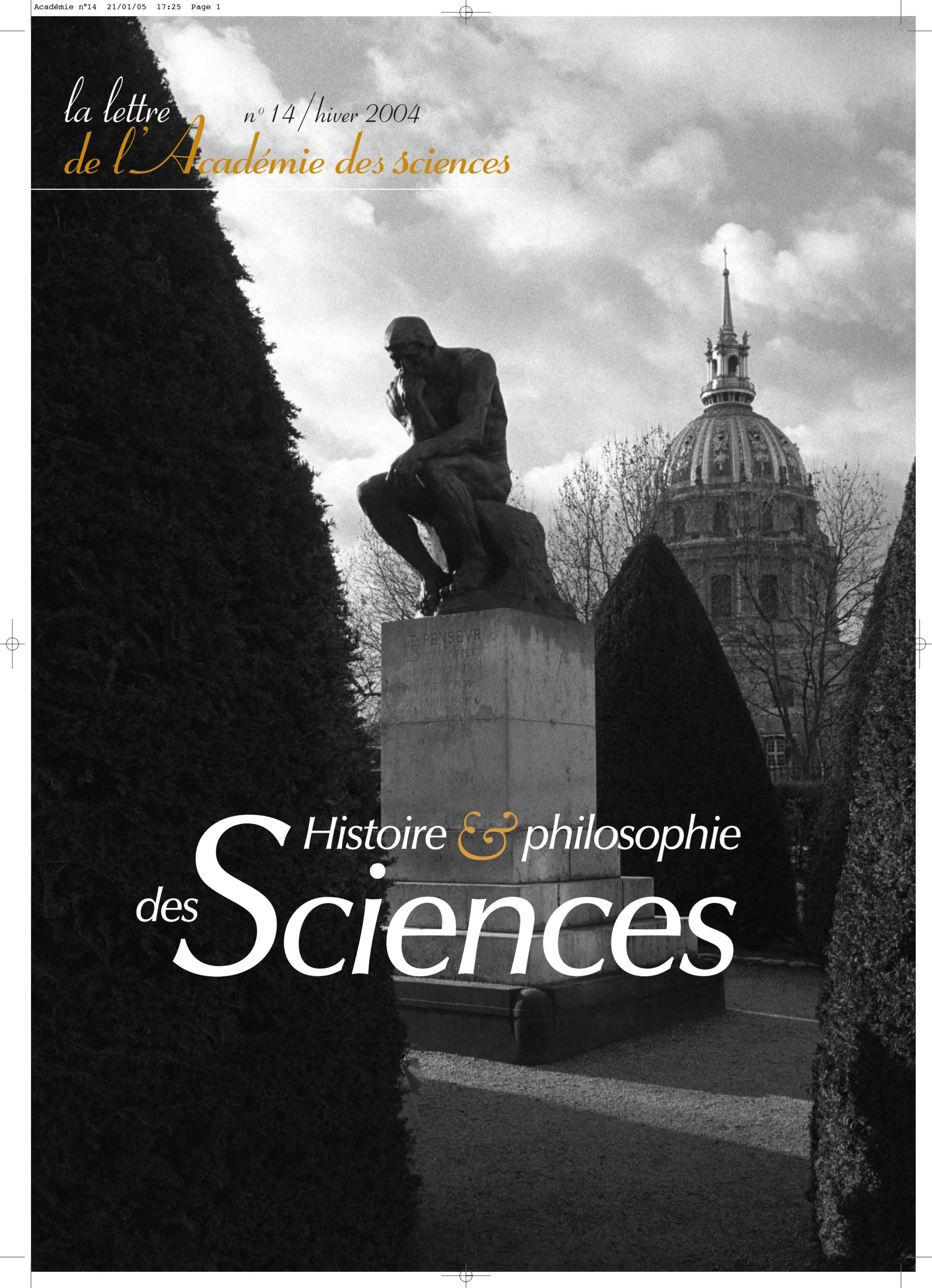


la lettre n° 14 / hiver 2004
de l'Académie des sciences



Histoire & philosophie
des Sciences

Sommaire

Éditorial

L'Institut de France

Jean Dercourt

page 2

Dossier

Où en est l'histoire des sciences aujourd'hui ?

Claude Debru

page 3

Faut-il réviser l'histoire de la relativité ?

Olivier Darrigol

page 6

Quelques réflexions autour du livre « Naissance de la physique de la Sicile à la Chine »

Michel Soutif

page 8

Science et philosophie

Dominique Lecourt

page 10

Cent cinquante ans de localisations dans l'écorce cérébrale ; l'histoire continue, rien n'est acquis

Pierre Buser

page 12

Mathématiques de la Chine ancienne

Karine Chemla

page 14

La science et la philosophie morale

Entretien avec Anne Fagot - Largeault

par Paul Caro

page 16

Question d'actualité

Virus et barrières d'espèces

Gérard Orth

page 18

La vie de l'académie

Sir William Ramsay et la découverte de l'argon

Yves Jeannin

page 20

Éditorial

L'Institut de France fêtera cette année le bicentenaire de la décision de son installation au collège des Quatre nations le 29 ventôse an XIII (20 mars 1805).

Il y loge ses services, les Académies et leurs Secrétaires perpétuels. Il y tient ses séances publiques officielles et ses séances régulières de travail.

Les missions de l'Institut de France sont distinctes de celles des Académies mais étroitement imbriquées. Elles sont peu connues des académiciens qui ignorent le plus souvent son mode de gestion. En cette année anniversaire, un relief particulier sera donné à une de ses missions renouvelées : l'attribution de très grands prix et subventions dans les diverses disciplines de l'esprit et en particulier des sciences sous ses différentes formes. L'Institut de France est un corps constitué de la République créé par la Loi du 3 brumaire an IV (25 octobre 1795),

quatre classes prennent les noms des Académies qui avaient été supprimées en 1793 : Académie française (1635), Académie des inscriptions et belles-lettres (1663), Académie des sciences (1666) et l'Académie des beaux-arts (1816). En 1832, une nouvelle classe est créée : l'Académie des sciences morales et politiques. Les statuts de plusieurs d'entre elles ont évolué et sont, à chaque étape, agréés par l'État et publiés au Journal Officiel. La dernière modification des statuts de l'Académie des sciences date du 31 janvier 2003. Le règlement de l'Institut de France est en cours de révision.

L'Institut anime et gère le Palais Conti. Il reçoit pour ce faire des crédits publics et des postes de fonctionnaires. Il les répartit entre ses services ; ceux qui lui sont directement rattachés (bibliothèque par exemple) et les Académies. Mais, l'essentiel de ses missions est culturel. Il gère des châteaux et des musées qu'il a reçus par dons ou legs (château de Chantilly, musée Jacquemart-André, château de Langeais, Villa Kérylos, ...). Le Conseil d'État a donné pour chacun d'eux l'autorisation d'ac-

La Commission administrative centrale traite de tous les sujets importants et, en particulier, elle est seule à traiter les affaires financières (acceptation des dons et legs, gestion générale, vote du budget et du bilan). Elle est informée de celles des Académies. L'ensemble des comptes de l'Institut et des Académies est présenté par le Chancelier et les Secrétaires perpétuels et examiné par la Cour des Comptes.

Des commissions thématiques permanentes préparent les dossiers récurrents. Elles sont présidées par le Secrétaire perpétuel concerné et comportent des Secrétaires perpétuels et des membres de l'Institut désignés par leurs Académies (commission de Chantilly, des bibliothèques, des beaux-arts, ...), d'autres sont constituées en fonction des besoins (commission du règlement, des placements financiers, ...) et d'autres enfin concernent les très grands prix et subventions.

Depuis un petit nombre d'années, des dons et legs très importants ont été faits à l'Institut compte tenu de la rigueur de la gestion des fondations, de la personnalité des Chanceliers successifs, de la notoriété des membres de l'Institut

L'Institut de France

ses membres sont élus et les élections sont confirmées par le Chef de l'État, ils portent le même titre et perçoivent les mêmes indemnités. Leurs missions sont publiées au Journal Officiel. A son origine, l'Institut de France comptait 3 classes : sciences physiques et mathématiques, sciences morales et politiques, littérature et beaux-arts.

Au fil des ans, les structures ont été modifiées par le législateur. En particulier, en 1803, la classe des sciences morales et politiques est supprimée, l'Institut est divisé en quatre classes (sciences physiques et mathématiques, langue et littérature françaises, histoire et littérature ancienne, beaux-arts). En 1816, réorganisation de l'Institut, les

ceptation et évalué l'existence de ressources d'accompagnement permettant à l'Institut d'assurer la charge prescrite par le donateur ; de ce fait, il dispose de fonds privés qu'il gère directement, comme il le fait de plus modestes fondations destinées, par exemple, à décerner des prix. Lorsqu'ils relèvent de la thématique d'une Académie, l'Institut lui confie le soin de sélectionner le lauréat.

Pour conduire ses missions, l'Institut est présidé alternativement par chaque Académie par ordre de création. Ainsi, en 2004, l'Académie des sciences assurait la présidence, en 2005, celle des beaux-arts le fait, etc. Le président de l'Institut préside l'Assemblée générale annuelle et la séance de rentrée. L'Institut est dirigé par le Chancelier entouré de la Commission administrative centrale constituée, outre de lui-même, des Secrétaires perpétuels des Académies et de deux membres élus pour une durée propre à chaque Académie. L'un d'entre eux préside la Commission lorsque son Académie préside l'Institut ; en 2004, ce fut Jean Salençon. Un bureau de l'Institut, présidé par le président de la Commission administrative centrale est constitué du Chancelier et des Secrétaires perpétuels.

qui couvrent l'ensemble du spectre des activités de l'esprit et peuvent donc exécuter au mieux les volontés des donateurs. Enfin, l'adoption d'une loi sur le mécénat facilite et simplifie les modalités de création de fondations. Actuellement, de très grandes fondations se mettent en place et couvrent les lettres, les sciences (qui au sens international et national actuel regroupent les Académies des sciences, des sciences morales et politiques, des inscriptions et belles-lettres) et les arts. Chaque prix est accompagné ou même est constitué d'une subvention permettant au bénéficiaire de réaliser ses travaux dans de bonnes conditions.

Pour chacune des grandes fondations, le Chancelier désigne un jury constitué de membres de l'Institut, qui établit une courte liste de lauréats possibles. Le Conseil de la Fondation présidé par le Chancelier retient l'un d'eux.

Avec la solennité qu'elle mérite, cette attribution de prix et subventions se déroulera pour la première fois en juin 2005. Elle fera date dans l'évolution des missions de l'Institut, car désormais il prend place parmi les institutions internationales les plus prestigieuses, moteurs de l'activité de l'esprit et des travaux qui l'accompagnent ■



par Jean Dercourt

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, professeur émérite à l'université Pierre et Marie Curie.



Crâne de Descartes, École nationale des beaux-arts, Paris.

Où en est l'histoire des sciences aujourd'hui ?



par Claude Debru

Correspondant de l'Académie des sciences, professeur à l'École normale supérieure.

L'histoire des sciences est un grand chantier. Discipline longtemps réputée confidentielle, érudite ou commémorative, elle a été entraînée par le mouvement impétueux des sciences et par des œuvres de scientifiques qui s'y sont adonnés, comme Nicolas Bourbaki avec ses *Éléments d'histoire des mathématiques*, Jean Dieudonné avec ses travaux d'histoire des mathématiques et son ouvrage *Pour l'honneur de l'esprit humain*, ou François Jacob avec *La logique du vivant*. Ces œuvres ont suscité bien des vocations. La curiosité croissante d'un public plus instruit a également contribué à accroître l'audience de

cette discipline. Aujourd'hui, les nouvelles technologies documentaires touchent l'histoire des sciences, en augmentant considérablement l'accessibilité des textes, images, documents, manuscrits scientifiques pour le plus grand nombre. Pouvoir afficher sur l'écran de son ordinateur personnel, page à page, le texte imprimé de la thèse de médecine de Marey sur la circulation du sang ou tel ou tel feuillet d'un manuscrit mathématique ou médical de Leibniz ne laisse personne indifférent. L'histoire des sciences instruit et fascine, enrichit et passionne. Elle instruit sur les sciences et peut apporter une certaine

contribution à leur enseignement. Elle instruit sur les sociétés qui soutiennent les sciences et y voient un moteur de leur développement. Elle fascine car elle montre l'esprit humain aux prises avec des réalités de plus en plus éloignées de son mode habituel d'exercice. Elle enrichit car sa pratique nécessite de réunir diverses compétences, scientifiques au premier chef, mais aussi historiques, philologiques, linguistiques, philosophiques etc. Elle passionne car elle forme un domaine extrêmement vaste à l'intérieur duquel de nombreuses approches, de nombreux rapprochements, de nombreuses et gratifiantes



Leonhard Euler. Coll. Académie des sciences

découvertes sont possibles. Enfin, elle se renouvelle grâce à l'incessant renouvellement des sciences elles-mêmes. A sa manière, et tout comme les sciences, l'histoire des sciences éduque et donc transforme ceux qui s'y intéressent, l'utilisent ou la pratiquent.

