

Le Chaos - Débat

Interventions de Jean Bricmont (p. 1),
d'Hervé Zwirn (p. 2),
de Michel Bitbol (p. 3),
de Bernard d'Espagnat (p. 5),
de Jean Staune (p. 5)
et de François Lurçat (p. 6).

Jean Bricmont

J'ai deux objections à formuler. L'une est de type conceptuel et concerne ce qu'il y a de réellement nouveau dans la théorie du chaos. L'autre est de type historique et a trait à la lecture de Laplace. J'ai rencontré relativement souvent cette lecture de Laplace. Pourtant, en lisant ses écrits, je n'en ai pas du tout la même interprétation. Concernant l'aspect conceptuel, l'essentiel aurait peut-être été d'indiquer clairement, à un moment de votre exposé, la distinction existant entre déterminisme et prévisibilité. Le déterminisme est ce que la nature fait d'une certaine façon et la prévisibilité, c'est ce que nous, êtres humains, sommes capables de faire dans des circonstances particulières. Et je pense que cette distinction était claire aux yeux de Laplace. Sa vision du déterminisme était basée sur des considérations métaphysiques, mais j'ai du mal à croire que lui ou d'autres aient douté du fait que certains phénomènes échappent à la prévisibilité (humaine). Et je n'arrive pas à voir dans le chaos ce qu'il y a de neuf philosophiquement parlant par rapport à cela.

Il y a beaucoup de nouveauté dans le sens où les gens pensaient pouvoir prévoir, par exemple, les phénomènes météorologiques à plusieurs semaines de distance, et qu'ils se sont rendus compte que cela était impossible, mais ça, ce n'est que l'aspect pratique de la théorie du chaos. Je ne vois pas de nouveauté philosophique radicale. Prenons l'exemple d'un pendule. Qu'y a-t-il de plus déterministe qu'un pendule ? Pourtant un pendule est imprévisible. Cela vient du fait que les périodes d'oscillation d'un vrai pendule (c'est-à-dire anharmonique) dépendent de l'amplitude. Et l'amplitude dépend des conditions initiales, en général. Une toute petite erreur sur les conditions initiales, aussi infime soit-elle — à condition que cela change l'amplitude initiale — va engendrer deux mouvements qui seront déphasés après un certain temps. D'un point de vue pratique, d'un point de vue humain, le pendule est imprévisible. Vous faites une petite erreur et vous avez un déphasage après un certain temps. Et ce temps-là est beaucoup plus court que les centaines de millions d'années qu'il faut pour avoir une imprévisibilité pratique dans le système solaire, qui, lui, est chaotique.

Hervé Zwirn

Je voudrais intervenir tout d'abord sur ce qui a été dit à propos de la nouveauté philosophique apportée par l'étude de ce qu'on appelle « le chaos déterministe ». Certes, comme l'a dit Jean Bricmont, même du temps de Laplace, personne ne croyait qu'il était (ou qu'il serait) réellement possible à l'homme de prédire le comportement à long terme de systèmes déterministes très complexes. En ce sens, je suis d'accord avec lui sur le fait que la distinction entre prédictibilité et déterminisme n'est pas totalement nouvelle. Mais, dans les systèmes à un grand nombre de degrés de liberté, comme ceux étudiés en mécanique des fluides, l'imprédictibilité du comportement n'est nullement étonnante. Elle résulte intuitivement du fait qu'on ne sait pas, sur un plan pratique, traiter simultanément les interactions entre de trop nombreux constituants, sous systèmes ou degrés de liberté. L'imprédictibilité résulte ainsi naturellement de la complexité du système. C'est pour cela que l'exemple de la mécanique des fluides ne me semble pas le plus approprié pour montrer la nouveauté qu'introduit l'étude du chaos déterministe.

Cette nouveauté réside dans le fait que même des systèmes très simples peuvent avoir un comportement chaotique non prévisible. Contrairement à ce qui semblait jusque-là une évidence, un comportement compliqué ne résulte pas forcément d'un système compliqué. Les travaux de Poincaré portent sur le problème de trois corps en interaction gravitationnelle. Il a montré qu'un tel système (par exemple, celui composé du Soleil, de Jupiter et de Saturne) avait en général un comportement chaotique. Dans le problème des trois corps, l'on est face à un système à 9 degrés de liberté. On a montré plus tard que 3 degrés suffisent. Il s'agit donc de systèmes extrêmement simples.

