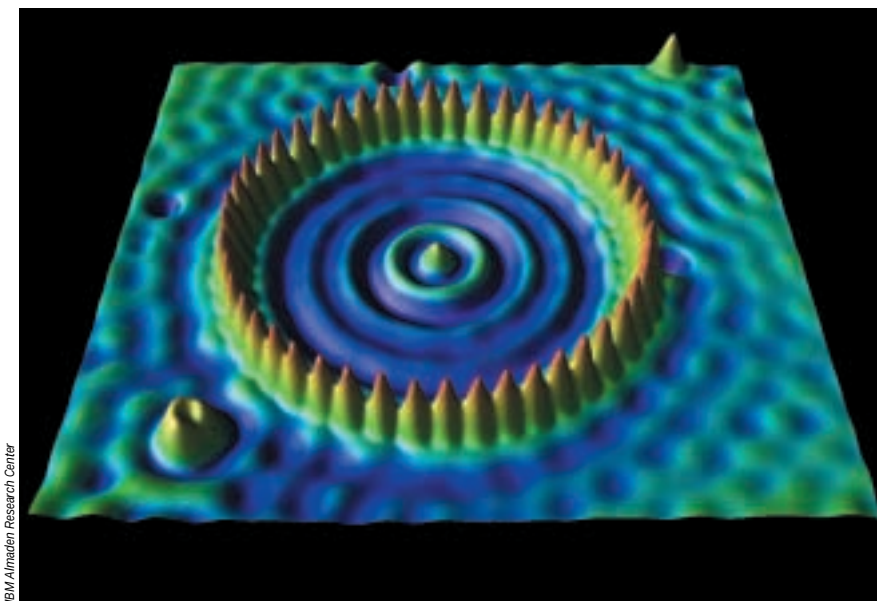




IBM Almaden Research Center

4. LA MÉCANIQUE QUANTIQUE est l'un des exploits intellectuels du xx^e siècle. Elle a révélé la nature de la réalité à une échelle microscopique. Cette image, obtenue à l'aide d'un microscope à effet tunnel, montre un «corral quantique» de 48 atomes de fer sur une surface de cuivre : nous pouvons désormais manipuler les atomes individuellement et visualiser les électrons. La mécanique quantique décrit ces derniers comme des ondes, matérialisées ici par des cercles concentriques.

on cernerait peut-être la nature des êtres vivants de ce monde de l'ARN qui semble avoir précédé celui de l'ADN. Aujourd'hui, les cellules utilisent encore l'ARN pour certaines fonctions de base, par exemple pour dupliquer l'ADN du noyau cellulaire ou pour élaborer des structures nommées télomères, qui stabilisent les extrémités des chromosomes.

En laboratoire, on ne recréera sans doute pas d'organisme à base d'ARN avant la deuxième moitié du XXI^e siècle. Comment la vie apparaît-elle à partir de composés inorganiques ? Comment un rayonnement, en l'occurrence celui du Soleil, engendre-t-il la formation de molécules complexes à partir de composés plus simples ? Nous l'ignorons encore, mais des phénomènes analogues se produisent dans les nuages moléculaires géants de notre Galaxie, où les radioastronomes trouvent des composés de plus en plus complexes : ils ont découvert des fullerènes (molécules composées seulement d'atomes de carbone, qui s'arrangent en forme de ballons de football). Quel est le rapport entre la complexité des molécules et le rayonnement ? Jusqu'ici, personne n'a encore vraiment exploré ce genre de phénomènes thermodynamiques irréversibles.

Ces dernières décennies, les biologistes n'ont guère quantifié leurs analyses. Aujourd'hui, nous avons du

mal à approfondir nos connaissances, par exemple sur le fonctionnement des cellules, à cause du déluge de découvertes. On simplifie aussi la réalité de manière abusive : on parle de la fonction d'un gène, alors que chaque gène a peut-être plusieurs fonctions, qui pourraient même être antagonistes. En l'absence de modèles quantitatifs, la description des événements cellulaires en langage courant risque d'induire en erreur.

Depuis quelques années, on découvre presque chaque semaine de nouvelles enzymes qui interviennent dans la division cellulaire. On a identifié un complexe de protéines qui déclenche cette division (dans une levure), mais on ignore pourquoi il a cet effet, et comment l'environnement intra- ou extracellulaire l'influence. Pour répondre à ces questions, les biologistes devraient élaborer des modèles numériques de cellules entières ; mais est-ce possible ?

