



## HASARD :

Qu'est-ce que le hasard ? David Ruelle.

Les ordinateurs feront bientôt concurrence aux mathématiciens et risquent de les mettre pour toujours au chômage. C'est du moins ce que j'affirmais un jour, pour le taquiner, à mon très éminent collègue le mathématicien Pierre Deligne. Il existe déjà, lui disais-je, des machines qui jouent très bien aux échecs. Par ailleurs, le *théorème des quatre couleurs* n'a pu être démontré que moyennant des vérifications faites par ordinateur.

Bien sûr, les machines actuelles ne sont encore à l'aise que dans des tâches répétitives et, à vrai dire, assez stupides.

Mais rien n'empêche qu'elles deviennent plus souples, qu'elles copient les processus intellectuels de l'homme, avec la vitesse et la sûreté bien plus grandes qui les caractérisent. Ainsi verra-t-on dans cinquante ou cent ans, ou peut-être deux cents, des ordinateurs non seulement aider les mathématiciens dans leurs travaux, mais prendre l'initiative, faire la trouvaille de définitions naturelles et fécondes, puis conjecturer et prouver des théorèmes dont la démonstration dépasse de loin les possibilités humaines.

Après tout, notre cerveau a été façonné par la sélection naturelle, non pas en vue des mathématiques, mais pour nous favoriser dans la chasse et la cueillette, la guerre, les relations sociales...

Bien sûr, Pierre Deligne n'a pas manifesté un grand enthousiasme pour cette vision du futur des mathématiques. Il a fini par me dire que ce qui l'intéressait personnellement c'étaient les résultats qu'il pouvait lui-même, et tout seul, comprendre dans leur intégralité. Cela exclut, dit-il, d'une part les résultats prouvés avec l'aide d'un ordinateur, d'autre part les résultats dont la démonstration - œuvre de multiples auteurs - est tellement longue qu'elle dépasse les possibilités de vérification par un seul mathématicien.

Il faisait allusion à un théorème fameux, concernant la classification des *groupes finis simples* dont la preuve est constituée de nombreux morceaux et s'étend sur environ cinq mille pages.

On pourrait sans peine, à partir de ce que je viens de raconter, broser un tableau sinistre de l'état actuel de la science et de son futur. En effet, s'il devient difficile à un mathématicien de dominer seul une question - la démonstration d'un seul théorème - cela est encore bien plus vrai pour ses collègues des autres sciences. Pour des raisons d'efficacité, le chercheur, qu'il soit physicien ou médecin, utilise des outils dont il ne comprend pas le fonctionnement.

La science est universelle, mais ses serviteurs sont très spécialisés, et leurs intérêts fréquemment bornés. Sans conteste, le cadre intellectuel et social de la recherche a bien changé depuis ses origines.

Ceux qui faisaient la science s'appelaient alors philosophes plutôt que chercheurs, et essayaient d'obtenir une compréhension globale du monde où nous sommes, une vue synthétique de la nature des choses. Il est caractéristique que le grand Newton ait partagé ses efforts entre les mathématiques, la physique, l'alchimie, la théologie, et l'étude de l'histoire en relation avec les prophéties.

Avons-nous donc abandonné la quête philosophique qui a donné naissance à la science ?

Nullement. Cette quête philosophique utilise des techniques nouvelles, mais reste bien au centre des choses; c'est ce que je vais essayer de montrer dans ce livre. Rien donc, dans ce qui suit, sur les prouesses techniques de la science, rien sur les fusées et les grands accélérateurs de particules. Rien sur les bienfaits de la médecine ou le péril nucléaire.

Pas de métaphysique non plus. Je voudrais chausser les lunettes philosophiques d'un honnête homme du XVIIe ou du XVIIIe siècle, et faire une promenade parmi les résultats scientifiques du XXe. Une promenade guidée par *le hasard*. Littéralement, puisque le hasard sera mon fil d'Ariane. Le hasard, l'incertitude, la Fortune aveugle, voilà des concepts bien négatifs. N'est-ce pas là le domaine des diseuses de bonne aventure plutôt que celui des savants ?

L'exploitation scientifique du hasard a commencé, avec Blaise Pascal, Pierre Fermat, Christiaan Huygens et Jacques Bernoulli, par l'ana-lyse des jeux dits de hasard.

Cette analyse a donné lieu au *calcul des probabilités*, tenu longtemps pour une branche mineure des mathématiques. Un fait central du calcul des probabilités est que, si l'on joue à pile ou face un grand nombre de fois, alors la proportion de piles (ou de faces) devient voisine de cinquante pour cent. Ainsi, à partir d'une incertitude totale quant au résultat d'un jet de pièce, on arrive à une certitude à peu près complète pour une longue série de jets.