Par ailleurs, il faut être plus précis sur ce qu'on entend par comportement chaotique. Un tel comportement est caractérisé par le fait que deux exemplaires identiques du système, placés dans des situations initiales aussi proches qu'on veut, finiront par avoir une évolution totalement différente. L'imprédictibilité ne résulte donc pas de notre impossibilité à traiter simultanément d'un trop grand nombre de paramètres, mais elle provient du fait que, quelle que soit la précision avec laquelle on se donne les conditions initiales du système, celle-ci est insuffisante pour nous permettre de calculer l'évolution précise à plus ou moins long terme. C'est ce qu'on appelle la sensibilité aux conditions initiales. C'est le fait que des systèmes simples puissent être sujets à une telle sensibilité qui me semble être la nouveauté radicale qu'a apportée l'étude du chaos déterministe.

Ma seconde remarque est que l'exemple pris par Jean Bricmont, le pendule simple, n'est pas un système chaotique. Bien sûr, une incertitude initiale sur la position ou la vitesse nous empêchera de prédire la position ultérieure du pendule. Mais l'erreur de départ ne s'amplifie pas de manière exponentielle comme dans les systèmes chaotiques. Il en résulte que si on se donne une marge d'incertitude sur les conditions initiales, on peut caractériser la famille des comportements (tous périodiques) susceptibles de se produire. Il en va autrement dans les systèmes chaotiques dont un bon exemple me semble être les balanciers

aimantés que certains aiment placer sur leur bureau en guise de mobile décoratif et qui défient toute tentative de prédire leur comportement au-delà de quelques dizaines de secondes.

Enfin, pour terminer, je voudrais dire que je ne partage pas l'hostilité de François Lurçat au sujet de l'effet papillon. Savoir si les termes qu'emploient les mathématiciens ou les physiciens sont appropriés est un débat récurrent, mais je ne le trouve pas si important. En revanche, l'effet papillon correctement présenté me semble de nature à donner une bonne idée du phénomène de sensibilité aux conditions initiales. Le danger est de l'interpréter comme le fait que c'est le courant d'air causé par le battement des ailes du papillon qui est amplifié au point de se transformer en tempête ! Une présentation à l'envers serait peut-être meilleure : elle consiste à dire que le battement des ailes du papillon a engendré une modification des conditions initiales telle que, là où devait se produire une tempête, il a régné un temps clément. L'image perd une partie de sa force suggestive, mais elle ne risque plus d'être interprétée à contresens.

Michel Bitbol

Je voudrais aborder un aspect proprement philosophique de votre intervention. Vous avez indiqué à deux reprises qu'un grand nombre de physiciens considèrent le déterminisme comme une condition de possibilité de la science. À l'appui de votre affirmation, je citerai comme exemple un texte de Paul Langevin sur la théorie quantique, daté de 1939, et récemment republié dans *La Recherche* : "Je suis convaincu qu'en renonçant à la conception déterministe, écrit Langevin, nous priverions la science de son ressort essentiel, de ce qui a fait jusqu'ici sa force et son succès, la confiance dans l'intelligibilité du monde. Rien dans les difficultés actuelles ne justifie ou n'impose un changement d'attitude qui équivaldrait, selon moi, à une abdication". Le fait que cette opinion ait été largement partagée (et le soit encore de nos jours) ne dispense cependant pas de s'interroger sur son bien-fondé et sur ses origines. Dans quelle mesure le déterminisme est-il une condition de possibilité de la science ? Quelle signification faut-il accorder aux connotations kantienne de cette idée ? Et tout d'abord, Kant peut-il vraiment être considéré comme l'un de ses premiers défenseurs ?

Il me semble pour ma part que, loin d'être liée à une lecture rigide du déterminisme comme "condition de possibilité de la science", la philosophie de Kant est suffisamment générale pour prendre en charge des écarts notables vis-à-vis d'un lien strictement déterminant entre phénomènes. Mais cela n'a rien d'évident, et il faut donc que je justifie cette affirmation.

Après tout, de nombreux passages de la *Critique de la raison pure* semblent pouvoir être cités à l'appui de la thèse du déterminisme comme condition de possibilité de la connaissance objective, comme, par exemple, celui-ci (A228-B280) : "(...) le principe « rien n'arrive par un hasard aveugle » (...) est une loi *a priori* de la nature". Si l'on considère qu'un lien seulement probabiliste entre antécédents et conséquents relève du « hasard aveugle », on est tenté d'inférer de

cela que, selon Kant, c'est seulement moyennant l'établissement d'une loi déterministe qu'il peut être question d'une *nature* à connaître, et que par conséquent le déterminisme est bien une condition de possibilité de la connaissance de la nature.

