

Le hasard, la pensée magique et la science

Bernard Fernandez

*S'il n'y a là aucun sens, cela nous épargne
[une foule d'ennuis, vous savez ;
car il est inutile d'en chercher l'explication.*

Lewis Carroll, *Alice au pays des merveilles*.

Bernard Fernandez, ancien ingénieur au Commissariat à l'énergie atomique, a publié *De l'atome au noyau, une approche historique de la physique atomique et de la physique nucléaire*, éd. Ellipse Marketing, Paris, 2006.

De tout temps l'homme a cherché à interpréter le monde. L'objet de la science est de découvrir l'enchaînement de causes et d'effets qui produisent tous les phénomènes de la nature. Si la science peut ainsi « expliquer » un phénomène, elle peut prédire l'évolution d'un système. Il y a plus de 4 000 ans les astronomes chinois, chaldéens et égyptiens avaient observé les régularités du mouvement des astres et en avaient tiré des règles empiriques leur permettant de prédire le mouvement des planètes et même les éclipses. Pour la science, une cause produit toujours le même effet et il n'y a pas d'effet sans cause. C'est ce qu'on a nommé le *déterminisme*.

« **CE N'EST PAS PAR HASARD SI...** »

L'anthropologue britannique Mary Douglas (1921-2007) donne l'exemple des Azandé, une population d'Afrique centrale étudiée par

E. E. Evans-Pritchard à la fin des années 1920 : « Qu'un vieux grenier branlant s'effondre, tuant la personne assise à l'ombre de ses murs, et l'on attribue ce phénomène à la sorcellerie. Les Azandé reconnaissent volontiers que c'est dans la nature des vieux greniers branlants de s'effondrer et qu'une personne qui se tient pendant plusieurs heures, jour après jour, au pied de ses murs, risque d'être écrasée. Cette règle générale est l'évidence même, et l'évidence n'est pas, aux yeux des Azandé, un domaine intéressant pour la spéculation. Ce qui les intéresse, c'est qu'un événement unique ait lieu au moment précis où se rencontrent deux séquences d'événements indépendants. [...] La question qui les passionne est donc la suivante : pourquoi le grenier s'est-il écroulé au moment précis où un tel s'y adossait et personne d'autre ? [...]. Pourquoi cela lui est-il arrivé, à lui ? [...] À qui la faute¹ ? »

¹ Mary Douglas, *De la souillure*, François Maspéro, 1971 ; La Découverte/Poche, 2001.

L'exemple des Azandé avait attiré l'attention de Claude Lévi-Strauss, qui voyait là un exemple typique de ce qu'il appela *la pensée sauvage*, prenant ici la forme d'une *pensée magique*. On peut voir l'intervention de la sorcellerie comme une façon de sauver le déterminisme. Une cause première, due à l'influence de forces invisibles et *surnaturelles*, est le point de départ d'une suite d'effets et de nouvelles causes : « La pensée magique [...] se distingue moins de la science par l'ignorance ou le dédain du déterminisme, que par une exigence de déterminisme plus impérieuse et plus intransigeante² ».

Ce déterminisme total de la pensée magique implique aussi que l'avenir est tout entier déterminé par le passé. De fait, les arts divinatoires ont existé de tout temps dans toutes les cultures, y compris dans la nôtre aujourd'hui. La pensée magique est universelle. La tragédie grecque antique montre des hommes aux prises avec un destin voulu par les dieux et auquel ils tentent, toujours vainement, d'échapper. Sénèque, pour sa part, écrit en 65 après J.-C. : « Nos destins nous mènent, et la première heure de notre naissance a réglé tout le temps qui nous reste à vivre. Une cause dépend d'une autre cause ; un ordre de choses éternel détermine la vie privée et la vie publique. [...] car tout arrive, non pas comme on croit, par hasard, mais à son heure³ ».

