

L'héritage d'Einstein

Un entretien avec Herwig Schopper

En juin dernier, l'ONU a proclamé 2005 Année internationale de la physique et a invité l'UNESCO à célébrer le centième anniversaire des légendaires articles rédigés par Albert Einstein sur la relativité, la théorie quantique et le mouvement brownien.

Herwig Schopper, ancien Directeur général du Centre européen de recherche nucléaire (CERN, 1981-1988), a reçu en 2004 la médaille d'or Albert Einstein de l'UNESCO pour services rendus à la physique et à la coopération internationale. Il préside actuellement le Conseil d'administration du nouveau Centre de recherche SESAME pour le Moyen-Orient, créé sous les auspices de l'UNESCO. Dans le présent entretien, il décrit comment la théorie d'Einstein a révolutionné les idées sur certaines questions fondamentales et comment ce progrès a lui-même révolutionné la société telle que

nous la connaissons. Comme il l'explique, l'aventure est loin d'être terminée.

Pourquoi se souvient-on de 1905 comme d'une annus mirabilis, ou année merveilleuse ?

Einstein a formulé deux théories de la relativité : la première, la théorie spéciale, étend la mécanique newtonienne aux situations qui s'approchent de la vitesse la plus élevée possible, la vitesse de la lumière. Cette théorie a des conséquences qui semblent complètement contredire le sens commun.

Elles ont, cependant, été confirmées par d'innombrables expériences. Par exemple, des expériences ont prouvé que les horloges n'ont pas le même tic-tac dans des systèmes qui se déplacent les uns par rapport aux autres, ou que la masse

d'un corps dépend de sa vitesse. Une autre conséquence est la possible transmutation de l'énergie en matière et vice versa. Cette observation découlant de la pure recherche fondamentale devait former la base de l'application pacifique et militaire de la physique nucléaire à la production d'énergie.

La relativité spéciale comme la mécanique quantique offrent, pour décrire la nature, un nouveau cadre qui doit cependant être complété par des études supplémentaires et indépendantes concernant le comportement de la matière et les forces qui agissent dans la nature. Le terme de « relativité » a été à l'origine de nombreuses idées fausses.

La théorie spéciale ne met pas en doute les résultats scientifiques ; au contraire, elle se fonde sur des « invariants » qui ne dépendent pas de la position de l'observateur. La théorie générale de la relativité tente d'expliquer la force gravitationnelle sous l'angle de la structure de l'espace-temps.

L'effet de la relativité sur la vie quotidienne est négligeable ; elle doit, cependant, être prise en compte par le système mondial de positionnement, autre exemple de la façon dont certains effets de la recherche fondamentale peuvent, de façon imprévue, jouer un rôle important dans des applications.

Les théories d'Einstein et ses recherches ultérieures en physique nucléaire ont ouvert la voie à la bombe à hydrogène, qui donnera à la race humaine les moyens de s'annihiler. Cela et les accidents survenus dans les centrales de Three Mile Island en 1979 et de Tchernobyl en 1986, sans parler des problèmes persistants que posent les déchets radioactifs, ont incité à considérer les physiciens nucléaires avec suspicion. Cette réputation se justifie-t-elle aujourd'hui ?

Elle est complètement infondée pour plusieurs raisons. Outre l'utilisation de l'énergie nucléaire, la physique nucléaire a trouvé nombre d'autres applications. En médecine moderne, le diagnostic serait impensable sans l'exploitation des phénomènes nucléaires. L'application la plus importante est probablement l'imagerie par résonance magnétique nucléaire, qui est à l'origine des scanners utilisés en médecine. Ce qui est amusant, c'est qu'on a supprimé le terme « nucléaire » pour éviter d'effrayer les patients, ce qui révèle, de la part du public, une attitude quelque peu biaisée et irrationnelle !

Les rayons X sont devenus un outil médical indispensable depuis leur découverte par le physicien allemand Wilhelm Roentgen en 1895. Ils sont maintenant utilisés notamment en tomographie, méthode qui produit des images en coupe du corps. Des accélérateurs de particules, tels les bêta-trons et les accélérateurs linéaires, sont utilisés dans la quasi-totalité des hôpitaux pour traiter les cancers par radiothérapie et les sources de rayonnement

synchrotron sont souvent utilisées dans la recherche et l'industrie. Les isotopes radioactifs sont largement utilisés à des fins thérapeutiques, mais aussi dans les essais de matériaux. Le diagnostic par TEP annihile la matière avec de l'antimatière pour obtenir des informations sur le métabolisme du cerveau. Les protons et d'autres particules lourdes sont étudiés comme moyen de traiter certaines formes de cancer comme les tumeurs du cerveau.

