

La science au XXI^e siècle

JOHN MADDOX

Si le futur est aussi riche que le passé, la recherche scientifique procurera, dès les 50 prochaines années, des développements inattendus et exaltants.

Au XXI^e siècle, la science progressera, répondant à des questions qui ne nous viennent pas encore à l'esprit. C'est ce que montre l'histoire des 100 dernières années. En 1899, comme aujourd'hui, on réfléchissait aux grands progrès scientifiques du siècle passé afin d'améliorer l'avenir. Au XIX^e siècle, John Dalton avait montré que la matière est constituée d'atomes, et James Prescott Joule avait établi le principe de conservation de l'énergie, pressenti par Sadi Carnot. Ce dernier avait deviné que le rendement n'est jamais de 100 pour cent quand on transforme une forme d'énergie (thermique, mécanique, chimique, etc.) en une autre forme ; il avait ainsi fondé la thermodynamique. Le problème de l'irréversibilité des phénomènes, et donc du temps, était ainsi posé.

Vers la même époque, Charles Darwin publia son célèbre ouvrage intitulé *De l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle*, qui proposait la théorie de l'évolution pour expliquer la diversité de la vie sur la Terre. En revanche, il n'expliquait ni le mécanisme de transmission du patrimoine génétique, ni pourquoi un couple d'individus appartenant à deux espèces voisines est stérile. Enfin, James Clerk Maxwell démontra qu'électricité et électromagnétisme obéissent au même ensemble d'équations mathématiques. En outre, les lois de Newton décrivent si bien les observations qu'à l'époque elles pouvaient résoudre n'importe quel problème physique clairement défini. Quelle merveilleuse époque que le XIX^e siècle !

Seuls les esprits les plus perspicaces remarquèrent les points faibles des théories. Notamment, le Hollan-

dais Henri Antoon Lorentz découvrit que la théorie de Maxwell présentait une contradiction implicite : au lieu de supposer l'existence d'un éther où les ondes électromagnétiques étaient censées se propager, Maxwell aurait pu remarquer que le temps passe plus lentement pour un objet en mouvement que pour un observateur immobile. À partir de cette constatation, Henri Poincaré franchit le dernier pas avant d'arriver à la théorie de la relativité restreinte qu'Einstein publia en 1905. Cette théorie, selon laquelle rien ne se déplace plus vite que la lumière, n'invalide la physique newtonienne que d'un point de vue philosophique : ni l'espace ni le temps ne peuvent fournir de référentiel pour mesurer la position d'un objet ou le moment auquel il atteint cette position. À l'époque, peu de physiciens comprirent que, selon la plus simple interprétation de l'expérience d'Albert Michelson et Edward Morley, en 1880, l'éther de Maxwell n'existait pas.

Pourtant quelques-uns étaient agacés, voire choqués, par la complaisance générale vis-à-vis de la science en 1899 ; ceux-là avaient observé que les fondements de la science allaient être ébranlés. Si les atomes étaient invisibles, pourquoi détectait-on des « fragments d'atomes », tels les électrons et les « raies » des éléments radioactifs, découvertes en 1897 ? De même, Darwin proclamait que les mutations génétiques étaient invariablement minimes, tandis qu'en reprenant les travaux de Gregor Mendel, Hugo De Vries montrait expérimentalement que ces mutations sont rares, mais importantes. Analysés par Thomas Morgan et quelques autres, ces

résultats menèrent à ce que l'on nomme depuis 1906 la génétique classique. Puis on découvrit en 1930 que le darwinisme et le « mendel-morganisme » n'étaient pas si contradictoires qu'on l'avait cru d'abord.