Le fonctionnement du cerveau humain, aussi, reste un mystère. Comment prenons-nous des décisions ? D'où vient l'imagination ? Quelle est la définition de la conscience ? Malgré les progrès considérables effectués par les neurosciences depuis un siècle (sans parler de l'intelligence artificielle), nous sommes peu avancés dans la compréhension des processus cognitifs. Toute la difficulté

réside dans l'identification des types de comportement des neurones du cerveau correspondant au processus de prise de décision ou à d'autres activités cognitives. Peut-être en existe-t-il plusieurs pour chaque activité cognitive, ce qui compliquerait encore la tâche, mais rien ne laisse craindre que le problème soit insoluble. Les animaux prennent également des décisions (par exemple, les rats placés dans un labyrinthe), sans en être conscients : l'observation et l'expérimentation sont donc possibles. Dans 50 ans, les neurosciences n'auront probablement pas encore répondu à ces questions.

En physique fondamentale, le problème majeur de l'incompatibilité entre la mécanique quantique et la théorie de la gravitation risque également de rester entier pendant le prochain demi-siècle. Toutes les tentatives de «quantification» du champ gravitationnel, depuis 20 ans, ont été des échecs. Pourtant, sans pont entre ces deux théories, qui comptent parmi les plus grands succès de notre siècle, on ne décrira pas bien les débuts de l'Univers. Les mêmes problèmes se posent en physique des particules, où, pendant de nombreuses années, les chercheurs ont tenté d'unifier les diverses forces de la nature. Certains pensent que la théorie des cordes établit un lien digne de ce nom, mais d'autres sont moins optimistes, après les vagues d'enthousiasme et de déception qui ont marqué les 20 dernières années. Les 50 ans à venir devraient au moins permettre de départager les deux camps.

Les problèmes mathématiques posés par la théorie des cordes seront peut-être résolus avant 2050, mais, de toute façon, on ne saura que dans quelques décennies si cette théorie décrit correctement les particules qui constituent la matière, ou si elle aboutit à une impasse. N'oublions pas qu'au XIX^e siècle Michael Faraday prouva expérimentalement que l'électricité et le magnétisme sont deux manifestations du même phénomène, 30 ans avant que Maxwell n'élabore sa théorie de l'électromagnétisme. À l'époque, les mathématiques que Maxwell utilisait figuraient déjà dans les manuels ; aujourd'hui, en théorie des cordes, les physiciens doivent inventer ces mathématiques au fur et à mesure qu'ils progressent. De plus, si la théorie des cordes parvient à unifier la théorie

de la gravitation et la mécanique quantique, elle modifiera notre conception des particules élémentaires. Elle dotera le temps et l'espace d'une sorte de structure microscopique, dont l'échelle sera si petite qu'elle ne pourra être sondée par aucun accélérateur existant ou en projet. Aujourd'hui, cependant, aucune donnée expérimentale ne conforte cette hypothèse ; soyons patients.

Nous nous plaisons à penser que le rythme des découvertes s'accélère, mais, dans certains domaines scientifiques, les objectifs ne semblent accessibles que lentement et au prix d'un énorme travail collectif. Par exemple, les engins spatiaux qui explorent le Système solaire sont en général conçus une dizaine d'années avant leur lancement. La sismologie, un siècle après sa naissance, dispose enfin de techniques de mesure et d'analyse assez sensibles pour élaborer une carte de l'intérieur de la Terre. Celle-ci montrera les panaches ascendants de roches du manteau qui régissent les mouvements des plaques tectoniques à la surface de la Terre. Depuis les années 1960, les biologistes moléculaires se sont efforcés de comprendre le mécanisme de régulation des gènes dans les organismes vivants, mais ils n'ont pas encore réussi, même avec la plus simple des bactéries. Nous serons heureux si les manifestations neuronales de la pensée sont identifiées au cours du prochain demi-siècle. Les applications de ce que nous savons déjà apparaîtront dans les prochaines décennies, mais nous aurons beaucoup de mal à résoudre de nombreux problèmes essentiels.

Nous ne sommes pas non plus au bout de nos surprises. La découverte d'autres êtres vivants dans la Galaxie bouleverserait notre perception de la place que nous occupons dans la nature. D'autres découvertes moins retentissantes, mais dont la nature est complètement imprévisible, jalonnent sans doute aussi le prochain demi-siècle, passionnant les spécialistes de toutes les disciplines et changeant la vie de chacun d'entre nous.

John MADDIX a été professeur de physique théorique à l'Université de Manchester jusqu'en 1956, puis il a été rédacteur en chef de la revue *Nature* jusqu'en 1995.
