

François Pépin

Claude Bernard et Laplace : d'un déterminisme physique vers un déterminisme proprement biologique ?¹

Sans être le premier à employer le mot, Claude Bernard a popularisé le terme de déterminisme et lui a donné une portée épistémologique générale. Dans *l'Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* de 1865, il en fait un critère essentiel de l'activité scientifique, qui doit supposer l'existence de rapports absolument nécessaires entre les phénomènes. C'est donc un médecin et un physiologiste expérimentateur qui fixe durablement le sens du terme de déterminisme dans la langue française. Mais l'idée vient de Laplace, que Claude Bernard connaît par l'intermédiaire de son maître François Magendie. Laplace, qui n'emploie pas le mot, est bien le premier à avoir construit un cadre proprement déterministe dans son travail astronomique, en étroit rapport avec de nouveaux outils mathématiques (notamment les probabilités). Quel est le rapport entre ces deux déterminismes ?

Georges Canguilhem a proposé l'interprétation selon laquelle Bernard a dissocié (voire libéré) le déterminisme du mécanisme, produisant une perspective authentiquement biologique par l'idée de milieu intérieur relativement indépendant du milieu extérieur. Mais cela suffit-il à saisir l'originalité du déterminisme bernardien et à penser le rapport entre déterminisme

1. Ce texte est issu d'une séance (juin 2011) d'un séminaire sur les relations physique/biologie organisé par Jean-Jacques Kupiec, au Centre Cavailles @, École normale supérieure, Paris.

biologique et déterminisme mécanique ? J'essaierai de montrer que deux autres enjeux interviennent. D'une part, le déterminisme bernardien est un *déterminisme expérimental*, un cadre d'expérimentateur qui en a besoin dans son travail quotidien. Se profile donc, derrière la question des modèles théoriques, une différence dans la pratique scientifique, Bernard ayant souligné la différence entre les sciences d'expérimentation et celles d'observation, entre l'objet qui se transforme dans le processus de connaissance et celui qu'on peut regarder à distance. D'autre part, le déterminisme bernardien n'est pas construit de la même manière, surtout lorsqu'on examine (comme le demandait Canguilhem) sa mise en œuvre plutôt que sa présentation générale. Ainsi, Bernard suppose une invariance entre des facteurs et des phénomènes *dans un contexte donné*, sans étendre comme Laplace le cadre déterministe à l'univers entier par l'hypothèse d'une intelligence supérieure embrassant toutes les lois. Sous cet angle, les implications ontologiques et philosophiques des deux déterminismes ne sont pas les mêmes.

Dès lors, comment interpréter la relation de Bernard au déterminisme laplacien ? S'agit-il d'un emprunt, d'une adaptation ou d'une refonte complète ? Bernard a-t-il vu dans le déterminisme laplacien un outil fécond ou a-t-il subi le prestige d'un cadre mécanique dominant l'espace scientifique de l'époque ? En un mot, avec le déterminisme bernardien, la biologie se libère-t-elle du poids des modèles physiques ou se débat-elle encore avec eux ?

1] Le déterminisme laplacien : mécanique, analyse mathématique et probabilités

[1.1] Le déterminisme laplacien et la mécanique rationnelle

Il est courant d'associer le déterminisme à l'idée de loi nécessaire, le déterminisme étant alors l'affirmation que tout phénomène obéit en dernière instance à une causalité nécessaire, qu'on puisse ou non en préciser la loi. Mais n'est-ce pas une définition trop lâche : toute loi nécessaire est-elle déterministe ? En fait, le lien est bien moins net qu'il y paraît et toute une part de l'épistémologie du XVIII^e siècle a montré qu'on pouvait construire une nécessité nomologique en dehors d'un cadre déterministe. Nous nous contenterons ici de quelques indications précisant cette idée², dans le but de mettre en valeur la rupture laplacienne.

2. Pour plus de détail, voir François Pépin, « La nécessité et l'aléatoire par delà le déterminisme : les Lumières et la biologie moléculaire », in Jean-Jacques Kupiec,