Aucun homme ne peut échapper à son destin, *c'était écrit, mektoub* : l'idée appartient à toutes les cultures. C'est ce que Claude Lévi-Strauss souligne dans son *Introduction à l'œuvre de Marcel Mauss* : « Les conceptions du type *mana* [magique] sont si fréquentes et si répandues qu'il convient

Daniel Kahneman et les deux systèmes de la pensée

La « forme de pensée universelle et permanente » évoquée par Claude Lévi-Strauss ressemble beaucoup à ce que le psychologue américain Daniel Kahneman a appelé le *Système 1* du fonctionnement de notre cerveau, par opposition au *Système 2*. À l'aide de très nombreuses expériences réalisées au cours de sa carrière par lui-même et beaucoup d'autres, il a montré, en collaboration avec Amos Tversky, que notre pensée fonctionne selon deux modes⁵. Le premier est automatique, rapide, intuitif, émotionnel alors que le second est plus lent, plus critique, et prend en compte des situations plus complexes, mais il est souvent paresseux et il ne remet pas en question l'analyse du *Système 1*. C'est le *Système 1* qui nous fait reconnaître quelqu'un d'un coup d'œil, qui fait que nous le trouvons sympathique ou antipathique quand nous le voyons pour la première fois. C'est aussi lui qui nous fait reconnaître une structure, un visage dans un nuage ou dans la lune ou « voir » le sourire d'un *emoticon*. C'est encore lui qui permet à un animal de détecter dans son environnement les signes de l'approche d'un prédateur et de décider sans délai de prendre la fuite. Dans son fonctionnement routinier notre cerveau est un déchiffreur de signes. Mais c'est aussi, pour Kahneman, une machine à tirer des conclusions hâtives car fondées sur les seules données immédiatement disponibles, même si elles sont fragmentaires ou incomplètes.

de se demander si nous ne sommes pas en présence d'une forme de pensée universelle et permanente, qui, loin de caractériser certaines civilisations, ou prétendus *stades* archaïques ou mi-archaïques de l'évolution de l'esprit humain, serait fonction d'une certaine situation de l'esprit en présence des choses, devant donc apparaître chaque fois que cette situation est donnée⁴ ».

ÉPICURE ET LE CLINAMEN

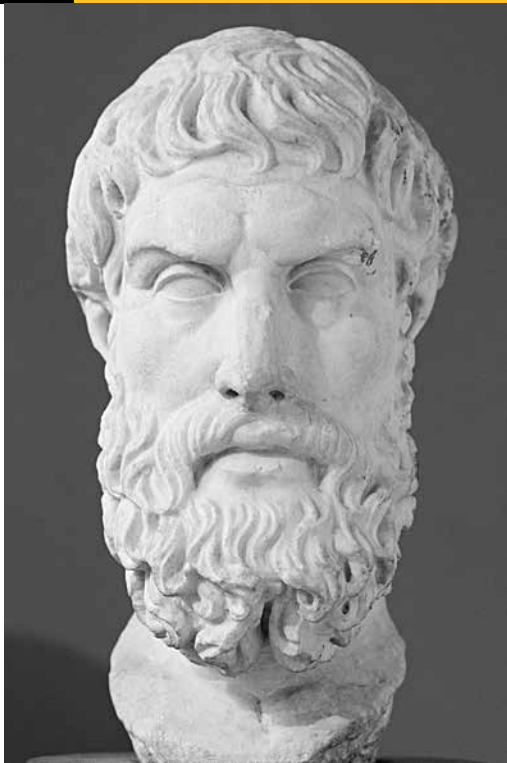
Quelque 300 ans avant J.-C., Épicure fut l'un des premiers à prendre le contrepied de la pensée magique. Ses

² Claude Lévi-Strauss, *La pensée sauvage*, Plon, 1962 ; édition Pocket (1990), p. 24.

³ Sénèque, *De la providence*, 5,7. Dans *Les Stoïciens*, La Pléiade, p. 769.

⁴ Marcel Mauss, *Sociologie et anthropologie*, précédé d'une introduction à l'œuvre de Marcel Mauss, par Claude Lévi-Strauss, PUF, 1950.

⁵ Daniel Kahneman, *Système 1, système 2, les deux vitesses de la pensée*, Flammarion, 2012.



BRITISH MUSEUM, LONDRES

Portrait d'Épicure.
Copie romaine d'un original hellénistique (fin III^e siècle-début II^e siècle).

⁶ Épicure, *Lettre à Hérodote*, 81. Dans *Lettres, maximes et autres textes*, traduction et présentation par Pierre-Marie Morel, Flammarion 2011.

⁷ Lucrèce, *De Rerum Natura*, II, 220.

Traduction d'Alfred Ernout, Les Belles Lettres collection « Budé », 1962.

⁸ Giovanni Villani, *Nuova cronica*, XII, Éditions Ugo Guanda, 1991 [1333]. Merci à Florence Bistagne pour cette traduction de l'italien ancien.