Ce ne sont là que quelques exemples de la façon dont l'humanité bénéficie des applications de la physique nucléaire. Malheureusement, le public associe, dans une grande mesure, la physique nucléaire à la bombe atomique. Son discrédit s'explique par le fait que les processus physiques de fabrication d'une bombe atomique et de production d'énergie à des fins pacifiques sont très similaires ; les deux consistent à convertir de la masse en énergie selon la célèbre formule d'Einstein : $E = mc^2$ ou, autrement dit, l'énergie est le produit de la masse par la vitesse de la lumière au carré.

L'énergie nucléaire, bien entendu, comme toute autre source d'énergie, comporte des risques dont il faut tenir compte. De futurs progrès tels que le remplacement de la fission par la fusion réduiront ces risques. La différence entre les deux est que la fusion nucléaire associe deux éléments légers, formant un élément plus massif, tandis que la fission nucléaire scinde un élément massif en fragments. Les deux libèrent de l'énergie, mais dans la fission, les fragments sont hautement radioactifs sur de longues périodes tandis que dans la fusion, les « cendres » ne sont pas radioactives.

Il semble improbable que nous puissions éviter le problème de la pollution de l'environnement par le CO₂ sans recourir à l'énergie nucléaire. Bien entendu, les autres sources d'énergie doivent être développées et exploitées dans toute la mesure possible, mais il sera impossible de satisfaire la demande justifiée des pays en développement sans utiliser toutes les options, dont l'énergie nucléaire. Des pays tels que la Chine, en effet, jugent le nucléaire nécessaire à leur économie.

Les décennies qui ont suivi la seconde guerre mondiale ont été, pour l'Europe, les États-Unis et le Japon, un âge d'or, des inventions telles que les réfrigérateurs, les machines à laver et les transistors ayant agrémenté la vie des masses et alimenté la croissance économique. Vivons-nous un nouvel âge d'or ?

Pendant des siècles, la qualité de vie a été réservée à la noblesse, fraction extrêmement réduite et privilégiée de la société humaine. Cette situation a commencé à changer radicalement vers le milieu du XIX^e siècle, lorsque sont apparues des techniques modernes telles que le moteur à vapeur, le chemin de fer et l'électricité, progrès dont nous bénéficions encore aujourd'hui. Ce n'est qu'avec ces techniques modernes qu'il a été possible d'accroître la production au point d'en faire bénéficier la majorité de la population¹, ne serait-ce que dans les pays industrialisés, pour l'essentiel. Sans cette révolution technique, on n'aurait

pas pu abolir l'esclavage — assumé ou dissimulé, aucune idée sociale nouvelle n'aurait pu résoudre les problèmes d'alimentation, de logement et d'accès à la culture. Même la démocratie n'aurait pas pu se développer si les gens avaient dû continuer à lutter pour leur survie.

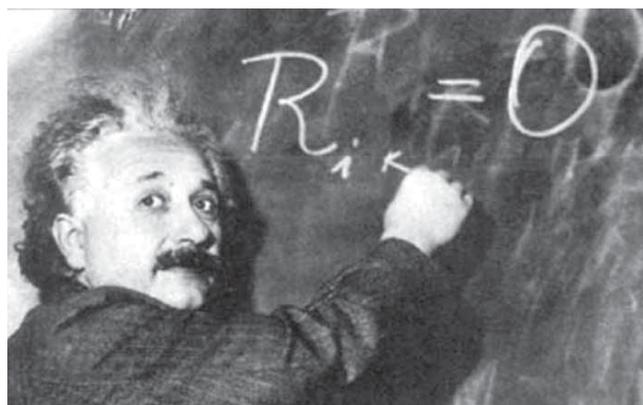
Les applications qui ont bouleversé notre vie quotidienne sont toutes issues de la recherche fondamentale ; ces recherches, cependant, ont souvent été jugées, à l'époque, complètement inutiles. Ce n'est que bien plus tard que l'on a compris l'intérêt qu'elles pouvaient présenter pour certaines applications. Un exemple célèbre est celui de Michael Faraday², qui a travaillé sur divers phénomènes liés à l'électricité. Un représentant du Trésor se plaignant de ce que ce type de recherche présentait peu d'intérêt pour la société, Faraday répondit qu'il ne pouvait peut-être pas dire l'avenir, mais qu'il était néanmoins certain qu'un jour le Trésor taxerait fortement sa découverte. Et il avait raison ! Ses travaux formèrent la base de l'électricité moderne. Quant à l'ordinateur personnel, qui aurait imaginé qu'il aurait une telle influence sur nos vies quotidiennes ? Qui aurait pensé que le web, inventé au CERN en 1990 pour les besoins de la physique des particules, science des plus abstraites, révolutionnerait la communication ?