En laissant de côté les aspects historiques techniques (liés essentiellement aux progrès de l'analyse mathématique), on peut souligner que, d'une part, la nécessité mécanique des newtoniens des Lumières est le plus souvent construite comme une forme d'intelligibilité qui correspond aux phénomènes, non comme un modèle de fonctionnement du monde. Les travaux de Maupertuis³ et d'Alembert⁴, par exemple, visent à clarifier une mécanique newtonienne dont les résultats sont, de l'aveu unanime, suffisamment adéquats aux phénomènes célestes. Mais l'idée d'une représentation d'ensemble du monde à partir d'un système d'équations déterministes ne fait pas partie de leur projet, ni même de leur univers intellectuel. Il s'agit de rendre les phénomènes intelligibles en les ramenant autant que possible à des lois mathématisées, pas d'envisager la réduction complète du monde à un système calculable à partir de lois fondamentales. Une autre manière de le dire consiste à remarquer que la prédiction, pour ces newtoniens des Lumières, est un outil d'application locale permettant de justifier les lois physico-mathématiques, de prouver que nos représentations mécaniques correspondent correctement aux phénomènes, non la base d'un système déductif idéal où tous les changements seraient prédits par déduction à partir des lois fondamentales. D'où la rupture introduite par Laplace lorsqu'il envisage dans son *Exposition du système du monde*, publiée en 1796 (nombreuses rééditions), la déduction complète de tous les phénomènes astronomiques. Bien qu'il s'inscrive dans le prolongement de l'unification du principe de la dynamique par d'Alembert, Laplace franchit un pas central par rapport à la mécanique du XVIII^e siècle par l'idée de calcul des états du monde à partir d'un socle nomologique donné.

D'autre part, les savants des Lumières montrent en général une certaine prudence épistémologique dans la réalisation du modèle, pour diverses

Olivier Gandrillon, Michel Morange & Marc Silberstein (dir.), *Le Hasard au cœur de la cellule*, rééd. augmentée, Éditions Matériologiques, 2011 @, p. 259-265.

3. Notamment son important mémoire académique de 1732, qui cherche à montrer la pertinence de l'attraction en réécrivant Newton dans une mathématique nouvelle. Maupertuis présente son mémoire comme « une explication ou un commentaire » de deux sections des *Principia* de Newton, afin de les « éclaircir » (*Histoire de l'Académie royales des sciences*, 1732, « Sur les lois de l'attraction », p. 343 @).
4. Une bonne synthèse de sa démarche est livrée par d'Alembert dans les articles « Méchanique » de l'*Encyclopédie*.

raisons dont le problème que pose le concept d'attraction à distance. Dans le débat entre les « newtoniens » et les « cartésiens » – qui se termine en gros dans les années 1740 pour ce qui est de l'Académie des sciences mais continue d'avoir de nombreux échos –, les réalistes, qui affirment leurs principes et leur théorie astronomique au nom d'une conception claire de la causalité universelle, étaient bien plutôt les « cartésiens ». C'est pourquoi, dans l'ignorance où nous sommes de la cause (la seule cause mécanique intelligible restant le choc), avec d'Alembert la mécanique dite newtonienne se cantonne au *calcul d'effets d'effets*. La force d'attraction n'est plus un problème scientifique car on l'évacue en la traitant comme un effet, mais les discussions sont récentes, certaines se poursuivent (comme en chimie avec les affinités, et dans le magnétisme), et *l'enchaînement causal complet* n'est pas atteint. Il n'est d'ailleurs pas la visée de ces épistémologies souvent régionales et prudentes quant aux dangers de l'esprit de système. Laplace ne cherchera pas non plus la cause de l'attraction, mais il ne montre pas la méfiance d'un d'Alembert à l'égard de cette causalité non réductible au choc, surtout s'il faut en faire un principe fondamental du monde. Sous cet angle, le « système du monde » de ces newtoniens n'a pas la systématisme et la complétude de celui de Laplace : on ne définit pas la science par rapport à l'idée de calcul des états du monde à partir de ses lois causales fondamentales.

Cela permet de préciser que, pour construire le déterminisme mécanique en astronomie, il faut revenir à un *concept cosmologique de cause*, unifier davantage les équations pour proposer un véritable système complet et, enfin, construire un modèle de calculabilité complet du monde. Il faut donc accorder l'imperfection de notre connaissance au maintien d'une causalité rigoureuse dans la nature que nos théories peuvent et doivent approcher. En ce sens, le déterminisme laplacien se présente comme une hypothèse bien plus lourde que la mécanique rationnelle du XVIII^e siècle (en tout cas telle qu'elle est vue par d'Alembert, l'un de ses plus éminents représentants).