En montrant la voie à suivre, l'Académie des sciences a joué un grand rôle, sur les plans national et international, dans le développement récent du domaine. Alfred Kastler, André Lichnerowicz ainsi que d'autres de ses membres, ont œuvré ou continuent d'œuvrer pour que l'histoire des sciences soit introduite comme matière éligible, pour les étudiants intéressés, dans les enseignements scientifiques, médicaux, ou de sciences de l'ingénieur. La communauté française de l'histoire des sciences doit être extrêmement reconnaissante à l'Académie des sciences pour l'action entreprise, qui a largement porté ses fruits. La communauté française des historiens (et philosophes) des sciences a le privilège (unique pour une discipline non scientifique à proprement parler) d'être représentée, à l'intérieur du COFUSI, par le Comité national français d'histoire et de philosophie des sciences, présidé actuellement par Jean-Pierre Kahane qui a succédé à Paul Germain. Le Comité a appuyé la politique des "postes Lecourt" d'implantation d'enseignements d'histoire et de philosophie des sciences dans les cursus scientifiques et d'écoles d'ingénieur, politique qui a des résultats notables. Les Archives de l'Académie, qui sont une source majeure, accueillent ainsi un public de plus en plus nombreux de chercheurs. Où en est donc l'histoire des sciences aujourd'hui ?

Il n'est guère de secteur historique et scientifique qui ne soit l'objet d'intenses explorations. Les origines de la science sont réévaluées et multipliées. La science n'est plus seulement grecque, babylonienne ou égyptienne. Elle est tout autant chinoise, arabe, indienne. La créativité scientifique apparaît de plus en plus comme un phénomène humain assez général qui, s'il a indubitablement bénéficié de conditions plus favorables ici ou là, vraisemblablement pour des raisons de société, n'est pas exclusivement lié à l'héritage européen. Les mathématiques arabes, et tout dernièrement les mathématiques chinoises, sont l'objet de nombreux travaux, outre les mathématiques grecques. Les historiens des sciences s'intéressent également au fait que les sciences s'étendent, sont transmises et diffusées par des voyageurs, sortes de missionnaires habités du désir de transporter et de démontrer leurs idées ou découvertes. Comme les routes du commerce, les routes du savoir, les transferts de savoir-faire sont étudiés par les historiens d'aujourd'hui, plus soucieux que jamais d'apprécier l'extension (voire la globalisation, toujours en marche) du phénomène scientifique. De l'Antiquité au Moyen-Âge, de l'Ouest à l'Est ou de l'Est à l'Ouest, les routes du savoir dessinent une géographie intellectuelle qui ne connaît pas de frontière. Des historiens des sciences, aujourd'hui, tels des archéologues, parcourent ces routes, reconstituent les grands sites, les carrefours. L'histoire n'est rien sans la géographie.

La "Révolution scientifique" de la Renaissance et de l'Âge classique, qui avait nourri l'intérêt de grands historiens des sciences de générations précédentes, en France Gaston Bachelard, Georges Canguilhem, Alexandre Koyré, Pierre Costabel, René Taton, Mirko Grmek, scientifiques, médecins ou philosophes qui ont analysé toutes les facettes de la science classique, continue de susciter l'intérêt, par des réévaluations récentes. C'est ainsi que le côté chimique de Newton a été une révélation, ou que les formulations ultérieures de la mécanique classique par les mathématiciens français ont été appréhendées plus rigoureusement. La découverte et l'exploitation de sources inépuisables se poursuit. L'édition des manuscrits scientifiques de Leibniz est une œuvre de longue haleine, pour laquelle la collaboration entre l'Académie de Berlin et l'Académie des sciences de Paris, interrompue par la première guerre mondiale, est en cours de rétablissement, grâce à la participation du CNRS. De grandes entreprises d'édition, celle de la correspondance de Lavoisier, sous la responsabilité du Comité Lavoisier de l'Académie, celle des Œuvres de d'Alembert, entreprise collective menée avec la participation de plusieurs laboratoires

d'histoire des sciences, celle de la correspondance d'Henri Poincaré sont poursuivies. Les lecteurs d'éditions de ce type savent à quel point la découverte de textes qui trouvent ainsi, après des années d'oubli, de nouveaux adeptes, peut être une révélation. Les lettres d'Henri Lebesgue à Emile Borel viennent d'être publiées, témoignage parmi d'autres de la vitalité de l'histoire des mathématiques. Des entreprises de numérisation d'œuvres publiées, comme les œuvres publiées de Claude Bernard, sont achevées ou en cours de réalisation. Notre pays, comme bien d'autres en Europe et ailleurs, possède un patrimoine scientifique d'une richesse littéralement inouïe, dont la découverte procure des joies indicibles au lecteur qui réalise la clairvoyance de ces auteurs, dont les idées, les remarques sont souvent d'une actualité confondante. A certains égards, l'histoire des sciences a la vertu de faire des créateurs du passé nos contemporains, même si une telle assertion fait parfois sursauter les épistémologues toujours rigoureux.

Darwin et les évolutions du darwinisme, par Mendel fondant la génétique, par les recherches de Claude Bernard ou celles de Louis Pasteur reconstituées à l'aide des manuscrits et carnets de laboratoire, par les créateurs de l'électrodynamique d'Ampère à Einstein, par les chimistes, biochimistes et biophysiciens, puis par les physiciens, biochimistes et généticiens créateurs de la biologie moléculaire, les sciences des deux derniers siècles ont suscité ces dernières années de très nombreux travaux individuels ou collectifs. La physique du vingtième siècle, la cosmologie, domaines si révolutionnaires et si difficiles à appréhender dans leurs interprétations, n'ont pas découragé les interprètes les plus audacieux. Les grandes institutions internationales, les grands instruments de la physique, comme le CERN, ont été également étudiés dans leur fondation et leur évolution. Des éditions françaises d'œuvres choisies ou de textes fondateurs, comme ceux d'Einstein, ont également été produites récemment, ainsi que des dictionnaires encyclopédiques d'histoire et de philosophie des sciences et de la médecine. Une vision beaucoup plus riche, à la fois ample et précise, de l'histoire des sciences a été créée par ces travaux. Plus précise en effet : si l'on considère l'œuvre de Mendel, réévaluée au cours d'un important colloque de l'Académie des sciences en 2000, œuvre



Gaspard Monge. Coll. Académie des sciences

Les sciences des dix-neuvième et vingtième siècles, plus proches de nous, ont suscité ces dernières années un véritable engouement chez les historiens des sciences. Des savants de l'époque révolutionnaire ou post-révolutionnaire, qui ont créé les enseignements de l'École normale de l'an III, ou qui comme Lamarck ont attiré des auditeurs venus de toute l'Europe et d'ailleurs, aux géomètres, mathématiciens du vingtième siècle et aux biologistes moléculaires, devenus créateurs des biotechnologies, aux hématologistes et immunologistes, aux neurobiologistes ou aux biologistes du développement, en passant par

qui fonde la génétique en s'établissant dans une certaine rupture par rapport aux théories de l'hérédité, les conditions mêmes de cette œuvre saisie dans son contexte particulier ont pu être mieux appréhendées. L'activité, la créativité scientifiques, pourra-t-on dire, y perdent quelque peu de leur mystère. Cela n'est même pas sûr, car les décisions individuelles des chercheurs en sortent grandes. Vision plus ample également, car si l'attention aux conditions locales, aux contextes savants et de société, a été accrue, une vision des grandes évolutions des disciplines scientifiques a été également conquise, grâce au regard histo-

Dossier

rique porté sur des champs nouveaux. C'est ainsi que les créations de disciplines nouvelles par l'interdisciplinarité ont été légion au dix-neuvième siècle, qui a vu les créations de l'électromagnétisme, de la biophysique, de la biochimie, le développement de disciplines entières entraînées par les progrès de techniques, d'instrumentations de toutes sortes. On sait ce que doivent l'hématologie aux colorants synthétiques, les vaccinations à l'exceptionnel itinéraire transdisciplinaire de Louis Pasteur, transportant sans relâche d'un domaine à un autre, nouveau et différent, l'expérience acquise, les techniques de modification peu à peu maîtrisées, sans perdre le sens de l'inconnu autant que du possible. Que seraient la psychophysique, la psychophysiologie sans les dispositifs électromécaniques de mesure du temps permettant d'appréhender les phénomènes au niveau de la milliseconde ? Ces sciences ont été créées par des physiciens, et non des moindres, comme Helmholtz ou Mach, qui leur ont consacré de nombreuses années de travail, à côté d'autres comme Fechner ou de philosophes en mal de réalité expérimentale, comme Wundt. Reconstituer les grandes évolutions, c'est mettre en valeur l'esprit d'interdisciplinarité qui n'a cessé de vivifier les développements des sciences. Cette remarque n'a certes rien de nouveau. Il est donc naturel qu'elle soit portée aussi par l'histoire.

Comme discipline, l'histoire des sciences n'échappe pas plus au renouvellement entraîné par les nouvelles technologies, en tout premier lieu l'informatique. L'informatique, l'intelligence artificielle ont apporté aux sciences les plus différentes des outils devenus indispensables. L'histoire des sciences est en passe d'en bénéficier, en a déjà bénéficié de fait. Les informaticiens qui s'intéressent à la création scientifique en élaborant des outils de simulation des modes d'inférence logique utilisés couramment dans la recherche ont d'ores et déjà produit d'intéressants résultats en appliquant leurs méthodes aux données fournies par les historiens de sciences, soucieux de reconstituer les démarches de recherche de scientifiques dans le traitement de leurs problèmes, dans l'interprétation de leurs expériences ou de leurs données. Comment l'ordinateur répond-il à la question cruciale, que connaît tout expérimentateur : qu'en conclure ? De quelle manière la démarche du scientifique reconstituée par l'historien coïncide-t-elle (ou ne coïncide-t-elle pas) avec la démarche suivie par l'ordinateur ? Des éléments de réponse, dans des cas précis, ont pu déjà être donnés. Si l'on prend l'exemple des travaux de Hans Krebs sur les cycles métaboliques, travaux minutieusement reconstitués par l'historien des sciences



Claude Bernard. Coll. Académie des sciences

Frédéric Holmes avec l'aide de Krebs lui-même, puis soumis à un programme informatique élaboré par Herbert Simon, fondateur de l'intelligence artificielle et prix Nobel d'économie, on constate bien que l'esprit humain procède d'une manière plus souple, possède plus de liberté que l'ordinateur, et surtout sait mêler inférences logiques et reconnaissance littéralement perceptuelle de formes, pour élaborer des schémas causaux. Le dernier mot n'est certes pas dit dans ces matières, et des investigations de cet ordre attirent les informaticiens autant que les historiens des sciences et les épistémologues.

L'histoire des sciences entretient fréquemment (mais pas toujours) une relation particulière à la théorie des sciences, l'épistémologie, laquelle ne se conçoit guère sans sa relation à l'histoire. Un fait est clair, et même aveuglant. Les grands épistémologues, ceux dont les idées sont encore étudiées et toujours discutées, ont été pour la plupart des scientifiques. Ernst Mach, Pierre Duhem ou Henri Poincaré, physiciens ou mathématiciens au premier chef, ont exercé et continuent d'exercer sur la théorie des sciences une influence profonde. De nombreux physiciens de formation, particulièrement dans le cercle de Vienne et autour, comme Karl Popper ou Rudolf Carnap, qui se sont pour leur part entièrement

consacrés à l'épistémologie et à la logique des sciences, ont animé l'épistémologie du vingtième siècle. Les œuvres des uns et des autres montrent à quel point l'exercice même de l'activité scientifique appelle une réflexion interne sur les conditions et la nature de cet exercice. Il est patent que cette réflexion à la fois et indissociablement scientifique et épistémologique a pu quelquefois aider à ouvrir des voies nouvelles en brisant le carcan de dogmes bien ancrés et de représentations peu mises en question. C'est ainsi qu'Einstein, qui a eu pourtant sur Mach des jugements variés, a toujours reconnu sa dette à l'égard de celui qui a proposé de substituer à la notion courante de causalité celle de dépendance réciproque et de fonction mathématique. A certains égards, l'œuvre multiforme de Mach laisse présager les grandes révolutions de la physique au vingtième siècle.

On ne saurait oublier non plus, s'agissant d'histoire des sciences, que l'activité scientifique a entraîné la réflexion philosophique certainement plus qu'elle n'a été entraînée par elle, à partir de la révolution scientifique de la Renaissance et de l'Âge classique. Les grandes révolutions de la physique au début du vingtième siècle, la véritable crise de la rationalité vécue à cette époque ont suscité chez les physiciens des débats et des hypothèses de l'espèce philosophiquement la plus profonde et qui ne sont toujours pas clos. Ces physiciens, Bohr, Schrödinger, Einstein, Louis de Broglie et leurs collègues, ont fait preuve d'une créativité conceptuelle qui n'a guère d'équivalent ailleurs. Le reconnaître fait partie, de plein droit, de l'histoire des sciences.

