



ÉPISTEMOLOGIE DES SCIENCES MODERNES DE LA NATURE

Le mot « épistémologie » vient des mots grecs « *épistémê* », « science », et « *logos* », « discours », « théorie ». L'épistémologie est un discours sur la science, une réflexion philosophique sur la science.

La science est un ensemble de thèses qui visent la vérité dans différents domaines : les lois régissant les phénomènes naturels, les propriétés des objets mathématiques, les faits historiques, etc. L'un des acquis essentiels de l'épistémologie est que la science est le fruit d'une *recherche* difficile, lente, tâtonnante. Elle ne tombe pas du ciel, elle n'est pas écrite une fois pour toutes dans les livres. L'épistémologie compare les différentes sciences, les différentes conceptions de la vérité, les différentes méthodes, décrit l'évolution des sciences, évalue la rigueur et le sérieux des différents discours scientifiques, ou qui prétendent l'être.

Les variations dans la conception de la vérité scientifique sont de deux ordres. D'une part, cela ne signifie pas la même chose de chercher une vérité historique, une vérité biologique ou une vérité mathématique. D'autre part, dans chaque champ de la recherche scientifique, les méthodes évoluent et connaissent parfois de radicales modifications : c'est ce que l'épistémologue américain Thomas Kuhn (1922-1996) nomme des « ruptures » ou des « révolutions » scientifiques.

L'épistémologie des sciences modernes de la nature part d'un constat : dans un des domaines de la recherche scientifique, à savoir l'étude de la nature (c'est-à-dire tous les phénomènes inertes ou vivants que nous pouvons observer hors de nous, ce que exclut aussi bien les sciences humaines – histoire, sociologie, économie, etc. –, que les mathématiques ou la logique), on peut constater deux grandes périodes, séparées par une révolution scientifique majeure. Dans la première période, qui s'étend de l'Antiquité jusqu'aux alentours du XVI^e siècle, domine la science issue principalement des recherches du premier grand scientifique, Aristote (IV^e siècle av. J.-C.). Dans la deuxième période, une nouvelle conception de la science, qui ne concerne dans un premier temps qu'un très petit nombre de chercheurs avant de s'imposer progressivement et qui finit par faire consensus, est à l'origine de ce qu'on appelle les sciences modernes de la nature. C'est cette conception de la science que nous étudierons ici, puisqu'elle a permis des progrès

spectaculaires dans la connaissance de la nature et qu'elle reste le modèle qui régit la recherche scientifique contemporaine.

Nous ferons cependant une distinction à l'intérieur de l'épistémologie des sciences modernes de la nature : après avoir décrit les ruptures et les méthodes nouvelles adoptées pour étudier les phénomènes *inertes* (planètes, gaz, liquides, etc.), objets de la *physique*, nous aborderons les problèmes spécifiques posés par la connaissance du *vivant*, autrement dit la *biologie*.

I. Épistémologie de la physique moderne

1) Cause efficiente et mathématisation : la rupture avec le finalisme aristotélien

La fin du XVI^e siècle et le début du XVII^e siècle marquent le début d'une connaissance de la nature radicalement nouvelle. On peut considérer que c'est l'italien Galilée (1564-1642) qui est le plus représentatif d'une ère nouvelle : celle de la physique telle que nous la connaissons depuis quatre siècles.

Galilée apporte au discours scientifique deux nouveautés fondamentales : la *mathématisation du réel*, d'une part, et *l'expérimentation à l'appui des théories*, d'autre part. Vers 1604, il formalise pour la première fois la chute des corps sur Terre à travers une formule mathématique : la vitesse est proportionnelle au temps écoulé depuis le début de la chute. Ainsi : $vitesse = constante \times temps \text{ écoulé}$. Il en conclut que, pendant une chute, la distance parcourue est proportionnelle au carré du temps écoulé. Plus précisément : $distance = constante \times 0,5 \times temps \text{ écoulé}$. Cette loi est établie au moyen d'expériences, dont celle du plan incliné sur lequel Galilée fait rouler des billes en chronométrant leur accélération.