Bien entendu, la qualité de vie des pays industrialisés n'est pas sans contrepartie, en particulier la détérioration de l'environnement. Ces problèmes ne seront résolus que par la technologie. La principale difficulté sera d'introduire ces techniques modernes dans les pays en développement afin d'y limiter, là aussi, la détérioration de l'environnement. Si l'on y parvient, on verra un nouvel âge d'or — non limité à quelques pays privilégiés — se dessiner à l'horizon.

Quelles recherches de pointe les physiciens mènent-ils aujourd'hui dans le monde et quels bénéfices la société en tirera-t-elle ?

La physique progresse sur différents fronts. Dans le domaine de la recherche fondamentale, la physique des particules et la physique nucléaire pénètrent plus profondément le microcosme pour résoudre les énigmes des éléments constitutifs de la matière et des forces qui agissent entre eux. Connaissons-nous toutes les forces de la nature ? Les forces nucléaires puissantes et faibles n'ont été découvertes qu'au siècle dernier. L'unification des forces magnétiques et électriques a abouti à l'industrie électrique moderne, à la radio, au téléphone, à la télévision et à l'ordinateur. L'étude des atomes³, des molécules, de la matière condensée et de l'optique a révélé de nouveaux phénomènes tels que des supraconducteurs à haute température ou les phénomènes de condensat dits Bose-Einstein, qui durent moins d'un milliardième de seconde ; elle a également permis de mieux comprendre la mécanique quantique. Comme par le passé, de nouveaux savoirs vont se transformer en applications inattendues.

La recherche fondamentale, de surcroît, vise maintenant directement des applications, car la frontière entre recherche fondamentale et appliquée s'estompe. Les nanotechnologies,



qui traitent d'objets infiniment petits, relèvent à la fois de la recherche fondamentale et de la recherche appliquée.

Le plus grand service que la recherche fondamentale ait rendu à la société ces 200 dernières années est peut-être une représentation complètement nouvelle de la nature, de l'univers et de la position de l'homme dans tout cela, progrès culturel tout aussi précieux que le progrès matériel. Si la foudre n'est plus considérée comme l'expression de la colère des dieux, si la superstition est en recul, si nous convenons que la Terre n'est pas le centre de l'univers et que la matière dont nous sommes faits n'est pas la plus courante dans l'univers (comme cela a été démontré récemment), c'est grâce à la science moderne. Cela a d'importantes incidences sur la façon dont l'humanité se perçoit.

Si le ministre de la science et de la technologie d'un pays très peu avancé vous demandait pourquoi son pays devrait investir dans l'étude et l'enseignement de la physique, que lui répondriez-vous ?

Cette question, plusieurs responsables politiques me l'ont posée. Les pays en développement sont confrontés à d'urgents problèmes d'alimentation, d'approvisionnement en eau, d'infrastructure et d'éducation. Les programmes publics d'aide au développement et les organisations humanitaires dépensent d'énormes sommes pour pallier ces carences à court terme. Malgré cela, le fossé qui sépare les pays industrialisés des pays en développement tend à se creuser.

Pour rattraper leur retard, les pays en développement vont devoir accélérer leur transition d'une société principalement agricole ou commerciale vers une économie industrialisée. Pour ce faire, les pays industrialisés d'aujourd'hui ont mis environ 150 ans. Pour combler le fossé, les pays en développement vont devoir consacrer un certain pourcentage des fonds dont ils disposent pour promouvoir la science, la recherche et l'enseignement supérieur.

Faute d'investir sur le long terme, ces pays vont rencontrer, à mesure qu'ils s'industrialisent, d'autres problèmes tels que le chômage. Dans les pays industrialisés, l'emploi agricole est passé de 60 ou 70% de la population adulte il y a 150 ans à un pourcentage très faible aujourd'hui. Les pays en développement vont devoir créer des activités industrielles fondées sur les nouvelles technologies. Le fait que cela

La physique au secours de la planète

Cette année, le Forum scientifique de l'AIEA sera gagné par la fièvre de la physique alors que l'Année de la physique touche à sa fin.

Le Forum (27–28 septembre), qui se tiendra en marge de la 49^e Conférence générale de l'AIEA, aura pour thème *La physique au secours de la planète* et examinera la mesure dans laquelle la science nucléaire peut répondre aux besoins en énergie. Les participants examineront également les nouvelles matières et techniques nucléaires utilisées pour produire de l'énergie. La troisième séance portera sur l'application des rayonnements ionisants au diagnostic et au traitement de maladies telles que le cancer, et sur les besoins croissants qu'ont les pays en développement en physiciens médicaux qualifiés. La séance finale portera sur la régimes mondial de sûreté.