L'histoire des sciences tend à se structurer comme les sciences elles-mêmes. Elle s'est énormément internationalisée dans les trente dernières années, par la génération spontanée de réseaux de chercheurs défrichant des champs nouveaux par dessus les frontières nationales et les divisions géopolitiques. Cela est fort heureux, car cela a aidé à décloisonner cette discipline austère et exigeante. Où en est l'histoire des sciences aujourd'hui ? Elle est entraînée dans la globalisation, et c'est fort réjouissant. Elle est aussi entraînée au delà d'elle. Elle a suscité, en général, de nombreuses réflexions et discussions parfois vives sur le progrès scientifique, ses allures, ses conditions, tant internes qu'externes. Elle a contribué à nourrir les multiples débats sur les relations entre sciences et société. Ce qui émerge de plus frappant en la matière, et qui est peut-être à la racine de ces discussions, est l'imprévisibilité du progrès scientifique, sur laquelle François Jacob a eu des formulations lumineuses. Si les sociétés ont parfois du mal à suivre les sciences, c'est peut-être, entre autres raisons, parce que les explorations des sciences, aux résultats bien réels, restent pourtant peu définissables à l'avance. Claude Bernard, qui disait de Helmholtz qu'il ne trouvait que ce qu'il cherchait (ce qui n'est déjà pas un mince compliment, mais un compliment fort ambigu), soulignait par contraste qu'il trouvait plutôt, lui-même, ce qu'il ne cherchait pas. C'est l'un des enseignements de l'histoire des sciences. Un autre enseignement, peut-être le plus fort, à tirer de l'approche historique et évolutive des sciences est que les sciences de demain seront aussi différentes de celles d'aujourd'hui que celles d'aujourd'hui le sont de celles d'hier ou d'avant-hier. De cela nous devons être convaincus pour mieux préparer les scientifiques de l'avenir à le vivre ■

André Marie Ampère.
Coll. Académie des sciences



Schrödinger par exemple, ont donné les équations fondamentales sans connaître leur interprétation définitive). Ces historiens ont jugé les écrits pertinents de Poincaré confus et même contradictoires, faute d'avoir compris que celui-ci se situait dans un cadre conceptuel cohérent mais incompatible avec celui d'Einstein. Par une lecture trop rapide du mathématicien français, ils ont manqué quelques étapes cruciales de l'histoire de la relativité. Cet autre genre d'aveuglement s'explique aisément par le caractère éblouissant de la physique d'Einstein, par l'étrangeté des vues de Poincaré aux yeux des lecteurs einsteiniens que nous sommes, et par son style elliptique et parfois imprécis.

Pour échapper à toute caricature, il faut abandonner l'idée absurde d'une justice posthument rendue aux grands

En 1892, le théoricien néerlandais Hendrik Lorentz parvint à inclure ces divers phénomènes dans une théorie microphysique qui trahissait Maxwell sur bien des points. Lorentz supposait un éther rigoureusement stationnaire, dans lequel les ions (ou électrons) constituant la matière pouvaient circuler librement. Il interprétait charge, courant électrique et polarisation respectivement comme une accumulation, une circulation, ou un déplacement d'ions. Et il réduisait l'ensemble des phénomènes optiques et électromagnétiques à des interactions entre ions et éther réglées par les équations de Maxwell-Lorentz.

Dans ce cadre simple et général, Lorentz expliquait certains faits de l'optique des corps en mouvement qui avaient jusqu'alors échappé à la théorie de Maxwell. Le caractère stationnaire de

de variables impliquant, au premier ordre, le "temps local" $t=t-ux/c^2$, de telle sorte que les équations fondamentales reprenaient la forme qu'elles avaient dans le repère de l'éther. Il est important de noter que ce nouveau temps n'était pour lui qu'une variable auxiliaire dénuée de signification physique.

Au bout d'une série de cours sur les théories mathématiques de la lumière et de l'électromagnétisme, Henri Poincaré jugea que la théorie de Lorentz était la meilleure disponible, tout en formulant un certain nombre de critiques. Selon lui, l'éther n'était qu'une sorte de métaphore commode pour décrire les phénomènes de propagation électromagnétique, et ne devait donc pas jouer le rôle d'un corps matériel dans l'application du principe de relativité. Autrement dit, Poincaré pariait pour une indétectabilité absolue du vent d'éther. Ce point de vue, qu'il était le seul à soutenir au tournant du siècle, lui fit reprocher à Lorentz une série de "coups de pouce" dont ne résultait qu'une validité approximative du principe de relativité.

Dans un mémoire de 1900 offert à Lorentz pour son jubilé, Poincaré donna de plus une nouvelle interprétation physique des transformations de Lorentz. Selon lui, les champs et les coordonnées transformés n'étaient autres que ceux mesurés par des observateurs terrestres, moyennant certaines conventions naturelles. En particulier, le temps local de Lorentz n'était autre que le temps mesuré par des observateurs synchronisant leurs horloges grâce à l'échange de signaux lumineux et ignorant leur mouvement par rapport à l'éther. Cette remarque de Poincaré simplifiait énormément l'usage des transformations de Lorentz, car elle permettait d'associer directement l'invariance des équations de Maxwell-Lorentz à une invariance des phénomènes électromagnétiques et optiques.

Lorentz ne réagit pas à cette dernière innovation. En 1904, il parvint cependant à dépasser les coups de pouce que lui reprochait Poincaré en obtenant l'invariance exacte des équations de Maxwell-Lorentz, sauf pour les termes sources. L'année suivante, Poincaré corrigea cette dernière imperfection, et il réaffirma la validité générale du principe de relativité (que Lorentz n'admettait toujours pas) ainsi que le lien entre ce principe et la symétrie des équations fondamentales par rapport au groupe de Lorentz. Il jugea que toute théorie future devrait satisfaire à cette symétrie au nom du principe de relativité. Il obtint les équations de la dynamique relativiste pour un modèle spécifique de l'électron. Et il suggéra une modification de la loi de la gravitation de Newton qui la rendit compatible avec l'invariance de Lorentz.

Faut-il réviser l'histoire de la relativité ?

Nous fêtons bientôt le centenaire de la théorie de la relativité. Au seuil de cet événement, se multiplient les écrits partisans qui font de Henri Poincaré le seul et véritable auteur de cette théorie. Dès 1951, le physicien mathématicien britannique Edmund Whittaker parlait de la "théorie de Lorentz et Poincaré" et écartait délibérément le nom d'Einstein. Ce jugement dérivait d'une conception de la théorie physique qui mettait en avant son appareil formel (le groupe de Lorentz-Poincaré) et négligeait son architecture conceptuelle. Mais des forces plus obscures, telles que le chauvinisme, l'esprit d'école ou même l'antisémitisme, animent souvent les champions de la priorité de Poincaré, dont la gloire se passe de ces prétendus redresseurs de torts. Leurs méthodes relèvent de la propagande : les citations de Poincaré sont artificiellement isolées de leur contexte, le jeune Einstein est accusé de malhonnêteté, et l'on va même jusqu'à prêter aux scientifiques allemands de sombres machinations nationalistes.

A l'opposé de cette tendance, les historiens des sciences ont souvent fait d'Einstein le seul découvreur de la relativité. Contrairement à Whittaker, ils ont relégué l'appareil formel au second plan et considéré la nouvelle cinématique d'Einstein comme l'essentiel de la relativité (oubliant en cela que les fondateurs présumés d'autres théories, Maxwell ou

hommes du passé. Un but plus légitime de l'historien de la relativité est de comprendre la genèse de cette théorie en restituant les contextes et les problématiques pertinentes, en analysant les motivations et les interactions de tous les acteurs impliqués, et en évitant de trop spéculer quand les sources font défaut. C'est seulement au bout d'une telle recherche, systématique et désintéressée, que l'on peut faire la part des contributions de Lorentz, Poincaré et Einstein à la théorie de la relativité. Ce qui suit est un exposé schématique des résultats de l'enquête menée par les historiens cités dans la bibliographie.

La théorie de Maxwell, telle qu'on la comprenait encore au début des années 1890, n'avait que peu à voir avec ce que nous entendons aujourd'hui sous ce nom. Son objet était une description purement macroscopique des états d'un milieu mécanique subtil, l'éther, éventuellement modifié par la présence de matière et accompagnant celle-ci dans ses mouvements. Elle ramenait tout autre concept électrique, dont la charge, le courant et la polarisation, à de tels états. Le Maxwell historique voulait certes réduire l'optique à l'électromagnétisme, comme le fait "notre" Maxwell. Mais il n'y parvenait qu'en négligeant plusieurs classes de phénomènes, dont la dispersion, les effets magnéto-optiques et l'optique des corps en mouvement.

son éther rendait compte de l'aberration des étoiles. L'interférence entre une onde primaire et les ondes secondaires créées par les vibrations sympathiques des ions d'un corps transparent rendait compte de l'indice optique n et de ses variations avec la fréquence (dispersion). Mieux encore, elle impliquait un entraînement partiel des ondes lumineuses par un corps transparent en mouvement (par rapport à l'éther), avec le coefficient $1-1/n^2$. Comme Augustin Fresnel l'avait noté en 1818, ce coefficient permettait d'éviter que le vent d'éther altérât les lois de la réfraction dans une expérience terrestre. Une expérience de Hippolyte Fizeau avait confirmé sa valeur en 1850.

Plus généralement, Lorentz démontrait l'absence d'effet du vent d'éther sur les expériences d'optique terrestre au premier ordre en u/c , où u désigne la vitesse de la terre à travers l'éther et c la vitesse de la lumière. Sa théorie permettait aussi d'expliquer le résultat négatif d'une expérience du second ordre réalisée en 1887 par Albert Michelson et Edward Morley, à condition d'admettre une contraction des corps solides dans le sens du vent d'éther et dans le rapport $\sqrt{1-u^2/c^2}$. Afin d'établir l'absence d'effets du mouvement de la terre au premier ordre, Lorentz écrivait d'abord les équations fondamentales dans le repère de l'éther, puis passait dans un repère terrestre par une transformation de Galilée $x'=x-ut$, et enfin effectuait un nouveau changement



Astronomie et mathématique par Hélène Dufau. La Sorbonne.

Poincaré maintint cependant l'éther jusqu'à sa mort, en tant que repère privilégié dans lequel les horloges donnaient le "temps vrai" et la lumière se propageait à vitesse vraiment constante. Il qualifiait les temps et les espaces mesurés par des observateurs en mouvement d'appareils, bien que le principe de relativité interdît toute différence mesurable entre le repère de l'éther et un repère en mouvement. Sans doute préférerait-il maintenir des concepts d'espace de temps excellemment adaptés à l'expérience ordinaire plutôt que de les modifier au nom de phénomènes nécessitant des vitesses extrêmes.

Seul Einstein eut l'audace de déclarer que les divers référentiels inertiels étaient entièrement équivalents, que les temps et les espaces mesurés dans chacun d'entre eux étaient tous sur le même pied. Il se persuada d'une exacte validité du principe de relativité vers 1901, avant d'avoir lu Poincaré. Contrairement à ce dernier, il accompagnait cette conviction du rejet du concept d'éther, au nom d'un principe épistémologique d'univocité des représentations théoriques : à un seul et même phénomène devait correspondre une seule représentation théorique. La théorie de Lorentz ne satisfaisait pas à ce critère car, par exemple, elle donnait deux explications différentes du phénomène d'induction due au mouvement relatif d'une bobine et d'un aimant, selon que c'était la bobine ou l'aimant qui se déplaçait par rapport à l'éther.

Au nom du même principe épistémologique, il fallait se représenter la propagation de la lumière d'une manière analogue dans tous les référentiels inertiels. En 1905, Einstein comprit que cela était possible à condition de poser la constance de la vitesse de la lumière

comme principe (et non plus comme conséquence de l'existence d'un milieu de propagation) et de redéfinir les concepts d'espace et de temps en conformité avec ce principe et celui de relativité. Il établit alors que les espaces et les temps mesurés dans deux référentiels distincts se trouvaient reliés par une transformation de Lorentz. Il en déduisit la contraction des longueurs et la dilatation des temps. Il démontra l'invariance des équations de Maxwell-Lorentz. Il déduisit quelques phénomènes de l'optique des corps en mouvement. Et il obtint la dynamique relativiste d'un corpuscule sur la seule base de l'invariance de Lorentz et de l'accord asymptotique avec la mécanique newtonienne.

Il est possible que l'interprétation de Poincaré du temps local de Lorentz ait joué le rôle de déclencheur du train de raisonnements d'Einstein. Et il est vrai que les théories d'Einstein et de Poincaré partagent le principe de relativité et une même structure mathématique, ont les mêmes conséquences vérifiables expérimentalement, et exigent toutes deux l'invariance de Lorentz de l'ensemble des lois de la physique. Mais la structure

conceptuelle à laquelle aboutit Einstein, fondée sur deux principes, déductive et sans éther, est bien différente de celle de Poincaré. Elle ressemble beaucoup plus à ce que nous entendons aujourd'hui par théorie de la relativité. Tout préjugé présentiste mis à part, elle bénéficie d'une clarté supérieure d'exposition. On ne peut donc pas dire que la contribution d'Einstein est superflue. Elle est même essentielle pour le philosophe qui voit dans la réforme de l'espace et du temps un geste capital.