Aujourd'hui, la science se félicite d'avoir éliminé ces contradictions et bien d'autres. L'autosatisfaction scientifique du XX^e siècle surpasse celle du XIX^e. Les applications de la science du début du siècle nous ont donné une impression de libération par rapport à notre condition humaine. Notamment les liaisons radio de Marconi entre l'Europe et l'Amérique, et les vols à bord de machines plus lourdes que l'air par les frères Wright et leurs successeurs ont engendré l'industrie des communications et l'industrie aéronautique. Aujourd'hui, nos bureaux sont encombrés de puissants ordinateurs que personne n'avait imaginés en 1900. Notre santé est aussi bien meilleure : pensons seulement à la pénicilline !

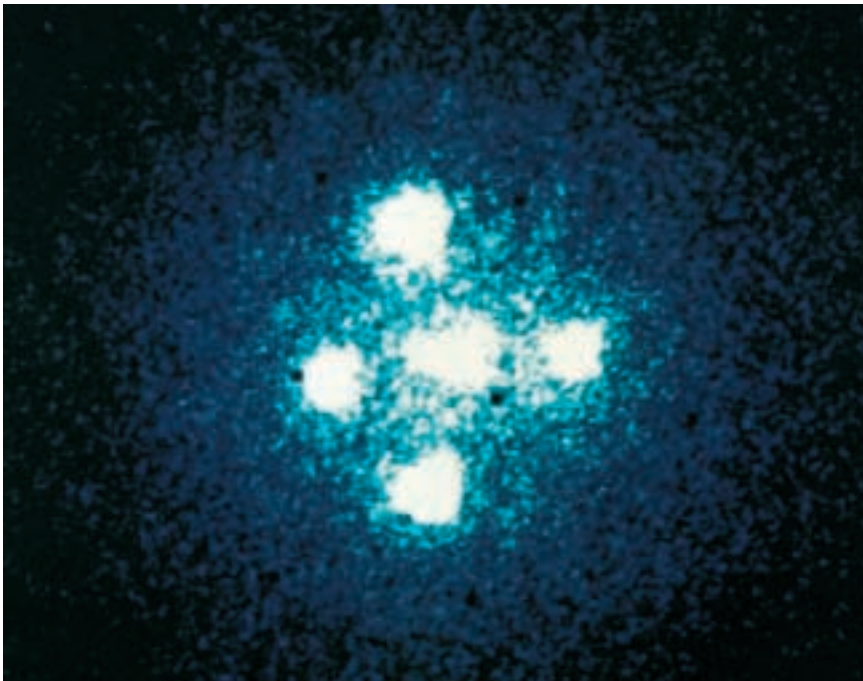
Les progrès scientifiques du XX^e siècle

En science fondamentale, nous avons au moins autant de raisons d'être fiers qu'au XIX^e siècle. La relativité restreinte ne se limite plus à une version corrigée de la physique de Newton. Parce qu'elle montre que l'espace et le temps doivent être traités de la même manière, on en est venu à lui attribuer le pouvoir quasi magique de vérifier la validité des autres théories de physique fondamentale.

Les trois grands événements scientifiques qui ont marqué ce siècle furent à peine pressentis. Avec sa théorie de



1. LA TERRE, vue de la Lune : cette image annonce une nouvelle conception de notre monde. La découverte d'autres êtres vivants dans la galaxie bouleverserait notre perception de la place que nous occupons dans la nature.



2. LA THÉORIE DE LA RELATIVITÉ générale, due à Albert Einstein, décrit la gravité comme une modification de l'espace-temps, prédisant ainsi des effets tels que la déviation de la lumière par des corps massifs. Cette photographie, prise avec le Télescope spatial Hubble, en est un exemple. Elle représente ce qu'on appelle une croix d'Einstein : quatre images d'un même objet céleste entourent l'image centrale d'une galaxie, qui joue le rôle de lentille gravitationnelle.

la relativité générale, qu'il aurait pu nommer «théorie relativiste de la gravitation», Einstein prit tout le monde de court, en 1915. Seuls les lecteurs assidus du physicien et philosophe viennois Ernst Mach auraient pu prévoir son résultat. En remarquant que, quel que soit l'endroit considéré, les forces de gravitation sont les manifestations d'un champ qui s'étend jusqu'aux confins de l'Univers, Einstein montra que la structure et l'évolution de l'Univers sont inéluctablement liées. Cependant, il fut lui-même surpris quand, en 1929, Edwin Hubble découvrit que l'Univers est en expansion.