écrits sont en grande partie perdus mais ses idées sur la science ont été reprises et exposées par Lucrèce dans son *De Rerum Natura*. Le premier principe est, selon Épicure, que les dieux ne s'occupent pas des affaires humaines : « Le principal trouble que connaissent les âmes humaines tient à ce qu'elles jugent que ces êtres [les dieux] sont à la fois bienheureux et incorruptibles et qu'ils ont en même temps des volontés, des actions et des responsabilités, ce qui est en contradiction avec ces attributs⁶ ».

Épicure refuse ainsi tout appel à une intention, il récuse la téléologie, le destin écrit d'avance. Comme Démocrite, il considère que le monde est constitué d'atomes et de vide et que les atomes s'agrègent pour former tous les corps. Mais il ajoute un point essentiel, exprimé par la notion de *clinamen* (inclinaison, déviation),

que Lucrèce explique ainsi : « Dans la chute en ligne droite qui emporte les atomes à travers le vide, en vertu de leur poids propre, ceux-ci, à un moment indéterminé, en un endroit indéterminé, s'écartent tant soit peu de la verticale, juste assez pour qu'on puisse dire que leur mouvement se trouve modifié. Sans cette déviation, tous, comme des gouttes de pluie, tomberaient de haut en bas à travers les profondeurs du vide ; entre eux nulle collision n'aurait pu naître, nul choc se produire ; et jamais la nature n'eût rien créé⁷ ». Une déviation qui se produit dans une direction *indéterminée* en un endroit *indéterminé*, c'est-à-dire *au hasard*. La formation d'une substance nouvelle par la rencontre de deux atomes n'est pas due à une volonté, une intention surnaturelle, mais au hasard. C'est la première pierre de la science moderne.

LA SCIENCE DÉTERMINISTE

Le *clinamen*, c'est-à-dire le fruit du hasard, a été critiqué et rejeté par beaucoup, à commencer par les stoïciens et plus tard par les chrétiens. Pendant tout le Moyen Âge une catastrophe naturelle était interprétée comme un signe de la colère divine.

Lorsqu'une crue de l'Arno provoque une inondation qui ravage Florence en 1333, le jour de la Toussaint, Robert Le Sage, roi de Naples, écrit aux habitants : « J'ai appris avec toute la tristesse de mon cœur et avec toute la compassion de mon âme le regrettable malheur et le très triste événement, [...] et ces malheurs il ne nous convient pas de [...] vous les imputer [car] ces choses arrivent par le fait du hasard. Il ne convient pas

non plus que moi, qui dois observer la vérité par ma condition royale, je sois un ami flatteur ni que je discute la justice de Dieu en disant que vous êtes innocents⁸. »

En 1710 Leibniz soutient encore qu'il n'y a pas de hasard : « Tous les sages conviennent que le hasard n'est qu'une chose apparente, comme la fortune : c'est l'ignorance des causes qui le fait ». Et il critique Épicure : « Cette déclinaison avait une cause finale dans l'esprit d'Épicure, son but étant de nous exempter du destin ; mais elle n'en peut avoir d'efficente dans la nature des choses, c'est une chimère des plus impossibles⁹ ».

Mais quand Lisbonne est dévastée en 1755 par un terrible tremblement de terre suivi d'un énorme raz-de-marée, Voltaire s'insurge contre l'idée qu'il s'agisse d'une manifestation de la colère divine. Et dans son roman *Jacques le Fataliste* Diderot se moque du « grand rouleau » sur lequel tout serait écrit.

En 1623 Galilée avait franchi un pas décisif en écrivant à propos d'une controverse sur la nature de trois comètes apparues cette année-là : « La philosophie est écrite dans cet immense livre qui se tient toujours ouvert devant nos yeux, je veux dire l'univers, mais on ne peut le comprendre si l'on ne s'applique d'abord à en comprendre la langue et à connaître les caractères dans lesquels il est écrit. Il est écrit en langue mathématique et ses caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot¹⁰ ». Galilée ouvrait ainsi la voie au calcul quantitatif en astronomie et en physique en général. Il devenait pos-

sible de comparer des observations expérimentales à des prédictions théoriques.