En conclusion, l'historien ne peut comprendre la construction de la théorie de la relativité que comme un processus graduel et collectif. Lorentz, Poincaré et Einstein (et d'autres acteurs à un moindre degré) y ont participé dans des mesures comparables, si tant est que les sauts conceptuels puissent se mesurer. Einstein fut cependant le seul à franchir la dernière étape, emblématique de la relativité : le bouleversement des concepts ancestraux d'espace et de temps ■

Bibliographie : voir sur le site de l'Académie des sciences : www.academie-sciences.fr

Quelques réflexions autour du livre

« Naissance de la Physique de la Sicile à la Chine² »

par Michel Soutif¹

L'Académie des sciences vient de couronner cet ouvrage du prix Villemot décerné tous les quatre ans à une publication scientifique originale ou de vulgarisation scientifique.

Il existe un assez grand nombre de livres consacrés à la physique moderne, celle du ^{xx}e siècle. Ce sont, soit des exposés savants, soit des ouvrages de vulgarisation plus ou moins réussis. Mais les débuts de cette science, les balbutiements de la découverte, sont pris en compte de façon très dispersée et très fragmentaire et pourtant constituent une base de réflexion pédagogique non dénuée d'intérêt.

A partir d'un cours à option sur l'histoire des sciences offert tant aux étudiants scientifiques qu'à ceux d'histoire et de philosophie, j'avais déjà publié un livre sur « l'Asie, source de sciences et de techniques » afin de combler, modestement, ce vide effarant qui entoure en France toutes les civilisations asiatiques.

Il m'a semblé utile cette fois-ci de confronter les conceptions initiales dans un domaine scientifique, celui de ma discipline, entre les divers foyers de connaissances qui se sont manifestés à travers l'Eurasie.

Non seulement l'étude de l'apparition des idées de base et de leurs applications mais celle de la communication de ces connaissances à travers le continent eurasiatique me paraissent instructives.

L'Eurasie a été le siège d'un grand nombre de migrations de population. Ce sont des cultivateurs moyens-orientaux qui ont amené, à partir de - 6 000 en Europe, leurs gros mammifères domestiqués et leurs céréales comme le blé inconnu à l'Ouest. Ce sont les Indoeuropéens qui, à partir de - 2000, viennent avec le cheval dompté en Asie Centrale. Ce sont les Celtes qui, après - 750, nous

apportent le fer. Puis les Huns, les Khazars, les Mongols, les Arabes (via l'Espagne) nous envahissent et, au-delà de quelques inconvénients, apportent de nouvelles connaissances découvertes ailleurs. C'est un phénomène de convection (la chaleur est véhiculée par la matière).

A travers l'Asie et l'Europe, dès les caravanes d'ânes reliant l'Assyrie au grand centre commercial de Kanisch en Anatolie vers - 1900 des négociants font le voyage entre deux centres commerciaux où ils échangent avec des collègues des produits mais aussi des idées. Ceux-ci font de même sur un autre trajet, et de place en place dans un trajet en zigzag les connaissances diffusent (comme les neutrons dans un réacteur). Le phénomène est plus lent que le précédent mais il est permanent, sur la route de la soie, le long du Dniepr pour les marchands Varègues reliant Byzance à la Baltique, etc...

Dès l'invention de l'écriture mais surtout après la vulgarisation du papier, les savants entretiennent entre eux des correspondances détaillées. Depuis le

Bagdad des Abbassides vers 800, les arabes écrivent à leurs collègues tout autour de la Méditerranée et tout le savoir de la Maison de la Sagesse est ainsi conduit (comme par des électrons) à partir de cette source fondamentale de culture scientifique.

De tous les systèmes physiques de transfert de l'énergie, seul le rayonnement ne joue guère de rôle avant que les sources soient assez « chaudes » techniquement, c'est-à-dire que l'électromagnétisme ait vu les développements du ^{xx}e siècle. Certes le téléphone ou internet sont à notre échelle de temps infiniment plus efficaces et rapides. Mais les trois premiers phénomènes avaient le temps pour eux et c'est ainsi qu'à travers l'Eurasie où tous ces phénomènes ont pu jouer librement, pierre par pierre s'est édifié l'immense édifice de la science et de la technologie moderne.

On comprend alors que l'Afrique, où pourtant les premiers hommes se sont différenciés, n'a pu jouer le même rôle, coupée par les zones équatoriales. Il en va de même de l'Amérique ou même entre le Mexique et les États-Unis la

différence de climat a longtemps empêché la diffusion du maïs.

Notre civilisation moderne ne peut donc être comprise qu'en étudiant toute l'Eurasie et en donnant le poids qui lui revient à la participation de l'Asie. C'est ce que le livre en question s'efforce de réaliser dans le domaine particulier de la physique.

Mais il en va de même pour les autres disciplines scientifiques et l'on peut observer « *a contrario* » que l'absence de communication a complètement stoppé tout progrès. L'exemple le plus frappant est celui des Papous de Nouvelle Guinée. Lorsque les premiers *Homo Sapiens* du paléolithique ont franchi le faible espace qui séparait l'Indonésie liée au Sud-Est Asiatique et le continent formé par la Nouvelle Guinée, l'Australie et la Tasmanie, ils disposaient des techniques lithiques de l'époque. La remontée du niveau de la mer a isolé la Nouvelle Guinée et une jungle impénétrable s'est développée dans la partie basse près du littoral. Les tribus ont remonté les vallées de l'immense arc montagneux qui constitue l'épine dorsale de l'île et se sont installés dans des hautes vallées vers 1 000 mètres d'altitude. A partir de ce moment, elles n'ont plus conservé aucun lien entre elles au point que Claude Hagège y a dénombré plus de 750 langues complètement différentes ; elles sont restées alors à l'âge de pierre.

Lorsque l'Histoire se démarqua des racontars ou de la légende (Gilgamés) pour aborder un terrain scientifiquement vérifié, ce fût pour relever les faits politiques et militaires concernant une période donnée. Thucydide (-460;-395) nous rapporte la guerre du Péloponnèse, Si Ma Qian (-145;-90) nous parle des dynasties Shang et Zhou et de l'unification de la Chine. Ils font vivre des dialogues qui campent les principaux personnages, mais ne dépassent pas les faits politiques et militaires.

Bien longtemps après, à partir du milieu du ^{xix}e siècle, sous l'influence d'Allemands comme Karl Marx ou plus encore Max Weber, l'histoire économique, comme moteur des faits histo-

¹ Président honoraire et professeur émérite de l'université Joseph Fourier à Grenoble.

² 2002, EDP Sciences

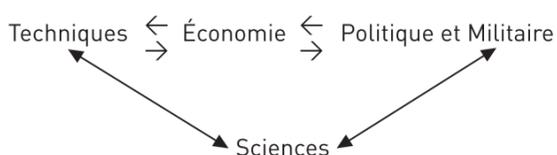


Planisphère du rez de chaussée au Centre Pompidou.

riques, a acquis ses lettres de noblesse. Mais presque tous les historiens s'en tinrent là.

Or l'économie est profondément déterminée par le niveau de la Technique et celle-ci résulte des connaissances scientifiques. Il y a donc filiation entre ces facteurs mais celle-ci n'est pas à sens unique et en particulier le développement scientifique est directement influencé par la volonté politique. Nous sommes bien habitués à savoir que le niveau scientifique d'un pays dépend de la part de son PNB qu'il consacre à la recherche. Mais cette notion, vue sous cet angle moderne, est en fait présente tout le long de l'Histoire depuis les efforts de Tiglath Phalazar III (-745 ; -723) en Assyrie qui inspirèrent Thalès un siècle plus tard, puis bien après la Bibliothèque et le Musée d'Alexandre (créés par Ptolémée-Soter en -290), la maison de la sagesse à Bagdad (al Mamoun, 813) ou encore les académies scientifiques françaises (Colbert : 1666) ou anglaises (1663).

On peut donc se représenter l'Histoire sous forme d'une boucle :



et vouloir étudier cette discipline en négligeant une partie de la boucle ne peut conduire qu'à des erreurs. Et pourtant c'est le cas le plus général : Ainsi le grand historien français Fernand Braudel, mort récemment, expose dans son ouvrage « *L'Identité de la France* » toutes les disciplines qu'il a dû mobiliser (1986) : « géographie – anthropologie – démographie – économie politique – politologie – étude des cultures et des mentalités – sociologie – relations internationales ». De développement scientifique et technique, point du tout !

Il est clair que la France ne sait même pas faire bouillir de l'eau pour actionner une machine à vapeur. Blaise Pascal, Antoine Laurent de Lavoisier ou André-Marie Ampère sont des plaisantins sans la moindre influence, sans parler des mathématiciens bien sûr.

J'ai au contraire dans la « Naissance de la Physique » chercher à mettre en valeur les interactions à travers toute cette boucle et le dernier chapitre du livre s'intitule « La physique et le pouvoir ».

Certaines découvertes ou inventions ont eu un rôle de catalyseur dans le partage du savoir. Bien sûr à la base de l'édifice, l'écriture, l'écriture sumérienne et égyptienne suivies de tous leurs dérivés. Contrairement à une pensée intuitive, l'écriture d'une langue ne va pas de soi ; sur 3 à 6 000 langues recensées (Cl. Hagège), seules une petite centaine s'écrivent et toutes les graphies dérivent de quelques modèles. Il en va de même de la numération décimale de position et de l'usage du zéro qui la complète.

Après l'écriture (calame et support), la découverte du papier, support universel et bon marché par Cai Lun en 107 a été capitale. Elle a entraîné plus tard la mise au point de la xylographie (Sutra du Diamant, 868) et de la typographie (Bi Sheng, 1048) qui ont permis à la connaissance de sortir des bibliothèques des monastères et des palais. Ainsi, du Moyen-Orient à l'Extrême-Orient, l'Est du continent Eurasie a de loin précédé le développement de l'Occident.

Une mise au point plus technique mais non moins capitale est celle de la roue à

Sumer (- 3 500), dispositif qui paraît simple mais pose le redoutable problème de l'articulation entre l'essieu et le corps du véhicule. Les chariots vont largement participé avec le transport des marchandises à l'expansion des connaissances. Que l'on songe que les pierres des pyramides (jusqu'à 14 tonnes) étaient amenées à pied d'œuvre par des traîneaux glissant sur de l'argile mouillée et tirés par des centaines d'hommes !

Ainsi ce livre a été inspiré par deux idées forces : l'Histoire doit nécessairement, à chaque étape, tenir compte du développement des sciences et des techniques, et celles-ci ne peuvent être correctement appréhendées qu'en envisageant toute l'Eurasie.

La désaffection des lycées pour les sciences et tout particulièrement la physique peut être combattue de diverses manières, mais l'une d'entre elles, que nous avons testée, consiste à rendre plus vivant l'exposé de cette matière en introduisant dans son enseignement une dose d'histoire de la discipline. Afin de mettre à la disposition des enseignants la matière concernant leur programme, l'exposé a été découpé en chapitres indépendants portant sur chaque type de phénomène ■

par Dominique Lecourt ¹

L'importante question de la perception de la science dans les sociétés contemporaines peut être abordée de façon très précise par la sociologie dont les outils statistiques ont une valeur inestimable. Seules de telles études permettent de fonder une tentative d'explication de ce qu'on déplore comme une baisse d'attractivité des filières scientifiques dans de nombreux pays, dont la France. De telles études présentent également un intérêt considérable pour apprécier et anticiper les réactions du public notamment face aux actuels progrès des sciences du vivant et des biotechnologies. Cette question s'impose à l'attention des décideurs industriels et politiques. Le cas de la culture des OGM représente un cas extrême, mais il en va de même, à des degrés divers, des prises de position sur les techniques de procréation, le clonage thérapeutique, et les recherches sur les cellules souches.

La philosophie peut apporter sa contribution au traitement de ces questions. A un double titre indissociablement épistémologique et éthique.

La philosophie s'est en effet présentée au premier chef en Occident comme impliquée par les démarches du savoir engagé dans la production des connaissances. Les philosophes se sont toujours efforcés d'expliquer ce qu'est la connaissance, en fonction du mouvement de la science en marche. A ce titre, ils se sont penchés sur les diverses opérations de l'esprit et ont notamment procédé à des analyses de la perception. Or, qu'il s'agisse de la perception individuelle ou collective, la conception empiriste qui la présentait comme pur enregistrement d'un donné extérieur ne fait plus l'unanimité. Toute perception s'avère en effet structurée par un ensemble de jugements implicites. Dans le cas qui nous occupe, toute perception des progrès scientifiques et technologiques se révèle solidaire d'un certain nombre de jugements préalables sur la nature et le sens de la démarche scientifique pour la condition humaine. C'est l'une des tâches majeures de la philosophie que de sortir ces jugements de l'implicite, de les expliciter, de les thématiser et de les problématiser.

