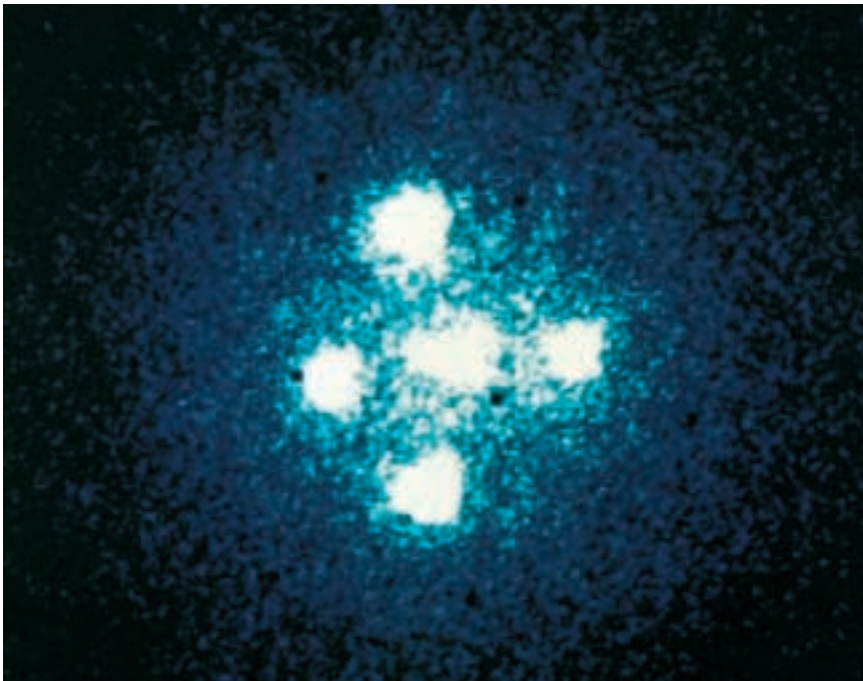




2. LA THÉORIE DE LA RELATIVITÉ générale, due à Albert Einstein, décrit la gravité comme une modification de l'espace-temps, prédisant ainsi des effets tels que la déviation de la lumière par des corps massifs. Cette photographie, prise avec le Télescope spatial Hubble, en est un exemple. Elle représente 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

l'ontogenèse, c'est-à-dire la transformation d'un être vivant, de la gestation à la formation de l'individu adulte. La structure physique des animaux et des plantes semble d'abord déterminée par des gènes d'une même famille (les gènes *hox*), puis par des gènes de développement propres à l'espèce. Les biologistes moléculaires comprendront bientôt ce qui détermine l'ordre d'intervention de ces gènes au cours des étapes successives du développement humain et comment ils sont désactivés, une fois leur tâche accomplie.

En comparant les gènes humains à ceux du chimpanzé, par exemple, on saura quand et comment des différences cruciales sont apparues entre l'être humain et les grands singes. Les fossiles nous ont déjà révélé les grandes lignes de cette histoire : la taille du cortex cérébral des hominidés a régulièrement augmenté depuis 4,5 millions d'années ; ces hominidés sont capables de se tenir debout depuis l'apparition de l'*Homo erectus*, il y a 2,1 millions d'années ; la faculté de parler est probablement apparue il y a 125 000 ans seulement. Grâce à la compréhension génétique de cette évolution, nous préciserons l'histoire de notre espèce et nous comprendrons mieux la place que nous occupons dans la nature.

Ces informations seront capitales. On en déduira peut-être pourquoi certains hominidés ont disparu, notamment l'homme de Neandertal. Plus important encore, l'histoire génétique de l'*Homo sapiens* révélera sans doute le mécanisme de spéciation. Darwin a évoqué l'origine des espèces dans le plus célèbre de ses ouvrages, mais il n'a pas expliqué la stérilité des couples d'individus appartenant à des espèces voisines. La différence génétique la plus frappante entre l'être humain et les grands singes réside dans le nombre de leurs chromosomes : l'homme en a 46 (23 paires), alors que nos plus proches cousins en ont 48. L'information génétique supplémentaire du singe se trouverait, chez l'homme, à l'extrémité du deuxième chromosome, tandis que d'autres fragments apparaissent aussi ailleurs, notamment sur le chromosome X. Ce réarrangement des chromosomes a-t-il marqué l'apparition de l'être humain ? Résulte-t-il seulement d'une mutation génétique ? La biologie progresserait considérablement si elle le savait.

Pendant la première moitié du XXI^e siècle, la biologie s'efforcera de corréler évolution et génétique. En principe, on sait déjà déterminer l'âge de l'ancêtre commun à deux espèces voisines : on compare les acides aminés dont l'enchaînement compose les protéines de chaque espèce ou les sous-unités des acides nucléiques, par exemple des molécules d'ARN. Puis on détermine la date de la différenciation d'après le degré de correspondance de ces molécules et la fréquence des mutations spontanées des protéines ou des acides nucléiques. Cependant, cette fréquence n'est pas la même pour toutes les protéines ou tous les acides nucléiques, ni pour les différentes parties de ces molécules. Les biologistes cherchent aujourd'hui une « horloge moléculaire » fiable, de même que les astronomes essaient de construire une échelle fiable des distances dans l'Univers. Une fois cette tâche accomplie, nous pourrions étudier les causes des grands tournants de l'évolution de la vie sur la Terre, notamment les causes de l'évolution du cycle de Krebs (qui récupère l'énergie stockée sous forme chimique dans le glucose), de l'appa-

rition de la photosynthèse et des organismes multicellulaires. On a aujourd'hui établi que de tels organismes existent depuis plus de 2,5 milliards d'années.

Avec un peu de chance, nous découvrirons aussi le rôle des virus dans les premiers stades de l'évolution de la vie. Le génome humain est truffé de séquences d'ADN qui ressemblent à des acides nucléiques fossiles. Ils dateraient d'une époque où l'information génétique était transférée entre espèces grâce à des échanges de plasmides (des boucles d'ADN). Aujourd'hui encore, les bactéries qui s'échangent des plasmides acquièrent de nouveaux caractères (la résistance aux antibiotiques, par exemple). Quelle est notre place dans la nature ? Nous l'ignorons tant que nous n'aurons pas découvert comment l'ADN, en apparence inutile, du génome humain (que F. Crick fut le premier à nommer « ADN déchet ») contribue à notre évolution.

Même en comprenant tous les génomes dont la structure complète a été déterminée, on ne remonterait pas aux origines de la vie. En revanche,



3. LA DÉCOUVERTE DE LA STRUCTURE DE L'ADN, en 1953, par James Watson (à gauche) et Francis Crick révéla le secret de la vie et engendra des progrès spectaculaires en médecine et en biologie moléculaire.