Ce passage de l'incertitude à la quasi-certitude, qui se produit si l'on observe de *longues séries* d'événements, ou de *grands systèmes*, est un thème essentiel dans l'étude du hasard.

Vers 1900, beaucoup de physiciens et de chimistes niaient encore que la matière fut composée d'atomes et de molécules. D'autres depuis longtemps acceptaient le fait qu'il y a dans un litre d'air un nombre incroyable de molécules allant dans tous les sens à grande vitesse, et se heurtant dans le plus effroyable désordre. Ce désordre, que l'on a appelé *chaos moléculaire*, c'est somme toute beaucoup de hasard dans un petit volume.

Combien de hasard ? La question a un sens et l'on peut y répondre grâce à la *mécanique statistique*, créée vers 1900 par l'Autrichien Ludwig Boltzmann et l'Américain J. Willard Gibbs. La quantité de hasard présente dans un litre d'air ou un kilo de plomb à une certaine température est mesurée par l'*entropie* de ce litre d'air ou de ce kilo de plomb.

On a d'ailleurs les moyens de déterminer maintenant ces entropies avec précision. Voilà donc le hasard domestiqué et rendu indispensable à la compréhension de la matière.

Vous pourriez penser que ce qui est « au hasard » est par là même sans signification. Un peu de réflexion montre qu'il n'en est rien: les groupes sanguins sont distribués au hasard dans la population française, mais il n'est pas sans signification d'être A+ ou 0- en cas de transfusion.

La *théorie de l'information*, créée par le mathématicien américain Claude Shannon à la fin des années quarante, permet de mesurer l'information contenue dans des messages qui ont en principe une signification.

Nous verrons que l'on définit l'information moyenne d'un message comme égale à la quantité de hasard contenue dans la variété des messages possibles. Ainsi la théorie de l'information s'occupe, comme la mécanique statistique, de mesurer des quantités de hasard, et ces deux théories sont du coup étroitement liées.

Puisque nous parlons de messages significatifs, je voudrais mentionner ici des messages porteurs d'une information particulièrement vitale : ce sont les messages génétiques. Il est bien démontré aujourd'hui que les caractères héréditaires des animaux et des plantes sont transmis par l'ADN des chromosomes.

Cet ADN (acide désoxyribonucléique) est aussi présent dans les bactéries et certains virus (il est remplacé dans d'autres virus par l'acide ribonucléique). On a montré que l'ADN est constitué d'une longue chaîne d'éléments appartenant à quatre types, que l'on peut représenter par les lettres A, T, G, C. L'information héréditaire est donc contenue dans de longs messages écrits avec un alphabet de quatre lettres.

Lors de la division des cellules, ces messages sont recopiés avec quelques erreurs faites au hasard, erreurs que l'on appelle *mutations*. Les nouvelles cellules, ou les nouveaux individus, sont donc un peu différents de leurs ancêtres, et plus ou moins aptes à survivre et à se reproduire à leur tour.

La *sélection naturelle* retient les individus les plus aptes, ou les plus chanceux. Ainsi les problèmes fondamentaux de la vie peuvent être décrits en termes de création et de transmission de messages génétiques en présence de hasard. Les grands problèmes de l'origine de la vie et de l'évolution des espèces ne sont pas résolus pour autant, mais en exprimant ces problèmes en termes de création et de transmission d'information, on arrive à des points de vue très suggestifs, et même à quelques conclusions indiscutables. Nous y reviendrons.

Mais avant d'investiguer le rôle créateur du hasard dans les processus de la vie, je voudrais vous emmener, vous lecteur, pour une assez longue promenade parmi d'autres problèmes. Nous allons parler de mécanique statistique et de théorie de l'information, nous discuterons les problèmes de la turbulence, du chaos, et le rôle du hasard en mécanique quantique et dans la théorie des jeux. Nous digresserons sur le déterminisme historique, les trous noirs, la complexité algorithmique, et bien d'autres choses encore.

Notre longue promenade, nous la ferons aux confins de deux grands territoires intellectuels: d'une part l'austère mathématique, et de l'autre la physique au sens le plus large, incluant en fait toutes les sciences naturelles. Et nous garderons aussi un œil ouvert sur le fonctionnement de l'esprit humain dans ses efforts, admirables souvent, et souvent pathétiques, pour comprendre la nature des choses.

Ainsi, par-delà le problème du hasard, nous essayerons de comprendre un peu l'étonnante relation triangulaire entre l'étrangeté des mathématiques, l'étrangeté du monde physique, et l'étrangeté de notre propre esprit humain. Pour commencer, je voudrais discuter quelques règles du jeu des mathématiques et de la physique.

Le hasard et le chaos, Odile Jacob, pages 11/15