Depuis la dite révolution industrielle au XIX^e siècle, une idée s'est imposée, sous l'impulsion de philosophes-ingénieurs - Auguste Comte (1798-1857), Herbert Spencer (1820-1903) - : que la science délivre des certitudes, c'est-à-dire des vérités garanties intangibles suscep-

¹ Professeur de philosophie et directeur du Centre Georges Canguilhem à l'université de Paris 7, président du Comité d'Éthique de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Science et p

tibles de guider l'action avec justesse et efficacité. On peut qualifier cette conception de positiviste. La technologie y apparaît commandée par les possibilités d'appliquer la science aux divers domaines de l'activité humaine. Permettant tout particulièrement d'accumuler des biens matériels, elle pourrait conduire ses bénéficiaires au bien-être, voire à terme, au bonheur. Porteuse de vérités démontrées, elle aurait le pouvoir de combattre efficacement les superstitions - et tout spécialement religieuses. Le positivisme qui enjoint de ne pas s'aventurer hors de l'observable se fait ici « scientisme ». Et la France de la Troisième République, théâtre d'une guerre prolongée entre l'Église catholique et l'État républicain, en a fait l'un de ses traits idéologiques distinctifs.

Ce scientisme s'intégrait dans la philosophie du Progrès dont la version évolutionniste a régné presque sans partage en Occident jusqu'aux lendemains de la seconde guerre mondiale. Cette philosophie inspire encore aujourd'hui puissamment la perception que nous pouvons avoir de la science et de la technologie. Nous leur accordons une immense confiance, même si parfois elle s'assortit de critiques sur leur dévoiement par l'industrie et les puissances financières.

Mais une telle confiance, lorsqu'elle est aveugle, peut aisément se retourner en amère déception, lorsqu'on découvre que la puissance de la technoscience peut à l'occasion s'exercer au détriment de l'humanité elle-même. Les questions d'environnement comme les progrès de la biotechnologie appliquée à l'homme suscitent ainsi depuis plusieurs décennies une véritable diabolisation de la science. Si les certitudes délivrées par elle nous guident souvent vers le pire, c'est, en vient - on à penser, qu'un esprit du mal l'inspire !

La perception sociale de la science se trouve ainsi aujourd'hui partagée entre

adhésion inconditionnelle et dénigrement radical. Elle témoigne d'une véritable ambivalence des sentiments. Laquelle peut osciller brutalement d'un extrême à l'autre.

Cette étrange situation mériterait une analyse plus fine prenant en compte des générations successives de chercheurs, d'enseignements, d'étudiants et de citoyens. Elle tient, selon moi, à une double méprise philosophique, qui porte sur la science aussi bien que sur la technique.

De la science il y a lieu de redresser l'image positiviste en rappelant qu'elle

ne produit de connaissances nouvelles que sur la base d'une véritable pensée, la pensée scientifique qui fait autant appel à l'imagination qu'à l'observation et à la raison calculante ; une pensée dont l'élan représente une véritable aventure intellectuelle procédant par rectifications successives et même éventuellement par reflux contre ses principes les mieux accrédités.

J'ai reproduit en exergue de *Contre la peur*, il y a quinze ans, une phrase magnifique du grand physicien japonais Hideki Yukawa (1907-1981) : « Ceux qui explorent le monde inconnu sont des



Augustin Fresnel, Urbain Le Verrier, François Arago, coll. Académie des sciences

philosophie



voyageurs sans carte ». Cette phrase mérite toujours d'être méditée. Ce goût de l'aventure a en effet été comme effacé de la perception actuelle de la science, hormis lorsqu'il s'agit de certaines disciplines très populaires comme l'astrophysique où il semble s'être réfugié. Ce goût est pourtant particulièrement propre à attirer la jeunesse au même titre que l'appel de l'inconnu qui se trouve au principe de la construction des connaissances nouvelles. La certitude est certes d'un grand intérêt pour l'action, mais cette certitude ne peut être que limitée, relative à un domaine

d'investigation déterminé et d'ailleurs temporaire. Envisagée comme absolue, elle ouvre la voie au dogmatisme scientifique. Lequel, par réaction, suscite le dogmatisme anti-science adossé ou non à une variante instituée du dogmatisme religieux.

Quant à la technique, la prodigieuse expansion actuelle des technologies et leur diversification croissante ne doit pas en faire oublier la réalité première. On ne saurait en effet la réduire à une application de la science, selon la conception techniciste qui prévaut aujourd'hui. La science ne précède pas la technique.

C'est l'inverse qui est vrai. La technique est en réalité aussi vieille que l'histoire de l'humanité. Les paléontologues et les anthropologues montrent bien qu'un milieu ne se signale comme humain qu'à titre de milieu technique par les objets, ustensiles et armes qu'on y découvre autant que par les ossements qu'on en exhume. La technique désigne la façon dont l'être humain s'y prend avec son milieu non seulement pour s'y adapter mais pour l'étendre (au point que tous les milieux puissent devenir son « environnement »), pour le maîtriser et surmonter ainsi la finitude de ses forces. Et, au regard de l'histoire humaine, c'est, en définitive, très récemment que la science a pu s'appliquer à la technique. Cette application a d'abord visé à surmonter les échecs techniques rencontrés par l'homme dans son débat avec le milieu, puis à accroître l'efficacité des procédés mis au point. Qu'on pense par exemple au rôle joué par la balistique, si précieuse pour l'art militaire du temps, dans la naissance de la science moderne.

La technique procède par ruse. La pensée technique inventive procède par détours et reprises, essais et erreurs. Sa seule fin est celle d'un dépassement des limites imposées à l'homme par son impuissance naturelle. Il en repousse sans cesse les limites, mais il

doit toujours à nouveau en reconnaître la réalité comme un obstacle à ses désirs.

Le milieu humain ne se présente donc jamais comme pur milieu physique, mais comme un milieu surdéterminé par la culture, c'est-à-dire par l'ensemble des représentations et des gestes ajustés par les êtres humains sous la poussée de leurs désirs pour s'accommoder des grandes énigmes qui marquent leur existence. La technique participe de plein droit à la culture humaine. Elle a même source. Elle se fait à des degrés divers l'auxiliaire aussi bien de la production et

des communications que de la médecine, de la religion, de l'art, du droit aussi bien que de la politique et de la morale. Jamais la technique n'impose ainsi sa finalité propre aux autres activités humaines. Et il est erroné d'affirmer, comme on le fait volontiers aujourd'hui, que la technique constituerait par elle-même, par son développement autonome (Loi de Gabor), une menace pour les valeurs essentielles de l'homme. Les questions que posent les technologies actuelles ne se résument pas à un conflit entre une technique aveugle et une éthique en désarroi. Elles renvoient plutôt à la question de savoir si la technique telle qu'elle a été massivement investie dans la sphère de la production des biens matériels peut du coup, sans dommage pour l'épanouissement de l'être humain, soumettre les autres sphères de l'activité et de la pensée aux valeurs de l'économie dont la finalité propre est, dans nos sociétés, l'optimisation du rapport coûts/bénéfices par « économie », c'est-à-dire épargne et réduction, des moyens matériels et humains.

Ainsi conçue, la technique apparaît comme fille de la vie, elle la prolonge. Ce qui est vrai du marteau dans son rapport originel à la main reste vrai, en dernière analyse, des technologies modernes les plus sophistiquées. Ainsi resituée dans la perspective d'une tactique vitale, la technique apparaît comme une réalité collective et dynamique qui ne cesse de détruire et d'engendrer des mondes ; qui pèse sur le devenir individuel de chaque homme. Qu'on pense à l'impact des progrès de la médecine ou à celui des télécommunications sur le devenir de chacun et sur celui des rapports humains. Elle exige de tous une véritable invention normative. Les biotechnologies actuelles nous enjoignent de réinventer la mort et la vie, le sexe et la filiation ! Elles demandent à nos sociétés de favoriser cette invention par les institutions appropriées. Éducation et médias devraient être mobilisés au service de cette exigence. Et pour ce qui est de l'éducation, un enseignement historique de la pensée scientifique et technique éclairé par la réflexion philosophique devrait être mis en place.

Une nouvelle perception sociale de la science et de la technique demande que l'on se libère de conception positiviste-scientiste de la science et de la conception techniciste de la technique qui ont prévalu depuis près de deux siècles en Occident. Cette émancipation se réalisera pour le plus grand bien de l'humanité ■

Bibliographie





par Pierre Buser¹

De toutes les problématiques qui ont surgi à travers les siècles d'histoire du cerveau, celle dite des « localisations cérébrales » est sans doute l'une des plus complexes mais aussi des plus riches. On en ignore le vrai commencement ; il est difficile de savoir ce qui, avant le XIX^e siècle, avait pu le cas échéant germer dans les réflexions de tel penseur ou de tel observateur, clinicien ou non. Un peu officiellement, l'histoire débute par la phrénologie, un des épisodes les plus burlesques de la science médicale à l'aube de la modernité. Ceci lorsque F.J. Gall décida que la morphologie du cerveau se répercutait sur celle du crâne, et qu'en tâtant le second, il serait possible d'en déduire telle ou telle aptitude intellectuelle de celui qui était sous ce crâne. Le sérieux régna déjà, bien sûr aussi, car la neurologie décrivait depuis un certain temps des correspondances entre des symptômes et des lésions que seule, à cette époque, pouvait révéler l'anatomopathologie *post-mortem*. Ainsi se créa grâce à d'innombrables observations y compris celles sur les traumatismes de guerre, un corpus de données sur le rôle des différentes aires de l'écorce cérébrale, dans la commande motrice, la réception de sensations de diverses classes (vision, audition et sens du toucher de la posture et du mouvement), mais aussi dans des fonctions dites supérieures, celles que l'on aime appeler maintenant cognitives, dans la reconnaissance des formes, dans la lecture, le calcul, le langage écrit, la parole. Le domaine des neurologues, dont ceux qui se préoccupent des fonctions cognitives s'appellent à présent neuropsychologues, se bâtit petit à petit, avec un ensemble de connaissances qui, simplement fondées sur la symptomatologie, et dans les meilleurs des cas sur l'anatomie pathologique *post-mortem*, faisait amplement la loi à propos des "localisations corticales". Il y eut bien entendu des disputes, certains n'acceptant pas volontiers les localisations, par exemple à propos des aires du langage, Broca puis Déjérine appuyant fermement l'idée

Cent cinquante ans de localisations dans l'écorce cérébrale ; l'histoire continue, rien n'est acquis

d'une localisation stricte et Pierre Marie la contestant au nom d'une conception plus holistique. Mais le mot de la fin restait plus ou moins toujours dans le camp des localisateurs, avec cette idée dominante et très primaire, de situer et localiser, d'associer une certaine fonction à un certain centre de commande. En parallèle vinrent, au début du XX^e siècle, les études structurales de l'écorce. Des histologistes se préoccupèrent de caractériser l'architecture des aires et, basée sur elle, créer des cartes corticales avec des aires circonscrites, à la structure neuronale bien définie. Bien sûr se firent là aussi jour des divergences, les uns tel Vogt poussant à l'extrême la parcellisation, d'autres tels l'école américaine de Bailey plaçant pour des limites plus floues et non tranchées, c'est-à-dire penchant pour les idées favorables à un certain holisme. La voie moyenne, celle qui est maintenant acceptée par quasiment tous est celle de Brodmann ; elle est clairement, par sa façon de délimiter les aires corticales, un incontournable appel à la localisation. Mais il y eut dans l'histoire de cette aventure cérébrale, d'autres épisodes spectaculaires. Il y eut celui de Phineas Gage, ce spécialiste de la pose des voies de chemin de fer qui, en 1848, fut grièvement blessé par une barre de fer qui lui traversa le crâne et lésa son cerveau frontal. Il changea de personnalité et ce fut Harlow qui, 20 ans après, se consacra à la description de son cas clinique et sut insister sur la différence entre l'intégrité de certaines des fonctions mentales du patient et l'altération de sa personnalité. C'était constater que les fonctions cérébrales pouvaient être dissociées, donc peut-être localisées en des points différents

du cerveau. Certes les données fonctionnelles sur le lobe frontal devaient avoir une histoire plus complexe. Car si Phineas Gage fut en quelque manière oublié, d'autres auteurs dont Jacobsen se tournèrent vers les grands singes, pour démontrer les fonctions complexes que recelaient les lobes frontaux du cerveau ; de là vinrent tout à la fois une vue globale sur la complexité fonctionnelle du lobe frontal, et une méthode de traitement de certaines névroses gravissimes ; la lobotomie frontale, opération qui consiste à déafférenter le lobe frontal par section de toutes ses connexions avec les autres structures cérébrales, était née et Egaz Moniz en fut l'initiateur (lauréat Nobel). Deux autres classes d'interventions chirurgicales firent également faire un bond à notre connaissance de l'écorce cérébrale. La première fut, vers les années 1950, la section du corps calleux (CC), une commissure de fibres qui relie entre eux les deux hémisphères. La section fut pratiquée chez un certain nombre d'épileptiques souffrant d'une extension de leur épilepsie, d'un foyer primitivement unilatéral vers le côté opposé. La section du CC interrompit cette extension et le malade fut soulagé. Très curieusement, il ne présentait dans sa vie quotidienne aucun déficit majeur. Il a fallu le génie de Sperry (autre lauréat Nobel), pour mettre sur pied des tests qui démontrèrent que chaque hémisphère avait une modalité de fonctionnement différente, l'hémisphère gauche étant (chez le sujet droitier) un système voué à l'analyse fine, tandis que l'hémi-