[1.2] La construction du déterminisme laplacien et ses implications

[1.2.1] L'Exposition du système du monde

Deux textes essentiels construisent ce qu'on nommera ensuite le déterminisme laplacien. En premier lieu, ce qui n'étonnera guère, *l'Exposition du système du monde* de 1796 offre un système astronomique général appliquant

l'analyse mathématique à la déduction des faits astronomiques à partir de la gravitation. Il se conclut par la célèbre hypothèse dite de Kant-Laplace sur la nébuleuse solaire originelle expliquant la régularité et l'ordre spécifique des courbes des planètes et des satellites autour du Soleil. Dès la première page, Laplace présente la connaissance astronomique par une construction en deux temps : d'une part, un mouvement allant de l'observation aux lois effectives décrivant les mouvements des astres, puis au principe de ces lois, c'est-à-dire la loi gravitationnelle ; d'autre part, un mouvement déduisant de cette loi l'ensemble des connaissances astronomiques. Cette déduction, véritable objectif de la science astronomique, fait office d'explication, son aboutissement constituant l'idéal visé par l'astronomie selon Laplace :

De toutes les sciences naturelles, l'astronomie est celle qui présente le plus long enchaînement de découvertes. Il y a extrêmement loin de la première vue du ciel à la vue générale par laquelle on embrasse aujourd'hui les états passés et futurs du système du monde. Pour y parvenir, il a fallu observer les astres pendant un grand nombre de siècles ; reconnaître, dans leurs apparences, les mouvements réels de la Terre ; s'élever aux lois des mouvements planétaires, et, de ces lois, au principe de la pesanteur universelle ; redescendre, enfin, de ce principe à l'explication complète de tous les phénomènes célestes, jusque dans leurs moindres détails⁵.

L'insistance sur la totalité de l'explication, qui entre dans le détail des mouvements astronomiques, tout en prolongeant le travail des physico-mécaniciens des Lumières, marque un saut dans les possibilités reconnues à la science astronomique. L'un des points centraux est le statut de l'observation. Dans l'idéal, déjà approché en pratique par de récents succès, l'observation n'intervient plus dans cette phase de redescende explicative, la déduction permettant même d'anticiper sur les connaissances empiriques au lieu de seulement les retrouver. Laplace franchit ainsi un seuil dans le mouvement de mécanisation de l'astronomie, qui devient en pratique un grand problème de mécanique mathématique :

La loi de la pesanteur universelle a le précieux avantage de pouvoir être réduite au calcul, et d'offrir dans la comparaison de ses résultats aux observations, le plus sûr moyen d'en constater l'existence. On verra que cette grande loi de la nature représente tous les phénomènes célestes, jusque dans leurs plus petits détails ; qu'il n'y a pas une seule de leurs inégalités qui n'en découle

5. *Exposition du système du monde* (1^{re} éd. 1796, dernière éd. 1824), *Œuvres de Laplace*, VI, Imprimerie Royale, 1846, p. 1 @.

avec une précision admirable, et qu'elle a souvent devancé les observations, en nous dévoilant la cause de plusieurs mouvements singuliers, entrevus par les astronomes, mais qui, vu leur complication et leur extrême lenteur, n'auraient pu être déterminés par l'observation seule, qu'après un grand nombre de siècles. Par son moyen, l'empirisme a été banni entièrement de l'astronomie, qui, maintenant, est un grand problème de mécanique, dont les éléments du mouvement des astres, leurs figures et leurs masses sont les arbitraires, seules données indispensables que cette science doit tirer des observations. La plus profonde géométrie a été nécessaire pour la solution de ce problème, et pour en déduire les théories des divers phénomènes que les cieux nous présentent⁶.

On est frappé, dans ce passage, par le lien entre l'enthousiasme et le recul du rôle dévolu à l'observation, comme s'il était la marque du gain en scientificité et en puissance explicative. Le terme d'empirisme, d'usage récent (on parlait plutôt jusqu'alors des empiriques et, par exemple, de la médecine empirique), souligne cette conquête contre ce qui semble aux yeux de Laplace un résidu de tâtonnement hasardeux progressivement dépassé. C'est en fait un signe profond : l'épistémologie que Laplace promeut et met en œuvre dans ses travaux astronomiques se fonde sur une théorie explicative radicale qui exige la déduction des faits à partir d'un principe mathématisable fondamental. Dans ce cadre, l'observation est à la fois la base historique des découvertes, un outil qui reste indispensable pour certaines connaissances, et ce qu'il faut réduire pour faire place à l'authentique processus de connaissance. C'est pourquoi, pour Laplace, la « pesanteur », ou gravitation, est à la fois un *principe mathématique* permettant des déductions et une *cause universelle* permettant l'explication physique⁷. Tout en se fondant sur une conception nomologique de l'explication (l'explication opérant toujours par déduction des faits à partir de lois du mouvement mathématisées), Laplace renoue avec l'idée de cause, que les newtoniens des Lumières avaient souvent eu tendance à occulter, voire, comme d'Alembert, dont ils se méfiaient.