La mécanique quantique fut la deuxième surprise du siècle, bien que le rayonnement émis par un corps chaud ait intéressé les physiciens depuis les années 1850. Pourquoi la fréquence principale de ce rayonnement est-elle proportionnelle à la température de l'objet exprimée en kelvins (le zéro absolu, égal à $-273,15^{\circ}\text{C}$, avait été défini par la thermodynamique du XIX^e siècle)? En 1900, Max Planck apporta la solution : l'énergie de ce rayonnement, transférée entre l'objet chaud et son environnement, est quantifiée, et les valeurs qu'elle peut prendre sont proportionnelles à la fréquence

du rayonnement. À l'époque, Planck avoua que, pas plus que ses contemporains, il ne savait ce que cette découverte signifiait.

Après 25 ans, la question fut enfin résolue, grâce aux efforts de Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Paul Dirac et de quelques autres scientifiques parmi les plus brillants de ce siècle. Qui aurait deviné, en 1900, que les travaux de Planck aboutiraient à la mécanique quantique, une théorie aussi générale que celle de Newton : elle décrit les molécules, les atomes et les particules, mais aussi le monde macroscopique qu'ils constituent.

Aujourd'hui encore, certains prétendent que la mécanique quantique est pleine de paradoxes, parce qu'ils font une lecture impartiale (et souvent malveillante) des événements du premier quart du XX^e siècle. Notre compréhension intuitive des lois qui régissent le monde macroscopique (lois de Newton) repose sur nos perceptions sensorielles. Elles-mêmes résultent de l'évolution par la sélection naturelle : la survie de l'espèce dépendait de ces perceptions, puisqu'elles servaient à nous mettre hors de portée des prédateurs et à chasser. On imagine difficilement quel

avantage nos ancêtres auraient eu à comprendre le comportement des particules subatomiques. La mécanique quantique n'est pas un paradoxe, mais plutôt une découverte relative à la nature du monde physique, à des échelles de temps et de distance extrêmement petites. Elle est à l'origine de notre compréhension actuelle de la matière nucléaire, constituée de quarks et d'autres particules : bien que provisoire, comme toutes les théories, elle n'en reste pas moins un véritable exploit intellectuel.

La troisième surprise du siècle fut le développement de la biologie moléculaire, après la découverte de la structure de l'ADN par James Watson et Francis Crick, en 1953. Au début des années 1950, on ignorait encore la structure chimique des gènes. On connaissait leur disposition linéaire le long des chromosomes, d'après les recherches menées à l'Université de Columbia, mais, en découvrant la structure de l'ADN, on comprit enfin comment les enfants héritent des caractéristiques physiques de leurs parents, et aussi comment les cellules individuelles d'un organisme survivent, de milliseconde en milliseconde, suivant le principe de la sélection naturelle. Le secret de la vie était enfin percé!

Les questions ouvertes

La mécanique quantique et la découverte de la structure de l'ADN ont élargi notre compréhension du monde, au-delà de toute attente. Même les scientifiques à l'origine des nouvelles connaissances n'avaient pas mesuré leur portée. Dans les 50 prochaines années, quelles voies de recherche nous conduiront-elles à un monde de science complètement nouveau? S'il est impossible de le savoir, nous pouvons au moins passer en revue tout ce que nous ignorons, c'est-à-dire beaucoup de choses, puis extrapoler, à partir des tendances actuelles de la recherche, pour prévoir le futur. Cette démarche laisse imaginer des découvertes futures au moins aussi captivantes que celles du XX^e siècle ; nos enfants et nos petits-enfants ne seront sans doute pas déçus.

On a presque fini de reconstituer l'histoire génétique de l'espèce humaine, *Homo sapiens*. L'un des plus grands succès de ces dix dernières années est la compréhension de