¹ Membre de l'Académie des sciences, professeur émérite à l'université Pierre et Marie Curie

Dossier

sphère droit avait des facultés plus directement orientées vers l'analyse spatiale. Cette opposition entre les fonctionnalités des hémisphères ainsi révélée par la callosotomie et sous épreuves adéquates, est devenu un des grands classiques de la "cérébrologie", avec tous les excès que peuvent comporter de telles simplifications. La seconde intervention fut également pratiquée sur l'épilepsie incurable. Les patients étaient cette fois atteints d'épilepsie du lobe temporal, avec ceci de particulier que l'atteinte lésionnelle à l'origine de la crise touchait les deux structures clés, symétriques, abritées par le lobe temporal, à savoir les hippocampes. Un chirurgien canadien pratiqua une fois l'exérèse des deux hippocampes. Le patient ("H.M.", bien étudié par B. Milner) fut soulagé de son épilepsie; en revanche, il fut frappé d'une impossibilité complète de fixer les événements récemment ou juste vécus (alors que ses souvenirs antérieurs étaient relativement préservés). L'am-

nésie fut (et est toujours car ce patient vit encore) dite antérograde. Ce fut l'incapacité d'encoder des informations juste parvenues, autrement dit de réaliser une fixation mnésique. Inutile d'épiloguer à l'infini et faire le choix entre la critique éthique sévère et au contraire le constat du bien-être du patient, guéri de son épilepsie, mais hélas déficitaire par ailleurs. Peu importe à notre sens ici. Notre connaissance des mécanismes cérébraux aura en tout cas considérablement gagné. Puis vint la période contemporaine. Celle où les localisateurs ont apparemment gagné, d'autant que l'expérimentation animale les ont largement encouragés. Il n'empêche que des données récentes, liées à des méthodes d'investigation nouvelles, sont en train de forcer à réviser le localisationnisme strict. L'imagerie cérébrale, qui actuellement tient la clé du futur, est en train d'apporter un message nouveau sur les localisations, en montrant comment toute opération cognitive mobilise

un réseau distribué d'aires différentes, donnant ainsi du poids à ceux qui, il y a bien longtemps, avaient précisément déjà évoqué cette possibilité de fonctionnement par systèmes liés (on citerait volontiers Wernicke, comme aussi Lippmann, des hommes du début du dernier siècle). De toute évidence, une certaine localisation *stricto sensu* a perdu la mise, en faveur d'une vision quelque peu plus holistique du cortex cérébral, selon laquelle toute opération cognitive peut mobiliser un grand nombre d'aires. La discussion s'ouvre alors: "comment faire le lien entre cette multiplicité et le fait clinique, qu'une lésion circonscrite peut entraîner à elle seule une certaine symptomatologie?". Nous ne nous engagerons pas dans cette voie difficile. Mais la question reste posée. Un peu indépendamment enfin, d'autres données sont également en train de relativiser le localisationnisme. Il s'agit d'un phénomène que l'on résume lapidairement sous le nom de plasticité

corticale. On savait depuis longtemps que chez le jeune, existent des épisodes dits critiques où les structures corticales peuvent se modeler à l'environnement. Mais on sait maintenant que le cortex d'un adulte, que l'on croyait désormais figé dans sa structure et son organisation, est capable de remaniements souvent considérables. Les exemples viennent de toute part: chez l'aveugle l'aire visuelle ne joue évidemment pas son rôle mais elle devient une aire du tact ou de l'audition. Et que dire de cette curieuse observation qui a fait le tour des gazettes, que la pratique soutenue d'une fonction peut provoquer l'élargissement de territoires dont elle dépend. Il paraît que le lobe temporal des chauffeurs de taxi (londoniens) est significativement plus volumineux que celui de témoins, car l'orientation spatiale est une de leur tâche principale. A quand donc, une sorte de nouvelle phrénologie, où l'étendue relative d'une aire corticale aurait une portée fonctionnelle? ■

Buste de phrénologie au Musée Orfila



Mathématiques de la Chine ancienne

Par Karine Chemla¹

Les quelques siècles qui suivirent l'unification de l'Empire chinois, à la fin du III^e siècle avant notre ère, virent la constitution, dans un grand nombre de domaines de savoir, d'ouvrages qui devaient acquérir bientôt le statut de « Classiques » et servir de référence à l'activité savante pour nombre de dynasties à venir. Les mathématiques n'échappèrent pas à ce mouvement : *Les Neuf chapitres sur les procédures mathématiques*, compilés sans doute entre le premier siècle avant notre ère et le premier siècle de notre ère, restèrent tout au long de l'histoire chinoise, et en particulier au cours de l'âge d'or du XIII^e siècle, un modèle et une source d'inspiration.

Jusqu'il y a peu, on ne disposait en Occident que de la traduction du Classique lui-même, pure succession de problèmes et d'algorithmes. Et, même si l'on pouvait y relever quelques acquis remarquables — comme les algorithmes pour l'extraction de racines carrée et cubique ou l'usage du pivot de Gauss pour la résolution de systèmes d'équations linéaires —, il était sans doute difficile de comprendre comment, pendant des siècles, des mathématiciens avaient pu voir là un livre clef.

Plusieurs faits ont contribué à modifier radicalement notre appréhension de l'ouvrage.

Il y eut, tout d'abord, l'explosion de l'algorithmique dans les dernières décennies, à la faveur de la montée en puissance des ordinateurs. Donald Knuth, dont le *Fundamental algorithms* incarne ce mouvement, fut, je pense, le premier à comprendre l'impact potentiel de ce développement sur l'histoire des mathématiques. En lisant, par exemple, dans les tablettes babyloniennes, ce qu'elles contenaient — à savoir, précisément, des listes d'opérations visant à produire la valeur d'une grandeur demandée —, il n'y cherchait pas seulement à observer

les chemins élaborés pour mener à bien un calcul donné. De façon plus subtile, Donald Knuth porta son attention sur les opérations fondamentales mises en oeuvre dans la description même des listes d'opérations. Il ouvrait ainsi la voie à une lecture renouvelée de tels écrits, qui permettait de saisir, à même le texte, les opérations mathématiques engagées dans sa rédaction. Et il donnait de ce fait les moyens de faire sens d'énoncés typiques de la description d'algorithmes comme « $n=n+1$ », que des lectures antérieures des textes du passé avaient particulièrement malmenés. C'est au mathématicien Wu Wenjun qu'il revient d'avoir saisi la pertinence, d'avoir pressenti la fécondité de cette approche pour les écrits mathématiques de la Chine ancienne. Et, effectivement, ce nouveau regard a fait basculer notre interprétation du Classique chinois, en permettant de découvrir le travail mathématique dont témoigne la rédaction d'algorithmes dans *Les Neuf chapitres*. Pareille lecture a conduit à y mettre en évidence le recours à trois techniques fondamentales que sont l'itération, les conditionnelles et l'assignation de variables (un équivalent du fameux « $n=n+1$ »). Mais, plus important s'il se peut, elle a dégagé une orientation essentielle qui rend compte de leur emploi : l'intérêt manifeste pour les algorithmes permettant de traiter le nombre de situations le plus grand possible, lequel laisse percevoir l'importance accordée par cette tradition mathématique à la valeur de généralité. Plus largement, c'était la place centrale conférée, en Chine ancienne, aux opérations qui se signalait ainsi aux historiens. Toutes hypothèses que bien d'autres témoignages sont venus étayer depuis lors.

Cette relecture s'est produite au moment même où un autre tournant, de nature très différente, venait de s'amorcer dans l'approche du Classique. Longtemps, en effet, les historiens avaient étudié *Les Neuf chapitres* en tant que tels, comme un écrit autonome donc, en vue de déterminer les acquis mathématiques qu'il convenait d'attribuer à la Chine ancienne. C'est ce dont témoignent, par exemple, les premières traductions, en russe (E. Berioskina, 1957), puis en alle-

mand (K. Vogel, 1968), qui donnent le texte de l'ouvrage seul, et laissent ainsi accroire qu'il est susceptible d'être abordé tel quel. Pourtant, comme tout autre « Classique », *Les Neuf chapitres* firent au long des siècles l'objet de multiples commentaires, et la tradition écrite a perçu deux d'entre eux comme si essentiels à la lecture de l'ouvrage qu'ils furent transmis avec le Classique lui-même. La cohésion, aux yeux de générations de lecteurs chinois, de ces trois strates d'écrits se mesure aisément si l'on réalise que nous ne connaissons aujourd'hui aucune édition ancienne des *Neuf chapitres* qui ne comporterait pas le commentaire achevé en 263 par Liu Hui ainsi que l'exégèse rédigée sous la direction de Li Chunfeng et présentée au trône en 656. C'est à ce complexe, transmis tel quel depuis lors, où les interventions des commentateurs émaillent de part en part le texte du Classique, qu'il convient donc, je pense, de réserver concrètement le titre de *Neuf chapitres*, et non pas au seul Classique. C'est en tout cas l'ensemble que lurent les érudits chinois dans l'histoire, et aucun témoignage ne nous permet de penser qu'ils aient jamais étudié *Les Neuf chapitres*, sans consulter, tout au long de leur travail, un ou des commentaires. Traduire ou étudier le Classique seul, c'était se pencher sur un document qui relève, sauf à découvrir de nouveaux témoignages, de la chimère. L'invention de pareilles fictions, produites par les éditeurs contemporains lorsqu'ils démembrèrent les sources et arrachèrent ce qu'ils perçoivent comme l'"œuvre" originale aux textes élaborés et utilisés par les acteurs, n'est certes le propre ni de l'histoire de la Chine, ni de celle des mathématiques. Mais on pressent les distorsions historiographiques majeures que cause une telle opération. Sans pouvoir les analyser ici dans le détail, nous retiendrons qu'elles se sont traduites, pour le cas qui nous occupe, à deux niveaux. D'une part, les commentaires étaient d'emblée mis en pièces et réduits à n'être que des textes secondaires. Leur traitement s'en est longtemps senti dans l'historiographie, puisque seuls en émergeaient quelques morceaux de

bravoure, sans que quiconque se soit préoccupé de les étudier de façon systématique. D'autre part, le Classique était, lui, abordé sans méthode aucune et pouvait faire l'objet de jugements dépréciateurs, dénués en réalité de fondements valides. On comprend qu'il était difficile en ce cas de comprendre ce que des lecteurs chinois avaient pu priser dans l'ouvrage.

Or, depuis les années 1960, cette situation s'est radicalement transformée, dans la mesure où l'attention des historiens s'est progressivement détournée du Classique pour se concentrer sur les commentaires. Sans doute l'interprétation de passages difficiles et la découverte de ce que les commentateurs avaient développé des démonstrations sophistiquées — établissant la correction de procédures donnant l'une le volume de la sphère, l'autre le volume de la pyramide — constituèrent-elles un puissant encouragement à explorer plus avant ces exégèses. Toujours est-il qu'après une quarantaine d'années, on peut constater que ces travaux ont renouvelé en profondeur notre compréhension des *Neuf chapitres* et, partant, des mathématiques de la Chine ancienne. Je distinguerai ici, pour en rendre compte, deux plans.

Sur un premier plan, il est clair qu'en prêtant attention aux commentaires et en les étudiant en tant que tels, c'est notre mode de lecture des *Neuf chapitres* qui s'est métamorphosé. Avec ces annotations, nous disposons en effet du témoignage des lecteurs du Classique les plus anciens qu'il nous soit donné d'observer. Analyser comment ils font sens du texte, les attentes qu'ils manifestent à son égard, c'est se doter d'outils pour élaborer une lecture mieux fondée en raison et historiquement plus pertinente. On peut, par exemple, montrer — fait à mon sens crucial — qu'en abordant l'ensemble d'un problème et de la procédure de résolution qui le suit, Liu Hui escompte, de cet algorithme, qu'il résolve non pas ce problème-ci, mais le problème général qu'il exprime, et plus encore : il attend la procédure la plus générale possible. Qu'un problème particulier et l'algo-

¹ Directeur de recherche au CNRS, Rehseis, UMR 7596, Paris

rithme qui lui correspond soient à lire comme un énoncé général, cela ne relève pas seulement d'une pragmatique du texte qu'un interprète éclairé se doit de développer. Le fait manifeste également des options théoriques que seuls les commentaires explicitent et relient à des préoccupations philosophiques : l'élément qui focalise l'attention de ces praticiens des mathématiques de la Chine ancienne, c'est l'opération, et la transformation qu'elle réalise ; la valeur qui oriente le travail mathématique, c'est la généralité, qui entretient une relation inattendue à l'abstraction. Une fois ces options mieux cernées, de multiples indices trahissent leur empreinte sur *Les Neuf chapitres*, malgré le caractère dépouillé de leur rédaction — nous en avons signalé quelques-uns plus haut. Si l'on confronte cette interprétation aux lectures spontanées d'antan, qui ne trouvaient dans le Classique qu'une collection de recettes pratiques, on devine le bénéfice qu'on peut tirer du fait de replacer *Les Neuf chapitres* dans l'environnement textuel qui fut constam-

ment le leur dans l'histoire. Cependant, l'intérêt des commentaires ne peut se résumer, loin s'en faut, au fait qu'ils nous dotent de moyens pour accéder autrement au Classique et le restituer à sa réalité historique.