Avec Galilée, le mouvement devient un objet théorique présenté sous forme d'équations mathématiques. « Le livre de la nature est écrit en langage mathématique », affirme Galilée dans une formule célèbre de son ouvrage *L'Essayeur (Il Saggiatore, 1623)*. La conséquence, s'agissant du statut de la causalité, est considérable : la causalité n'est plus décrite, elle est mesurée, c'est-à-dire que le physicien donne désormais une expression mathématique au rapport qui relie la cause à l'effet.

Avec Galilée, ce n'est pas seulement une théorie nouvelle qui apparaît, mais le type même d'interrogation qu'on adresse à la nature qui se modifie. Aristote « explique » les phénomènes selon ce qu'il appelle des « cause finales », c'est-à-dire en partant de la *finalité*, du *but* que vise le phénomène. Pour Aristote, le feu éprouve un « besoin » de monter car le « haut » est son « lieu naturel » où il trouve le repos. De même, les objet lourds (les « graves ») éprouvent le « besoin » de descendre, car le « bas » est leur lieu naturel. Ou, pour prendre un dernier exemple – sur lequel nous reviendrons – si un tuyau vide plongé dans un liquide se remplit lorsqu'on fait le vide dans le tuyau, c'est parce que, selon Aristote, « la nature a horreur du vide ». La nature telle que la conçoit Aristote est animée de mouvements qui s'expliquent tous par une nécessité *téléologique* (du grec « *télos* » : « le but », « la finalité »), la finalité de chaque phénomène étant conçue de façon qualitative. Selon Aristote, toute chose tend vers l'état où il réalise au mieux ses potentialités, vers son état de plus grande satisfaction et de plus grande perfection, et l'ensemble de la nature est un tout harmonieux, ordonné par une intelligence organisatrice. Ainsi, la raison pour laquelle « la nature a horreur du vide » est que le plein est plus « parfait » que le vide.

La cause finale existe avant l'effet : elle est le but préexistant qui « tire » les choses vers ce qu'ils doivent devenir (à la façon dont, dans les actions humaines, *l'intention* précède l'action et explique celle-ci). À la *cause finale*, la science moderne substitue la *cause efficiente ou mécanique*, c'est-à-dire une cause qui précède l'effet et le produit de façon nécessaire sans qu'à aucun moment le but, l'intention, la raison de cette relation de cause à effet ne soit pris en compte.

Expliquer la nature ne signifie donc plus la même chose : avec la physique galiléenne, la science ne vise à découvrir que le « comment », laissant de côté le « pourquoi », surtout si ce pourquoi signifie « en vue de quoi ». Le modèle de la science est désormais mécanique : le physicien se demande, face à la nature : « comment ça marche ? », et non plus : « en vue de quoi ça marche ? ».

2) Déterminisme et fatalisme

Le principe du déterminisme est intimement lié à la nouvelle physique. S'il est possible de traduire les lois physiques en langage mathématique et si ces lois permettent des prédictions justes, il faut supposer un ordre causal dans la nature, liant tous les phénomènes de façon universelle et nécessaire. Le principe du *déterminisme* est que les causes sont nécessaires et universellement homogènes. Chaque phénomène, dans la nature, résulte nécessairement d'une cause déterminée selon une relation obéissant à des lois naturelles, c'est-à-dire à des règles universelles et nécessaires.

Il est certes impossible que nous connaissions un jour entièrement, ni parfaitement, cet ordre. Cela n'est nullement dû à un quelconque « désordre » aléatoire qui rendrait la nature structurellement inconnaissable, mais aux limites et à l'imperfection de notre pouvoir de connaître. Le mathématicien français Laplace (1749-1827) a donné à la notion de déterminisme sa définition la plus aboutie :