À la fin du XVII^e siècle, avec la gravitation universelle et les équations mathématiques qui régissent le mouvement de tous les corps, à commencer par les planètes et les étoiles, Newton apporte une confirmation éclatante à cette vision du monde. Un siècle plus tard, Laplace affirme : « 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 [est] connu sous le nom de *principe de la raison suffisante*. La volonté la plus libre ne peut sans un motif déterminant leur donner naissance ; car si, toutes les circonstances de deux positions étant exactement semblables, elle agissait dans l'une et s'abstenait d'agir dans l'autre, son choix serait en effet sans cause : elle serait alors, dit Leibniz, le hasard aveugle des Épicuriens. [...] 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 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 intelligence¹¹ ».

⁹ Leibniz, *Théodicée*, 303-304.

¹⁰ Galileo Galilei, *Il saggliatore*, 1923, traduction de Christiane Chauviré, Les Belles Lettres, 1979.

¹¹ Pierre-Simon Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités*, Christian Bourgois, 1986, p. 32.

LE HASARD

Mais qu'est-ce que le hasard ? Le mot trouve son origine dans le jeu de dés : le mot arabe *az-zahr* signifie *dé*. La théorie des probabilités a été fondée par Pascal en 1654, pour résoudre le *problème des partis*¹², un problème relatif aux jeux de hasard, sans solution depuis la fin du xv^e siècle. Formellement, le hasard des jeux de dés ou de cartes ne contredit pas le déterminisme. Hume écrit en 1748, dans le sillage de Leibniz : « Bien qu'il n'y ait dans le monde rien qui ressemble au *hasard*, notre ignorance de la cause réelle d'un événement a la même influence sur l'entendement et elle engendre la même sorte de croyance ou d'opinion¹³ ». Et en 1825 Laplace ne dit pas autre chose : « Tous les événements, ceux mêmes 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 causes¹⁴ ». Il considère que dans le jeu de pile ou face, par exemple, le hasard ne fait que refléter notre ignorance des conditions précises du lancer (la vitesse, la hauteur, l'inclinaison, l'effet,...). Mais le mouvement de la pièce obéit aux lois de la mécanique, parfaitement déterministes.

C'est au milieu du XIX^e siècle que le mathématicien français Antoine Cournot donne une nouvelle définition du hasard, qui n'est plus le simple reflet de notre ignorance : « Les événements amenés par la combinaison ou la rencontre de phénomènes qui appartiennent à des séries indépendantes, dans l'ordre de la causalité, sont ce qu'on nomme des événements fortuits ou des résultats du hasard¹⁵ ». C'est précisément le cas du grenier qui s'effondre, cité plus haut. Une connaissance très précise du déroulement de l'événement ne changerait rien. La définition de Cournot revient à dire que la survenue d'un tel événement *n'a pas de signification*, qu'il n'y a pas là d'*intention* particulière à rechercher.

LA THÉORIE CINÉTIQUE DES GAZ ET LA PHYSIQUE STATISTIQUE

Une évolution majeure de la physique se produit dans la seconde moitié du XIX^e siècle : la structure atomique de la matière s'impose progressivement et donne naissance à la *théorie cinétique des gaz*.

En 1738 Daniel Bernoulli avait décrit les gaz comme des molécules ayant des mouvements désordonnés, la pression observée étant le résultat de leur tambourinement contre les parois du récipient qui le contient. Cette *théorie cinétique des gaz* fut reprise à partir de 1850 notamment par Rudolf Clausius, James Clerk Maxwell et Ludwig Boltzmann, qui ont formalisé son expression mathématique. La théorie, appelée maintenant la *physique statistique*, obtint de grands succès mais souleva aussi maintes polémiques *car elle montre que les principes de la*

¹² « Partis » et non « Parties » car il s'agit d'un problème de « partage » équitable lors d'un jeu de hasard interrompu.

¹³ David Hume, *Enquête sur l'entendement humain*, Flammarion, 2008, p. 121.

¹⁴ Pierre-Simon Laplace, *op. cit.* p. 32.

¹⁵ Antoine Cournot, *Exposition de la théorie des chances et des probabilités*, Librairie Hachette, 1843.

thermodynamique ne sont pas des lois absolues mais des lois fondées sur des probabilités. Ainsi selon le second principe, un corps chaud au contact d'un corps froid se refroidit *toujours* tandis que le corps froid se réchauffe. Mais pour la théorie statistique c'est simplement très probable, la probabilité du contraire étant extraordinairement faible. N'empêche, cela gênait de nombreux physiciens et chimistes, parmi lesquels un certain Max Planck... Il faut ajouter qu'il n'existait pas de consensus général sur l'existence même des atomes. Les attaques contre la théorie statistique prirent une telle ampleur qu'elles jouèrent sûrement un rôle dans le suicide de Boltzmann en 1906.

LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION DE CHARLES DARWIN

Dans le même temps, et dans un domaine bien différent, Charles Darwin s'intéresse à l'évolution des espèces. Jean-Baptiste Lamarck en avait proposé une théorie au début du XIX^e siècle, en imaginant un mécanisme selon lequel c'était la fonction, ou le besoin, qui créait l'organe, les transformations ainsi provoquées se transmettant à la descendance. Or c'est précisément à ce mécanisme de transformation que Charles Darwin ne peut pas croire. Comment l'effet peut-il précéder la cause ? De plus la théorie de Lamarck n'est pas vérifiée par ses nombreuses observations... Darwin imagine alors un mécanisme tout à fait différent : il a observé que des variations se produisent dans toutes les espèces de façon aléatoire et que les éleveurs de bovins ou de chevaux font une *sélection artificielle* en choisissant les vaches qui produisent



© KAIHSUTAI

le plus de lait, par exemple, ou les chevaux qui courent le plus vite. Il imagine alors qu'il existe une *sélection naturelle* due aux contraintes de l'environnement qui favorisent certaines variations plutôt que d'autres. *L'Origine des espèces* paraît en 1859. C'est le cas presque unique d'une théorie scientifique universellement admise mais encore combattue, 150 ans plus tard, de façon vigoureuse par certains. Cela parce qu'elle est fondée sur le *hasard*.

IRRUPTION DU HASARD DANS LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

Max Planck avait quelque réticence à admettre que le second principe de la thermodynamique était une loi probabiliste. Et pourtant il montra en 1900 que l'énergie s'échangeait par *quanta* indivisibles et il dut se

Plaquette commémorative apposée sur le mur d'un bâtiment de l'Université Humboldt (Berlin)



D.R.

Institut de mathématiques Henri Poincaré (Paris)

résoudre pour cela à utiliser... *la physique statistique*. Il fallut un quart de siècle pour bâtir la mécanique quantique qui fit entrer le hasard de façon intrinsèque dans la physique de l'atome. Si j'éclaire un écran de façon uniforme par une source lumineuse, c'est une pluie fine de photons qui le frappe. Et si l'on réduit le flux de photons à quelques-uns par seconde, on voit l'écran s'illuminer, en un point ou un autre, chaque fois qu'un photon arrive. C'est le grand nombre de photons qui crée l'illusion de l'uniformité de l'éclairage. Cette uniformité signifie simplement que chaque point de l'écran a la même *probabilité* de détecter un photon. *Le hasard fait partie de la mécanique quantique*. Bien des tentatives ont été faites pour contourner ce fait, sans succès.

¹⁶ Henri Poincaré, *Science et méthode* (1908), Éditions Kimé, 1999, p. 60.

¹⁷ *Ibid.* p. 62.

¹⁸ David Ruelle, *Hasard et chaos*, Odile Jacob, 1991.

LA DÉPENDANCE SENSITIVE DES CONDITIONS INITIALES

Loin de la physique atomique, tournons-nous vers l'astrophysique ou simplement la météorologie. Au début du xx^e siècle, Henri Poincaré, grand mathématicien s'il en fut, abordait avec humour la puissance des calculs probabilistes dans la théorie cinétique des gaz : « Vous me demandez de vous prédire les phénomènes qui vont se produire. Si, par malheur, je connaissais les lois de ces phénomènes, je ne pourrais y arriver que par des calculs inextricables et je devrais renoncer à vous répondre ; mais, comme j'ai la chance de les ignorer, je vais vous répondre tout de suite. Et, ce qu'il y a de plus extraordinaire, c'est que ma réponse sera juste¹⁶ ».

Poincaré attirait aussi l'attention sur un autre phénomène : « Une cause très petite, qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne pouvons pas ne pas voir et alors nous disons que cet effet est dû au hasard. Si nous connaissions exactement les lois de la nature et la situation de l'univers à l'instant initial, nous pourrions prédire exactement la situation de ce même univers à un instant ultérieur. Mais, lors même que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la situation initiale qu'approximativement [...] il peut arriver que de petites différences dans les conditions initiales en engendrent de très grandes dans les phénomènes finaux ; une petite erreur sur les premières produirait une erreur énorme sur les derniers. La prédiction devient impossible et nous avons le phénomène fortuit¹⁷ ».