Pour préciser cette association de la loi et de la cause, il faut en venir à la question des régularités et du hasard. La volonté de dépasser la seule observation et les lois purement descriptives s'explique aussi par la recherche d'une raison profonde aux régularités apparentes, qui permet de les ramener ainsi que les irrégularités apparentes résiduelles à un

6. *Exposition du système du monde*, p. 208-209.

7. Pour une critique de cette conception de la causalité, voir la contribution de Pascal Charbonnat, dans cet ouvrage.

même ordre global. D'où le rôle d'une loi causale fondamentale qui, selon un enchaînement de déductions et de causalités, permet de ramener tous les faits, réguliers ou non dans leur apparence première, à une même régularité profonde, celle de l'application universelle de la gravitation. Une première étape est la justification d'une explication des phénomènes réguliers (dans leur manifestation nomologique) par des causes régulières (une même loi fondamentale pour un ensemble de faits régi par certaines lois descriptives). L'étape suivante est de formuler une hypothèse génétique : non seulement la gravitation rend raison des faits, mais la régularité des mouvements des planètes et des comètes manifestée par le système, c'est-à-dire leur rotation autour d'un même centre selon un axe assez proche, invite à considérer une cause primitive unique. On passe ainsi du mécanisme du système actuel au mécanisme de la formation du système. Laplace emploie alors le calcul des probabilités, sur lequel nous reviendrons, pour établir la très grande probabilité qu'une cause simple ait présidé à cette genèse :

Des phénomènes aussi extraordinaires [les phénomènes astronomiques déduits par la loi gravitationnelle, tels les mouvements des planètes et des comètes] ne sont point dus à des causes irrégulières. En soumettant au calcul leur probabilité, on trouve qu'il y a plus de deux cent mille milliards à parier contre un, qu'ils ne sont point l'effet du hasard ; ce qui forme une probabilité bien supérieure à celle de la plupart des événements historiques dont nous ne doutons point. Nous devons donc croire, au moins avec la même confiance, qu'une cause primitive a dirigé les mouvements planétaires⁸.

Une détermination possible de cette cause unique est donnée à la fin de l'ouvrage avec l'hypothèse dite ensuite de Kant-Laplace⁹. Elle conjecture qu'une nébuleuse primitive, avec en son centre le Soleil, a engendré la formation des mouvements et des astres par le seul jeu de la gravitation.

[1.2.2] *L'Essai philosophique sur les probabilités*

On voit donc que son travail astronomique a conduit Laplace vers la formulation d'un système explicatif et causal complet qui englobe l'ordre actuel

8. *Exposition du système du monde*, p. 449.

9. Indépendamment de Laplace, Kant proposa en 1755 (*Histoire générale de la nature et théorie du ciel ou Essai sur la conception et l'origine mécanique de l'ensemble de l'univers selon les principes de Newton*) une hypothèse analogue sur la formation du système solaire à partir d'une nébuleuse originaire.

et sa genèse. Mais c'est dans son *Essai philosophique sur les probabilités* de 1814 qu'il construit le cadre déterministe à partir de la célèbre fiction de l'intelligence infinie calculant les états du monde, souvent nommée ensuite démon de Laplace. Il faut donc souligner que ce n'est pas contre les probabilités, mais bien au contraire grâce à elles que s'énonce le déterminisme laplacien, ce qui devra être expliqué précisément.

L'*Essai* commence par se placer dans un cadre philosophique apparemment simple, le nécessitarisme absolu. Il s'oppose ainsi tant au finalisme qu'au hasard conçu comme une indépendance absolue. D'une manière classique depuis le XVII^e siècle, le hasard et les causes finales sont rapportées à notre ignorance :

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. Dans l'ignorance des liens qui les unissent au système entier de l'univers, on les a fait dépendre des causes finales, ou du hasard, suivant qu'ils arrivaient et se succédaient avec régularité, ou sans ordre apparent ; mais ces causes imaginaires ont été successivement reculées avec les bornes de nos connaissances, et disparaissent entièrement devant la saine philosophie qui ne voit en elles, que l'expression de l'ignorance où nous sommes des véritables causes¹⁰.

Mais c'est la suite qui révèle l'originalité du texte, cette introduction philosophique étant somme toute assez conventionnelle. Laplace produit alors une fiction théorique permettant de fournir un modèle idéal normant la recherche scientifique :

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

10. *Essai philosophique sur les probabilités*, Courcier, 1814, p. 2 @.

à ramener à des lois générales les phénomènes observés, et à prévoir ceux que les 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 éloigné¹¹.