C'est ici que s'introduit notre second plan : l'étude des commentaires s'est avérée capitale pour elle-même, dans la mesure où elle a révélé des pans entiers d'activités mathématiques qu'autrement, seules des traces difficiles à lire avec rigueur attesteraient. Nous avons, par exemple, désormais les preuves d'un intérêt systématique et explicite des commentateurs pour établir la correction des algorithmes du Classique. Plus précisément, chaque algorithme des *Neuf chapitres* est l'objet d'un commentaire de Liu Hui ou de Li Chun-feng qui développe les raisons pour lesquelles il est correct. Ces documents chinois nous invitent donc à revoir la thèse selon laquelle ce serait seulement en Grèce qu'il conviendrait de chercher l'origine de la démonstration mathématique.

Les premières annotations qui retiennent l'attention des historiens en la matière offraient les démonstrations les plus conformes aux attentes qu'on peut nourrir si l'on souscrit au principe, par trop partagé, que démonstration rime avec *Eléments* d'Euclide. Il n'est donc pas surprenant qu'elles aient, dans un premier temps, monopolisé l'intérêt. Pourtant, on conçoit aisément qu'il y a peu de raisons que, s'attachant à établir la correction d'algorithmes, les commentateurs s'adonnent à une pratique de la démonstration en tout point semblables à ce qu'attestent des textes grecs, puisque ceux-ci visent pour l'essentiel à prouver la vérité de propositions. De fait, en élargissant la focale et en étudiant les commentaires globalement, on voit émerger une conduite de la démonstration élaborée et réglée qui pose des questions de deux ordres. Qu'est-ce que, d'une part, démontrer la correction d'algorithmes ? Les commentaires constituent un matériau pertinent pour explorer cette question et ils fournissent de surcroît les premiers élé-

ments d'une élaboration théorique à ce sujet. Mais qu'en est-il, pour une autre part, de l'histoire de la démonstration d'algorithme et quel rôle convient-il de lui attribuer dans une histoire internationale des mathématiques ? Si nous disposons aujourd'hui de quelques pistes de réponse, il s'agit là, d'abord et avant tout, d'un programme de recherche qu'il nous reste à développer et qui nous permettra, incidemment, de déterminer la place qu'il convient d'assigner aux écrits chinois dans une histoire mondiale de la démonstration.

Quoi qu'il en soit, on comprend bien, je crois, au terme de cette évocation, en quoi les commentaires du Classique nous aident à mieux percevoir pourquoi ce complexe de textes que recouvrait concrètement l'appellation de *Neuf chapitres* a pu revêtir, aux yeux des mathématiciens de la Chine ancienne, une telle importance et pour aussi longtemps ■



dans un environnement assez dur, celui des urgences, j'avais à prendre des décisions réelles pour des gens réels.

Cet équilibre que j'ai eu durant de longues années, avoir un lundi plongé dans le concret des urgences et le reste du temps enseigner, corriger des copies, écrire, a façonné ma manière de philosopher. J'ai souvent choisi de faire valoir une idée philosophique à travers un type de situation médicale ou d'énigme biologique et je pense que c'est une bonne façon de poser les problèmes philosophiques. Les vraies questions en philosophie des sciences se posent, je crois, à partir de la science elle-même, et surgissent du travail scientifique. Il y a

recherche avec le consentement aux soins, et à supposer ce consentement acquis du fait que les gens venaient se faire soigner. L'idée que lorsqu'on pratique une intervention sur une personne à des fins de recherche il faut tout lui expliquer, s'assurer qu'elle comprend, et lui demander son accord, a été une révolution culturelle en médecine. Aujourd'hui on admet que même pour les soins le consentement éclairé est requis, et si la personne ne souhaite pas recevoir les soins qu'on lui propose, on ne peut pas la forcer.

La méthodologie de la recherche clinique (plans expérimentaux, randomisation, double insu, interprétation statistique)

que les dangers des OGM sont fantasmagiques, mais il est difficile de débarrasser les gens des peurs fantasmagiques, il y en a toujours eu et à toutes les époques. Le public comprend assez bien ce que la médecine peut faire de bon, et aussi de dangereux, alors que dans le cas de l'agriculture ou de l'élevage cette compréhension est plus floue, et chargée d'imaginaire.

Quelle est votre position touchant la recherche sur les cellules souches humaines ?

Je me suis prononcée par écrit sur cette question dans la revue *Pour la science*

La science et la philosophie morale

Entretien avec Anne Fagot-Largeault¹



par Paul Caro²

Question :

Vous avez suivi un triple parcours : philosophie spécialisée en logique, épistémologue des sciences du vivant, médecin hospitalier en psychiatrie, qu'est ce qui vous a conduit à pratiquer simultanément ces trois domaines ?

Ces trois domaines à mon avis n'en font que deux. D'un côté, je suis une philosophe de formation intéressée par la philosophie des sciences. Je suis allée étudier la logique aux États-Unis parce qu'à l'époque on ne l'enseignait pas en France. J'imaginai, comme d'autres alors, que la philosophie des sciences, c'était la logique des sciences... De l'autre côté, j'ai fait de la médecine secondairement en rentrant en France après les États-Unis tout en enseignant la philosophie parce que j'avais besoin d'un enracinement concret de mon enseignement philosophique.

Je faisais tous les lundis les urgences psychiatriques dans un service d'urgences générales, j'aimais beaucoup ce travail. Le contact avec les malades est un antidote à l'abstraction philosophique. Je rencontrais des détresses réelles et

eu en philosophie des sciences une tendance à prendre les choses par la logique, c'est-à-dire d'une façon très générale et par le haut (*top-down*). Mais s'imaginer que l'on résout des problèmes de philosophie des sciences par la seule logique me paraît illusoire. Entrer dans le vif du sujet c'est souvent faire dans l'autre sens (*bottom-up*) : partir du terrain scientifique et voir comment le problème philosophique se dégage à partir de là. En tout cas, c'est plutôt ma méthode.

Il y a aujourd'hui une demande explicite de philosophie des sciences, sous la forme de philosophie pratique (morale) plus souvent que de philosophie théorique (épistémologie), encore qu'on voit ici et là de jeunes biologistes s'intéresser aux méthodes de classification, ou des internes en médecine s'interroger sur le raisonnement diagnostique, même si ces sujets sont peu enseignés dans les cursus.

En quoi la recherche clinique est-elle concernée par l'éthique, par l'épistémologie ?

La recherche sur des êtres humains pose des problèmes moraux dans la mesure où on estime que l'on ne peut pas faire subir à quelqu'un des choses qu'il ne voudrait pas subir lui-même spontanément. Il faut donc obtenir son accord avec l'objectif, et la méthodologie, de la recherche. Les conditions dans lesquelles cet accord est obtenu, surtout si l'on s'adresse à des malades dans le cadre des soins, surtout s'il s'agit de personnes vulnérables, sont délicates à préciser. Les médecins ont eu tendance à confondre le consentement à la

est complexe. Elle soulève des problèmes épistémologiques intéressants comme celui des "niveaux de preuve". Dans la mesure où les médecins se reconnaissent aujourd'hui un "devoir de recherche" en plus du "devoir de soin", il faut qu'ils maîtrisent cette méthodologie, et réfléchissent sur ses difficultés.

Le progrès technique en matière de biologie, et la maîtrise du corps humain qui en résulte, font-ils peur ?

Je ne suis pas sûre qu'on puisse dire que les technologies offertes dans le cadre de la médecine clinique font peur. Elles sont recherchées. L'Observatoire européen des biotechnologies a montré que les biotechnologies qui font peur, ce sont les biotechnologies alimentaires ou agricoles. C'est irrationnel sans doute mais les greffes d'organes ne font pas peur, les personnes qui les refusent sont rares ; or il est plus dangereux de recevoir dans son corps un foie greffé qu'un OGM dans son assiette. Lorsque pour traiter la maladie de Parkinson on propose au patient de remplacer le médicament devenu peu efficace par une électrode implantée dans le cerveau, il y a escalade technologique, et les patients sévèrement atteints la souhaitent. Les innovations médicales sont populaires. Elles apparaissent comme bénéfiques. Est-ce que les médecins ont réussi leur communication publique de telle sorte que les gens ont (depuis Pasteur ?) une image positive de la médecine ? Est-ce que les chercheurs en biologie végétale ont raté leur communication de telle sorte que ce sont les gens qui vont ravager les champs d'OGM qui sont populaires ? Je pense

et dans une revue de philosophie politique *Raison publique* (n° 3, Nov. 2004). Beaucoup de gens pensent, et la loi française a ratifié cette opinion, que la recherche sur les cellules souches humaines embryonnaires est moralement mieux acceptable que la recherche sur des cellules clonées, c'est-à-dire construites par transfert, dans un ovocyte énucléé, d'un noyau d'une autre cellule. Je pense juste le contraire. On admet, puisqu'il y a abondance d'embryons humains abandonnés dans les congélateurs de la procréation médicalement assistée, et que ces embryons sont voués à être détruits, que les utiliser pour la recherche vaut mieux que de les détruire. Je partage cette opinion, mais sur cette voie de recherche on anticipe aussi des inconvénients touchant les applications médicales éventuelles : les greffes proposées à partir de banques de cellules tirées de lignées issues de cellules souches embryonnaires nécessiteront comme toute allogreffe un typage HLA et un traitement immunosuppresseur. La construction de cellules souches par transfert dans des ovocytes de noyaux cellulaires issus du futur receveur de greffe ouvrirait la possibilité de réaliser au cas par cas des greffes immunocompatibles, ce qui serait un grand bienfait thérapeutique. On ignore encore si c'est réalisable, mais ce type de recherche a démarré en Grande-Bretagne, en Corée, etc. Une équipe britannique a été autorisée à chercher si le clonage à visée thérapeutique peut déboucher sur un traitement du diabète insulino-dépendant sévère. L'argument que si on met le petit doigt dans le clonage thérapeutique on glissera vers le clonage reproductif me semble ridi-

¹ Membre de l'Académie des sciences, professeur au Collège de France.

² Correspondant de l'Académie des sciences, directeur de recherche au CNRS

Dossier

cule. On peut tout à fait interdire le clonage reproductif (c'est le cas en Grande-Bretagne) et autoriser la recherche sur le clonage thérapeutique. Même sans juger que nous reproduire par clonage serait un "crime contre notre espèce", nous avons à ce jour toutes les raisons de penser que nous reproduire par clonage serait faire courir de gros risques aux enfants à naître. Nous avons aussi des raisons de penser que le clonage thérapeutique pourrait permettre de réparer des lésions de la moelle épinière, des os, des cartilages articulaires (chez les accidentés de la route ou du sport), peut-être des lésions du tissu hépatique, rénal, cardiaque... Je pense qu'il est paradoxal de barrer *a priori* ces possibilités et que l'option prise en France actuellement est une option conservatrice, qui est dommageable pour la recherche et même pour l'éthique, parce que l'idée qu'il faut respecter l'embryon humain formé en vue de la procréation est une idée tout à fait défendable éthiquement, même si à mon avis elle n'est pas incompatible avec le don de ces embryons à la recherche, alors que l'idée qu'il faut respecter une cellule souche construite par transfert de noyau me paraît une idée beaucoup plus difficile à défendre éthiquement.