« Tous les événements, ceux même qui par leur petitesse semblent ne pas tenir aux grandes lois de la nature, en sont une suite aussi nécessaire que les révolutions du soleil [...]. Les événements actuels ont avec les précédents une liaison fondée sur le principe évident, qu'une chose ne peut pas commencer d'être sans une cause qui la produise. Cet axiome, connu sous le nom de *principe de raison suffisante*¹, s'étend aux actions mêmes que l'on juge indifférentes [...]. Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée, si elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome ; rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux. L'esprit humain offre, dans la perfection qu'il a su donner dans l'astronomie, une faible esquisse de cette intelligence. Ses découvertes en mécanique et en géométrie, jointes à celles de la pesanteur universelle, l'ont mis à portée de comprendre dans les mêmes expressions analytiques² les états passés et futurs du système du monde. En appliquant la même méthode à quelques autres objets de ses connaissances, il est parvenu à ramener à des lois générales les phénomènes observés et à prévoir ceux que des circonstances données doivent faire éclore. Tous ses efforts dans la recherche de la vérité tendent à le rapprocher sans cesse de l'intelligence que nous venons de concevoir, mais dont il restera toujours infiniment éloigné.³ »

¹ Synonyme de « principe de causalité ».

² Ici synonyme de « calculs ».

³ P.-S. de Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités*.

Aristote et les Anciens en général ignoraient la notion de déterminisme. Ce qui paraît se rapprocher le plus de cette notion moderne est l'idée de fatalisme, car fatalisme et déterminisme ont en commun l'idée qu'une nécessité contraignante agit sur les choses et sur les hommes. Les différences sont pourtant nombreuses et radicales. Contentons-nous d'en relever deux. Premièrement, l'origine du fatalisme est anthropomorphique : les attentes et les craintes des hommes suffisent à produire et à expliquer la croyance en un « *fatum* » (terme latin signifiant « destin », « nécessité providentielle ») dont la force surnaturelle ou divine dirige leur vie. En ce sens, comme le dit au XX^e siècle le philosophe Alain, le fatalisme est une sorte de « déterminisme théologique »⁴. De ce point de vue, ce n'est pas le destin qui est aveugle (au contraire, si toute la série fatale des événements s'enchaîne si bien, c'est que le destin « voit » fort clairement le but à atteindre), mais bien le déterminisme physique, dépourvu de tout *télos*. Deuxièmement, l'événement fatal résulte d'une cause sur laquelle nul ne peut agir. « L'idée du fataliste, écrit encore Alain, c'est que ce qui est écrit ou prédit se réalisera quelles que soient les causes [...] ; et le proverbe dit de même qu'un homme qui est né pour être noyé ne sera jamais pendu »⁵. La tragédie grecque a exprimé, jusqu'au paroxysme, cette conception, avec l'histoire d'Œdipe qui réalise son destin « à cause » des efforts qu'il déploie pour l'éviter. En revanche, le déterminisme laisse ouverte la possibilité théorique d'agir sur les phénomènes « en connaissance de cause », de modifier les effets en agissant sur les causes, grâce à la connaissance que nous avons des lois. De sorte que si le fatalisme est l'envers du refus radical de la liberté, le déterminisme peut se comprendre comme la condition de possibilité d'une authentique liberté humaine. En effet, comment l'action humaine maîtrisée serait-elle possible dans un monde où tous les phénomènes seraient contingents, aléatoires, dans un monde régi par une causalité surnaturelle inaccessible à l'esprit humain ?

Pour le moment, retenons surtout, dans cette confrontation entre fatalisme et déterminisme, que « ce déterminisme physique est l'aboutissement le plus général de la physique galiléenne et newtonienne. Il diffère essentiellement du destin ; il est aveugle et non organisateur ; il ne favorise les hommes, ni ne les hait. C'est un déterminisme en

⁴ Alain, *Éléments de philosophie*.

⁵ *Ibid.*

fonction de faits passés, non des buts à atteindre ; d'une loi physique, non d'un commandement surnaturel »⁶.

3) Logique de la découverte scientifique : comment remonter de l'effet à la cause ?

Encore faut-il savoir quels sont les procédés de découverte et de vérification permettant de s'approcher d'une connaissance des lois qui régissent la nature, sans faire intervenir aucune hypothèse surnaturelle ou divine.