Gordon Brittan et quelques autres commentateurs de Kant ont cependant mis en garde contre cette assimilation, et contre la conclusion hâtive qui s'ensuit. Selon eux, la proposition "tout ce qui arrive est hypothétiquement nécessaire", par laquelle Kant résume le principe de causalité, est assez large pour s'accommoder d'un lien seulement probabiliste. Le « hasard aveugle » qu'exclut Kant n'équivaut pas au simple fait de l'intervention de probabilités inférieures à Un, mais à l'absence de toute possibilité de relier les événements successifs par une *règle*, celle-ci ne concernerait-elle que les probabilités. La possibilité de lois portant immédiatement sur les probabilités plutôt qu'immédiatement sur les événements n'était d'ailleurs pas complètement étrangère à Kant. Plusieurs textes en témoignent. On trouve ainsi, dans *l'Idée d'une histoire universelle au point de vue cosmopolitique*, une référence aux « lois naturelles constantes » qui gouvernent le nombre de mariages ou les variations atmosphériques, alors même que mariages et variations atmosphériques sont individuellement imprévisibles. On trouve également, dans les *Prolégomènes à toute métaphysique future*, une remarque selon laquelle le calcul des probabilités contient des jugements « (...) tout à fait certain sur le degré de possibilité de certains cas sous des conditions identiques données, lesquels, dans la somme de tous les cas possibles, ne peuvent manquer de se produire selon la *règle*, bien que celle-ci ne soit pas suffisamment déterminée vis-à-vis de chaque événement singulier ». Il semble donc bien que la *règle* requise par le principe kantien de causalité puisse porter sur les rapports de successions de collectifs et non pas obligatoirement sur des individus.

Il y a d'autres raisons, encore plus spécifiques, qui me portent à croire que Kant aurait pu (plus facilement que les physiciens auxquels vous pensez) intégrer les processus chaotiques dans son système philosophique.

La première est que, comme d'autres principes de l'entendement pur, le principe de causalité opère comme un critère pour trier, dans la variation des phénomènes, entre ce qui est attribuable à la nécessité d'un processus objectif, et ce qui ne peut être attribué qu'à la contingence d'une position subjective. Il est avant tout une directive (un « principe régulateur », dit Kant) de la recherche au moyen duquel on parvient à identifier, au sein de ce qui arrive, une succession objective. Le principe kantien de causalité fonctionne en bref comme une injonction adressée au chercheur de se laisser guider par lui dans son investigation plutôt que comme un cadre rigide auquel doivent d'emblée se conformer les phénomènes. Rien n'empêche dans ces conditions d'appliquer le principe de causalité aux processus chaotiques. Il suffit pour cela de le faire fonctionner comme une directive demandant à l'expérimentateur d'aller de plus en plus loin dans l'amélioration de la précision avec laquelle il connaît les conditions initiales, de façon à reculer indéfiniment le temps de divergence exponentielle du devenir du système.

La deuxième raison qui me porte à croire que Kant n'aurait pas eu beaucoup de mal à rendre raison des phénomènes chaotiques est que, dans le cas du chaos déterministe, on peut toujours reconduire *rétrospectivement* un événement qui s'est produit au temps t à un événement extrêmement précis qui se serait déroulé au temps 0 , en reliant ces deux événements (toujours rétrospectivement) par une loi exacte. L'essentiel est pour Kant que les événements soient reliables (fût-ce *a posteriori*) par une règle, et non pas que cette règle permette dans tous les cas de les prédire.

La conclusion que je tire de tout cela est qu'il y a eu un excès de rigidité dans l'application qu'a voulu faire du principe kantien de causalité bon nombre de physiciens, lorsqu'ils ont posé que le déterminisme était une condition de possibilité de la science. Comme il arrive souvent dans l'histoire de la pensée, le créateur d'une lignée philosophique a été caricaturé par ses épigones.

