intuitions métaphysicoscientifiques qui fondent et orientent la recherche de connaissance et de compréhension. Cette doctrine, les principes de la mécanique et les théorèmes fondamentaux des mathématiques (qui incluent ceux de la logique) sont le noyau de la raison. Et étant donné que la raison n'est pas une étrangère dans la nature car elle est elle-même naturelle, étant donné qu'elle s'est formée (je l'ai dit plus haut) en se frottant à son environnement, les nécessités qu'elle exprime doivent être essentiellement vraies.

Si l'on se borne à considérer la coïncidence entre ce qui arrive naturellement et le calcul comme un fait ultime, il y a énigme. Mais si on essaie de rendre compte de cette coïncidence philosophiquement, alors il n'y a pas de meilleur chemin que l'abstractionnisme : les êtres et les méthodes mathématiques sont des abstractions à partir des propriétés, des relations et des processus naturels. Ainsi conçues, les coïncidences

auxquelles j'ai fait allusion deviennent moins énigmatiques et commencent à se montrer comme des situations auxquelles on pouvait s'attendre.

* * *

Miguel ESPINOZA

miguel.a.espinoza.v@gmail.com