Fidèles aux fondements philosophiques de l'empirisme selon lesquels la connaissance dérive, plus ou moins directement, des données sensibles, de l'expérience (« *empeiria* » en grec), la conception empiriste de la science consiste à accorder le primat, voire l'exclusivité, à l'observation. Après Locke au XVII^e siècle, après Hume au XVIII^e siècle, John Stuart Mill (1806-1873) propose de cette conception la formulation la plus achevée ou la plus systématique, notamment dans son *Traité de logique*.

John Stuart Mill commence par rappeler que la science se propose d'expliquer les phénomènes naturels, c'est-à-dire ce qui « apparaît » dans la nature (« *phainomenon* », en grec ancien, qui a donné « phénomène », vient du verbe « *phainesthai* », « apparaître »). Or expliquer un phénomène, c'est découvrir sa cause. La difficulté consiste alors à définir la notion de cause. Mill affirme que la cause d'un phénomène B ne peut être autre chose que l'antécédent constant et inconditionné A révélé par l'observation. Autrement dit, le fait A, qui précède toujours B et qui suffit à le faire apparaître, peut être légitimement tenu pour la cause de B. Dès lors, on a raison de considérer que la science réside tout entière en une méthode, à condition de préciser que cette méthode n'est rien d'autre qu'une opération de tri opérée dans la réalité empirique. La recherche scientifique doit seulement s'efforcer d'utiliser des règles lui permettant de démêler le réseau enchevêtré et indistinct des phénomènes afin d'y faire surgir le lien causal expliquant le phénomène étudié. Bref, la science résulte d'observations méthodiques, patientes et nombreuses.

Encore fallait-il préciser cette méthode, en formuler les règles. Selon Mill, la méthode scientifique consiste à utiliser, de façon combinée ou non, quatre règles fondamentales,

⁶ H. Reichenbach, *L'avènement de la philosophie scientifique*.

lesquelles suffisent à débusquer, dans le foisonnement des faits, la cause d'un phénomène.

- La règle des concordances : si A est toujours suivi de B, dans les circonstances les plus variées, alors A est cause de B. Par exemple, se demandant quelle est la cause de la sensation du son, l'observation attentive de réalités aussi différentes que sont une corde pincée, un tambour frappé ou une cloche percutée permet au scientifique de faire surgir l'antécédent constant et inconditionné du phénomène sonore : la vibration d'un corps matériel.
- La règle des différences : si, toutes choses égales par ailleurs, dans une série d'antécédents et de conséquents, B est manquant chaque fois que A est manquant, alors A est cause de B. Par exemple, c'est en utilisant cette règle que Pasteur (1822-1895) met en évidence, en 1861, dans une expérience célèbre, que l'apparition de micro-organismes dans des solutions stériles a pour origine les poussières présentes dans l'air. Il suffisait en effet de mettre en place deux dispositifs strictement identiques à une différence près : la possibilité, dans l'un des deux ballons de verre, d'accès des poussières de l'air et l'impossibilité de cet accès dans le second ballon.
- La règle des variations concomitantes : si, toutes choses restant égales par ailleurs dans une série d'antécédents et de conséquents, B varie toujours corrélativement lorsque A varie, alors A est cause de B. Par exemple, si le savant constate que la pression d'un gaz varie lorsqu'on a fait varier sa température tandis que tous les autres paramètres sont demeurés identiques, alors il peut affirmer que la variation de la température est cause de la variation de la pression.
- La règle des résidus : dans un ensemble de phénomènes donné, si toute une série de conséquents sauf B peut être reliée à toute une série d'antécédents sauf A, alors A est cause de B. C'est ainsi, par exemple, que le chimiste anglais Ramsay (1852-1916) découvre la plupart des gaz rares de l'atmosphère par l'analyse de l'air : extrayant l'oxygène, l'acide carbonique, la vapeur d'eau et l'azote d'un volume d'air donné, soit l'ensemble des