Bernard d'Espagnat

Je me demande pourquoi les gens qui parlent du chaos, non seulement notre ami Lurçat mais tout le monde, ne font pas le lien entre ce travail de Poincaré, qui a introduit cette notion, et la philosophie générale de Poincaré. C'est-à-dire le conventionnalisme. Moi, il me semble que ce lien s'impose plus ou moins. Nous savons tous qu'il y a deux espèces d'objectivité (forte et faible). Il y a l'objectivité du réaliste qui dit « l'énoncé est objectif s'il décrit les choses telles qu'elles sont » et l'objectivité de quelqu'un qui est plus prudent et qui dit : « un énoncé est objectif si ce qu'il prédit est valable pour n'importe qui ». Et il est clair que Poincaré adopte ce second point de vue. Il dit « les objets eux-mêmes nous serons éternellement cachés etc... ». Donc pour lui, c'est l'objectivité faible qui compte, c'est la seule qui ait un sens et pour cette raison, il est tout naturel de sa part d'introduire cette notion de prévisibilité et d'en faire quelque chose d'essentiel. C'est-à-dire que, pour lui, toujours, pour qu'il y ait déterminisme, il faut qu'il y ait prévisibilité. S'il n'y a pas de prévisibilité, il n'y a pas de déterminisme ou le mot déterminisme n'a plus de sens. Je pense que ce lien entre les travaux scientifiques et philosophiques de Poincaré mériterait d'être approfondi.

Je me pose aussi une autre question qui est : pourquoi attacher tant d'importance à ce déterminisme de Poincaré, cette limite du déterminisme introduite par Poincaré, alors que nous avons maintenant, avec la mécanique quantique, quelque chose qui introduit un indéterminisme qui paraît beaucoup plus fort, car il est très difficile, comme nous le savons tous, de le contourner ?

Jean Staune

Il y avait, dans l'exposé de François Lurçat, des citations très fortes que j'ai découvertes concernant une « religion newtonienne » ou une « politique newtonienne ». Et ce sont effectivement ces implications non seulement philosophiques mais également sociologiques voire métaphysiques que la science

peut avoir qui sont, je crois, au cœur de ce groupe et qui en font son originalité. Pour apporter une toute petite pierre, selon mon domaine, concernant les questions de management, il est clair, et de nombreux spécialistes d'organisation d'entreprise l'ont bien montré, qu'il existait un lien évident entre la physique de Laplace et le système taylorien. C'est-à-dire que le système d'organisation des entreprises tayloriennes n'aurait pas pu être pensé ou conçu sans la physique de Laplace. Et je crois que c'est très important de voir le parallèle entre d'un côté des lois et des particules élémentaires et de l'autre, des hommes et des procédures. Ceci est un autre exemple des implications sociétales de ce qu'a pu être une certaine vision classique du monde et aussi de ce que la remise en cause de cette vision classique peut apporter à la société. En détruisant cette analogie, on peut justifier d'autres façons de fonctionner.

François Lurçat

Il est évidemment impossible de répondre à toutes ces interventions non seulement tellement variées mais également tellement détaillées. Je dois même dire, sans que cela comporte la moindre critique, qu'en préparant cet exposé, je m'étais placé du point de vue suivant: je ne voulais pas séparer la question scientifique du chaos qui est une question qui a des faces extrêmement diverses (si bien qu'à tout énoncé un peu général on peut opposer un contre-exemple), de la question de la compréhension du chaos et cette compréhension m'intéressait à la fois du point de vue des spécialistes qui essayent de comprendre ce qu'ils font, ce que l'on appelle philosophie des sciences, épistémologie, etc, et du point de vue de l'étude sur les mentalités. C'est la raison pour laquelle j'ai voulu parler de l'effet sur les mentalités de la mécanique newtonienne et du fait que le système newtonien était considéré comme le meilleur système de gouvernement par Desaguliers. Voilà ce qui me distingue peut-être de la plupart des intervenants, car ils étaient, pour la majorité d'entre eux, des gens qui ont des préoccupations scientifiques bien précises, dont je ne conteste bien entendu pas la légitimité, mais ce que j'ai essayé d'avancer, de commencer, c'est-à-dire un examen de cette galaxie de théories scientifiques en tant que pouvant avoir et ayant un effet sur les mentalités, sur l'interprétation générale du monde, ça, ça n'a pas été retenu. C'est probablement ce qui explique aussi qu'il y avait des remarques de détail que je n'ai pas le temps de reprendre, que j'aurais pu mieux éclairer en prenant d'autres exemples, etc... Je regrette que l'on n'ait pas amené la discussion aussi sur ce thème-là.