Poincaré citait la météorologie comme exemple d'un système dans lequel de petites variations des conditions de départ pouvaient provoquer d'énormes écarts dans le comportement ultérieur. Or ce phénomène a été « oublié » pendant très longtemps jusqu'à ce qu'en 1963 Edward Lorenz, un météorologue américain, découvre que le phénomène de convection de l'air dépend de manière très sensible des conditions initiales. C'est ce qu'on a appelé « l'effet papillon » : le battement des ailes d'un papillon peut provoquer après quelque temps un changement important de l'atmosphère terrestre à des milliers de kilomètres. Le mathématicien belge David Ruelle, de l'Institut des Hautes Études Scientifiques de Bures-sur-Yvette, a montré que l'écoulement d'un fluide en régime de turbulence a une dépendance qu'il appelle *sensitive* des conditions initiales, phénomène baptisé en 1975 *chaos* par le mathématicien américain Jin Yorke. David Ruelle a fortement contribué par la suite au développement de la théorie du chaos¹⁸.

LE CHAOS, NOTRE AVENIR ?

Les physiciens se sont progressivement rendu compte que le régime *chaotique* est la règle plutôt que l'exception dans l'évolution des systèmes dynamiques. Par exemple, la révolution des planètes autour du soleil a toute l'apparence de la stabilité absolue, elle était le modèle du déterminisme de Laplace. Mais cela ne serait vrai en toute rigueur que si la terre était la seule planète du soleil. Dès lors qu'il y en a d'autres, et que la terre elle-même a un satellite, la lune, la stabilité n'est plus garantie à long

terme. À court terme, on peut calculer le mouvement de la terre en supposant que c'est la seule planète et en traitant l'influence des autres planètes et de la lune comme de petites perturbations mais rien ne garantit cette stabilité au-delà de quelques milliers de siècles, un souffle au regard de l'âge de l'univers !

Le résultat le plus spectaculaire de la théorie du chaos est que *l'avenir est imprévisible*. En imaginant qu'on puisse suivre le trajet d'une molécule de gaz se heurtant à d'autres molécules et/ou aux parois du récipient qui contient le gaz et en représentant les molécules de façon très simple par de petites billes dures qui rebondissent de façon parfaite, il serait impossible, avec le plus puissant des ordinateurs, de prévoir la trajectoire empruntée au-delà de trois ou quatre collisions. Or chaque molécule d'air subit à température ambiante des milliards de collisions par seconde, tandis qu'elle se déplace à quelque 500 mètres par seconde... Autant dire que, après une seconde, notre molécule peut se trouver n'importe où dans son récipient.

LA PRISE EN COMPTE DU HASARD EST CONSTITUTIVE DE LA SCIENCE

Le but de la science est de construire une représentation cohérente de la nature, en reliant les phénomènes observés de façon logique et, depuis Galilée, en utilisant l'expérience ou l'observation pour choisir entre différentes hypothèses. Épicure a introduit son *clinamen* pour éviter la main des dieux ou du destin. Cela revenait à délimiter le champ scientifique en considérant que le point de départ n'appartient pas au domaine

scientifique. Si l'on ne peut trouver de signification naturelle à tel phénomène, on le considère comme le fruit du hasard. De la même façon Darwin ne pose pas la question du pourquoi des variations des populations car cela serait hors du champ de la science. Que des considérations métaphysiques puissent y voir une intention, c'est possible, mais c'est hors champ. En considérant que les variations observées sont aléatoires, Darwin délimite le terrain qu'il va labourer, puis il construit une théorie dont la logique et la cohérence peuvent être mises à l'épreuve de l'expérience ou de l'observation, c'est-à-dire être potentiellement démentie par elles, ce qui est impossible pour une intervention surnaturelle. Enfin le développement prodigieux de la mécanique quantique, de la physique statistique et de la théorie du chaos nous montre combien cette approche en apparence modeste peut être fructueuse. Le rêve déterministe n'était sans doute qu'un rêve, mais un rêve productif. Grâce à lui la science a progressé, certes en renonçant à un univers imaginé parfait où tout pourrait être connu. La science est bien déterministe dans son domaine, un domaine délimité par les frontières du hasard. ☉