Pour tout complément d'informations :
www.iaea.org

Année internationale de la physique :
www.wyp2005.org

puisse se faire relativement rapidement a été démontré par des pays tels que la République de Corée et Taiwan (Chine), notamment.

À de nombreux égards, les techniques se fondent sur la science et, en particulier, sur la physique. Cette dernière est aussi le fondement d'autres sciences, comme la chimie et la biologie. La résolution de nombreux problèmes d'environnement, d'économie et de production d'énergie ou de diagnostic médical, pour ne citer qu'eux, passera par une intensification de la recherche physique. Non seulement, en effet, la coopération interdisciplinaire entre la physique et d'autres domaines est très prometteuse, mais elle deviendra essentielle dans les décennies à venir.

Si vous pouviez voyager dans le temps, à quoi ressemblerait, selon vous, la société de 2030 ?

Il est toujours difficile de faire des prédictions, surtout lorsqu'elles concernent l'avenir ! Qui aurait pu prévoir, il y a 30 ans, le triomphe des ordinateurs personnels, des technologies de la communication, les progrès fulgurants de la santé ou les nouvelles possibilités de divertissement qui s'offrent à l'homme, comme la télévision par satellite, les disques compacts, les téléphones portables ou le volume actuel des transports aériens ? La science et la recherche nous réservent de nouvelles surprises, mais la grande question est de savoir si l'attitude morale et éthique des gens progresse au même rythme que la technique. C'est aux

responsables politiques qu'il reviendra de décider si nous utilisons le progrès pour ou contre l'humanité. Le plus grand défi sera de faire en sorte que les moins fortunés récoltent aussi les fruits d'un monde industriellement développé.

Le présent entretien a été réalisé par Susan Schneegans pour le magazine scientifique trimestriel de l'UNESCO intitulé « Un monde de science », Vol. 3, n° 1, janvier-mars 2005.

Notes

1. *L'un des premiers exemples de production de masse fut la Model T. En 1914, Henry Ford ordonna à son usine située au Michigan (États-Unis) de n'utiliser que de la peinture noire : la peinture laquée noire séchait plus vite que les autres couleurs, ce qui fait qu'on pouvait produire davantage de voitures à un coût réduit. Ces faibles coûts de production permirent à Ford d'augmenter les salaires et de rendre sa Model T plus abordable financièrement : le prix de vente passa de 850 dollars lors de son introduction à moins de 300 dollars vers le début des années 1920. De ce fait, les ventes annuelles augmentèrent en flèche, passant d'environ 300 000 initialement à plus de 1,8 million.*

2. *Faraday (Angleterre, 1791-1867) fut l'un des pionniers de l'électromagnétisme. C'était un expérimentateur de génie doté d'un sens aigu de l'intuition et de la visualisation. Son talent est attesté par le fait que ses cahiers de laboratoire ne contiennent pas une seule équation. Au XIX^e siècle, il a introduit le concept de champs électriques que formait, autour d'un corps en charge, l'espace rempli de lignes de force, aujourd'hui appelées lignes de champ électrique. Il est surtout connu pour sa loi de l'induction, l'un des fondements de l'électromagnétisme. Ses travaux ont jeté les bases de l'élaboration d'appareils tels que les moteurs électriques, les émetteurs et récepteurs de télévision, les téléphones, les télécopieurs et les fours à micro-ondes.*

3. *La découverte et la caractérisation des atomes sont sans doute les principaux succès de la physique du XX^e siècle. Il est maintenant connu que l'atome consiste en électrons, protons et neutrons. L'atome mesure 10^{-8} m de large et 99,9% de sa masse réside dans le noyau. L'électron a une masse correspondant à $1/1837^e$ de celle d'un noyau d'hydrogène et a une charge négative. Un ou plusieurs électrons peuvent être déplacés en exposant l'atome à une énergie suffisante. La taille du noyau est environ 10^{-5} fois celle de l'atome entier et de l'ordre de 10^{-14} m de largeur. Le proton qui réside dans le noyau est la contrepartie électrique de l'électron avec une charge identique mais opposée. Les chercheurs ont trouvé des moyens élaborés de sonder plus profondément les secrets de la matière. Des accélérateurs de particules confèrent à ces dernières des vitesses et des énergies très élevées qui, provoquant des collisions, révèlent la structure interne précise de l'atome. Ces techniques d'étude ont débouché sur des inventions concrètes qui ont révolutionné la biologie, la chimie et la médecine. On citera notamment le microscope électronique, le microscope à balayage et la résonance magnétique nucléaire. Vers la fin du XX^e siècle, les physiciens étaient capables d'étudier le comportement des atomes avec une grande précision.*