Ce passage définit les conditions idéales d'un système causal complet vers lequel doit tendre la connaissance scientifique. Car la connaissance humaine peut et doit viser celle de l'intelligence infinie postulée par ce texte, qui, tout en étant inatteignable, définit bien l'horizon normant la recherche scientifique. Comme l'a justement dit Jean Gayon¹², Laplace ne formule pas une intelligence transcendante, mais une « intelligence humaine hyperbolique » variant quantitativement et non qualitativement par rapport à celle de l'homme réel. Cette intelligence est supérieure et non transcendante : c'est l'idéal produit par un passage à l'infini à partir de la réussite astronomique, idéal qui en retour trace la voie et replace toute connaissance comme une étape sur ce chemin. Gayon souligne aussi que le cadre de cette intelligence est celui du physicien de l'époque de Laplace, en particulier déterminé par l'analyse mathématique et le calcul dans le temps. Même dans un livre où Laplace s'efforce d'éviter le langage mathématique pour des raisons pédagogiques (*l'Essai s'adressant à un large public*), l'analyse mathématique est essentielle. Indépendamment des problèmes techniques particuliers, comme celui des trois corps, l'analyse est nécessaire en tant que cadre théorique : elle conditionne la possibilité de réduire les états, quels que soient leur temporalité, à des expressions de fonctions, elles-mêmes ramenées à l'application du principe central qu'est la gravitation. C'est donc un *déterminisme analytique* que construit Laplace, ce qu'il ne faut pas oublier lorsqu'on parle pour d'autres questions de « déterminisme laplacien » : l'expression n'a pas grand sens en l'absence d'un modèle mathématique précis pour intégrer les variables dans des fonctions et les fonctions dans un système fondamental.

Pour saisir toute la portée et la complexité de ce texte célèbre, il est essentiel de le replacer dans le contexte de l'ensemble de l'ouvrage, sans oublier qu'il s'intègre à la préface d'un essai sur les probabilités. On l'a dit, le déterminisme laplacien s'engage dans une problématique de l'ordre, au

11. *Ibid.*, p. 2-3.

12. « Déterminisme génétique, déterminisme bernardien, déterminisme laplacien », in *Le Hasard au cœur de la cellule*, op. cit. @, p. 123.

sens où il s'agit d'interpréter des régularités ou de trouver un ordre derrière d'apparentes irrégularités. Mais le rejet du hasard et la visée de certitude n'impliquent aucunement l'exclusion du probable. Bien au contraire, c'est d'une manière tout à fait cohérente que Laplace expose ce cadre déterministe dans un cadre probabiliste, ce qui invite à corriger certains schémas un peu rapides opposant déterminisme classique et probabilités.

On peut relever trois rôles essentiels des probabilités. Premièrement, les probabilités permettent de dépasser les limites relatives à nos moyens de connaissance. Car, si Laplace a commencé par renvoyer le hasard à l'ignorance, il ne s'arrête pas là et cherche surtout à estimer le degré d'approximation de nos connaissances, en particulier les marges d'erreur des observations astronomiques. C'est d'ailleurs l'une des premières applications physiques des probabilités que Laplace a développée¹³. C'est une démarche innovante, tant sur le plan mécanique que philosophique ; un mécanicien comme d'Alembert, que Laplace admire pourtant et dont il prolonge les travaux d'unification de la dynamique, se méfiant des probabilités et refusant leur application à la mécanique céleste.

Deuxièmement, les probabilités permettent de théoriser et d'évaluer l'incertitude. C'est la suite logique de l'idée précédente, mais elle a une implication propre qui mérite d'être relevée : une probabilité étant une estimation, et non plus la simple reconnaissance d'une ignorance ou d'un doute, une théorisation probabiliste transforme l'opposition binaire entre certitude et non-certitude en une suite de degrés. Tout en reconnaissant les limites de notre connaissance, Laplace peut ainsi évacuer tout recours à des explications non mécaniques comme le hasard et la finalité. Si l'entrée en matière philosophique de l'*Essai*, qui abordait ces questions, est peu originale et a finalement peu d'importance, c'est bien parce que Laplace modifie profondément le problème. Face à une question sur laquelle l'incertitude est manifeste, voire permanente, on peut et doit estimer la probabilité des hypothèses sans jamais pouvoir s'arrêter à l'affirmation d'un hasard.

13. Voir notamment le « Mémoire sur la probabilité des causes par les événements » @, publié dans les *Mémoires de mathématique et de physique, présentés à l'Académie royale des sciences par divers sçavans, et lus dans ses assemblées* (t. VI, 1774). Le *Système du monde* développe ce procédé.