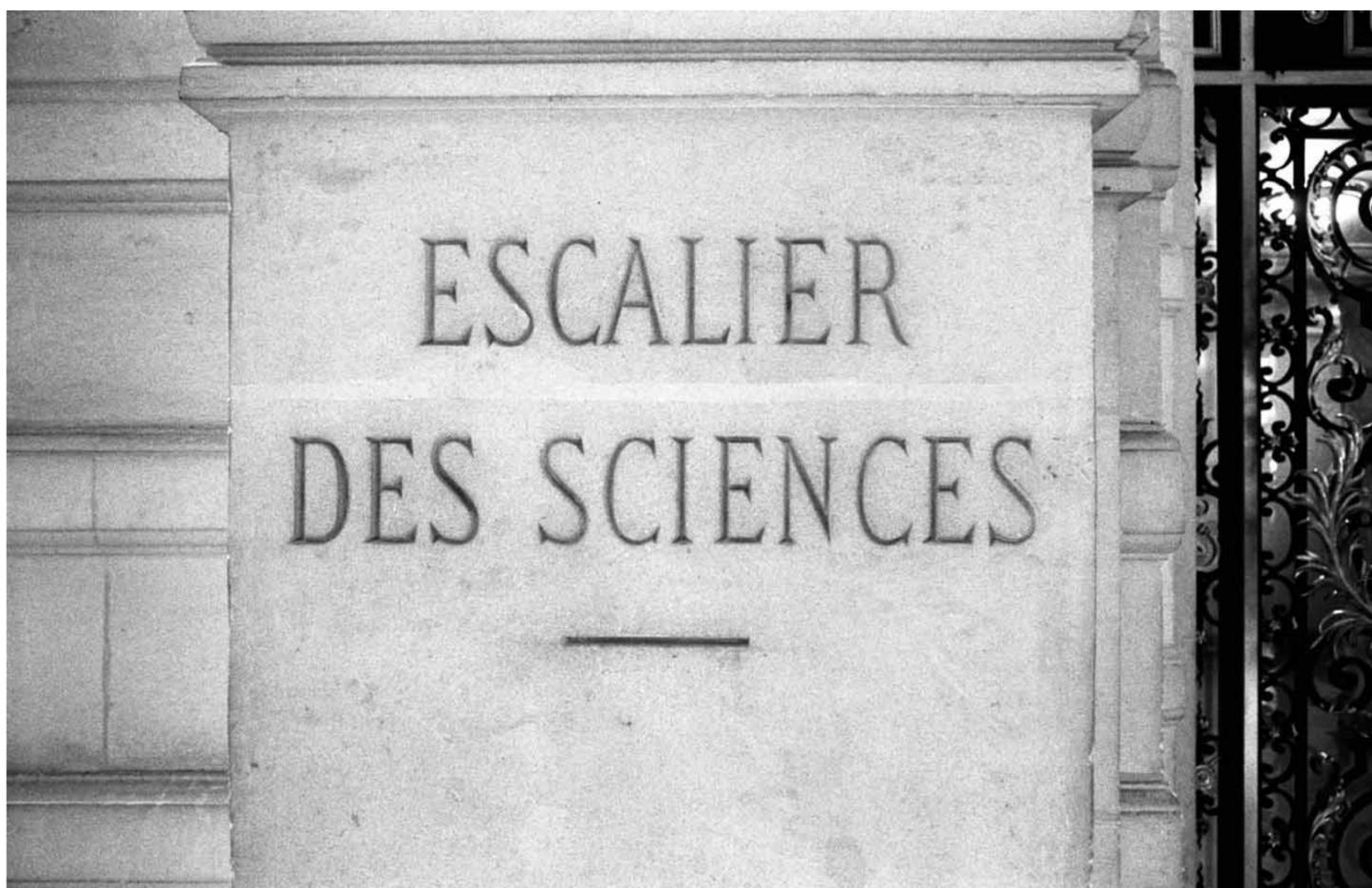
Quelle est l'histoire de la bioéthique ? Quels sont ses liens avec l'histoire et la philosophie des sciences ?

L'histoire de la bioéthique est au départ largement une histoire américaine, mais si on la replace dans son contexte, l'histoire de la bioéthique c'est l'histoire de la philosophie morale confrontée au développement des biotechnologies. Le mot "bioéthique" est apparu dans les années 1970. Il s'était produit dans les années 60 aux États-Unis un certain nombre d'événements médicaux ou de recherche médicale moralement contestables. Ce furent l'affaire des personnes âgées à qui on avait inoculé des cellules cancéreuses pour voir si elles formaient des anticorps contre le cancer, l'affaire de ces enfants à qui on transmettait l'hépatite quand ils entraient à l'hôpital, l'affaire de la population autour de Tuskegee au sud des États-Unis chez qui on observait depuis les années 30 l'évolution naturelle de la syphilis non traitée même après que l'on ait découvert l'efficacité remarquable de la pénicilline à guérir cette maladie. Les problèmes furent d'abord signalés, et confinés, au sein du milieu médical, mais le scandale éclata ensuite dans la grande presse, ce qui lança tout un mouvement de réflexion sur ce qu'un médecin a, ou n'a pas, le droit de faire à ses malades. Mais l'idée que l'activité du chercheur scientifique pose des problèmes moraux n'est pas liée à la bio-médecine. Après Hiroshima il y a eu dans la communauté des physiciens des discussions très lourdes et

État en vienne à légiférer sur la science, cela lui paraissait inconcevable. Jusqu'à la seconde guerre mondiale, les scientifiques considéraient que le travail de recherche a une sorte de privilège d'exterritorialité. Le travail scientifique est un travail fait par des gens responsables, qui ont une morale ascétique, une morale un peu particulière qui échappe à la loi commune. Il reste quelque chose de cette conception chez les médecins : le médecin a une moralité élevée, la profession médicale a sa morale qui est au-dessus des lois. Les médecins, par exemple, se font un devoir de traiter les blessés ennemis comme on traite les blessés amis alors que cela n'est pas

En France en tout cas on en est là aujourd'hui avec les lois dites "de bioéthique" qui prévoient des sanctions, amendes, prison...

La science est maintenant reconnue comme un élément de la puissance d'une Nation. Elle est entrée dans le jeu politique, elle est financée en tous pays par un budget en partie public et elle est devenue l'affaire de tout le monde. Si la science est financée par les citoyens, les citoyens ont un droit de regard sur l'usage fait de leur investissement. On ne peut pas revenir en arrière. L'idée que les chercheurs ont leur morale qui est sévère, admirable, mais un peu en marge et qui peut choquer les gens du



Escalier des sciences de la Sorbonne

sérieuses sur la responsabilité du savant qui, si il livre les résultats de ses découvertes à la société, sait qu'elles peuvent être utilisées à des fins moralement contestables. En fait, la conscience de la responsabilité du chercheur a toujours suscité une réflexion ; simplement avec la professionnalisation de la recherche et avec la croissance exponentielle du nombre de chercheurs dans les sciences, d'abord en physique-chimie puis en biologie dans la seconde moitié du XX^e siècle, le problème a pris des dimensions plus sociales.

Au début du XX^e siècle, le mathématicien Henri Poincaré écrivait que la recherche scientifique a pour objectif de dégager des vérités scientifiques qui s'expriment par des propositions à l'indicatif : "le fait est que...", alors que la morale s'exprime dans des propositions à l'impératif : "faites !"; donc, de la science, on ne peut jamais tirer une proposition morale. Poincaré ne pouvait pas imaginer qu'un

forcément une bonne règle dans la guerre. Cette idée qu'il y a une morale très élevée, la morale des savants, qu'elle est un peu différente de la morale commune et qu'on doit laisser les savants tranquilles, a régné jusqu'à la seconde guerre mondiale. Après Hiroshima les choses ont changé. Les chercheurs scientifiques se sont dit qu'ils devraient avoir conscience de leurs responsabilités sociales. Il y a eu à partir de la seconde guerre mondiale des tentatives pour préciser ce que les scientifiques peuvent ou ne peuvent pas faire, doivent ou ne doivent pas faire. Cela s'est d'abord traduit moins par des lois que par des déclarations professionnelles, nationales ou internationales, qui fixent des lignes de conduite (*guidelines*), et il y a certainement une tendance des professions scientifiques à affectionner ce genre de directives internes plutôt que d'avoir des lois assorties de sanctions, de peines de prison, d'amendes.

commun était une idée élitiste. Claude Bernard disait qu'un physiologiste expérimente sur l'animal et que, évidemment, il y a des gens que ça trouble, il y a des défenseurs des animaux, il y a des ennemis de la vivisection qui vont vouloir envahir les laboratoires ; il avait eu des démêlés avec eux, il pensait que la discussion était inutile, car les détracteurs ne sont pas sur la même longueur d'onde que le chercheur, la morale du savant étant spéciale. On ne peut plus raisonner ainsi aujourd'hui ; on ne peut plus dire que la morale du savant est à l'écart de celle des autres et qu'elle est défendable par elle-même indépendamment de ce que la société souhaite. Il y a forcément une négociation à propos de ce que les scientifiques peuvent, doivent, ou ne peuvent pas, ou ne doivent pas faire, cette négociation se fait quelquefois aux dépens de la recherche scientifique, et cela doit être accepté comme un élément de la démocratie ■

Question d'actualité

Par **Gérard Orth**¹

D La transmission interspécifique de virus (ou d'autres agents de maladies infectieuses ou parasitaires) s'est produite tout au long de l'histoire de l'homme, au fil des changements climatiques et écologiques, des migrations et des modifications des modes de vie qui ont jalonné son évolution. Certains des virus qui nous infectent, comme les herpèsvirus et les papillomavirus, ont, selon toute vraisemblance, co-évolué avec nos ancêtres et sont associés à notre histoire depuis des millions d'années. D'autres virus se sont adaptés à nous plus récemment. La période néolithique constitue une étape importante dans l'histoire des maladies humaines. La domestication d'espèces animales et la maîtrise de l'agriculture par l'*Homo*

virus infectant l'animal et sont donc des zoonoses. Leur émergence a nécessité un franchissement de la barrière d'espèces que constitue la spécificité, souvent étroite, que présentent les virus pour leur hôte naturel. Deux facteurs ont favorisé cette émergence : la plasticité des virus et les bouleversements qui ont accompagné l'évolution récente de nos sociétés.

Le syndrome d'immunodéficience acquise

Le syndrome d'immunodéficience acquise (SIDA) constitue l'une des principales menaces que font peser les maladies infectieuses sur l'humanité. Plus de vingt millions de décès sont imputables à cette maladie depuis 1981. Plus de quarante millions de personnes sont actuellement infectées par son agent, le

SIDA n'auraient cependant pu émerger sans les bouleversements sociaux, économiques et écologiques qu'a connus l'Afrique subsaharienne au cours des dernières décennies.

Le virus Ebola et la fièvre hémorragique africaine

Le virus Ebola est l'un des virus dont le nom évoque la terreur. Et pourtant, de l'épidémie de fièvre hémorragique survenue en 1976 dans l'ancien Zaïre (318 cas et un taux de mortalité de 88 %), ayant conduit à l'identification du Filovirus responsable de la maladie, aux épidémies qui ont sévi au Gabon et en République du Congo à partir de 2001 (313 cas, 264 décès), le nombre des victimes connues de ce virus n'est guère supérieur à 1000. Plusieurs traits du virus Ebola expliquent son statut parti-

tômes et causée par le virus Monkeypox, proche mais distinct du virus de la variole. Cette maladie est endémique dans des zones rurales d'Afrique centrale et occidentale, où son taux de mortalité peut atteindre 10 %. Diverses espèces de rongeurs constituent les réservoirs du virus Monkeypox. La faible transmissibilité du virus Monkeypox d'un malade à un sujet sain a tempéré la crainte de le voir occuper la niche écologique libérée par le virus de la variole. Un regain d'intérêt pour ce virus s'est manifesté en 2003 lorsqu'une quarantaine de cas d'une forme bénigne de la maladie a été observée dans le *Middle West* des États-Unis d'Amérique. L'épidémie a eu pour origine des chiens de prairies - un rongeur d'Amérique du Nord proche de la marmotte, devenu un animal de compagnie - ayant séjourné dans

Virus & barrières d'espèces

sapiens, devenu sédentaire, l'a exposé à l'infection par des virus pathogènes des animaux domestiques. Leur adaptation à l'homme est très vraisemblablement à l'origine des virus de la rougeole (à partir des bovins ou du chien), de la grippe (à partir du porc) ou de la variole (à partir des bovins ou des camelidés). Dans son célèbre ouvrage « *Naissance, vie et mort des maladies infectieuses* », Charles Nicolle écrit en 1930 « *Ce qui s'est passé aux époques anciennes où, par exception, la nature a réussi un essai, se répète à tous les instants présents et se répètera de même toujours. Il y aura donc des maladies nouvelles. C'est un fait fatal* ». La liste des maladies virales apparues dans la population humaine au cours des dernières décennies ([tableau récapitulatif est consultable sur le site de l'Académie: \[www.academie-sciences.fr\]\(http://www.academie-sciences.fr\)](#)) montre combien cette prophétie était fondée. Ces maladies émergentes ont défrayé ou défrayent la chronique en raison de la menace qu'elles peuvent représenter pour la santé humaine globale et pour l'économie mondiale. Toutes ont pour origine la transmission à l'homme d'un

virus de l'immunodéficience humaine (VIH). Plus des deux tiers résident en Afrique sub-saharienne. Il est admis que le VIH-1, responsable de la pandémie de SIDA, est issu de la transmission à l'homme d'un virus de l'immunodéficience simienne (SIV) infectant le chimpanzé (*Pan troglodytes*) en Afrique centrale. Le VIH-2, fréquent en Afrique occidentale, a pour ancêtre un SIV endémique, dans cette région, chez le singe mangabé (*Cercocebes atys*). Ces lentivirus simiens ne causent pas de maladie chez leur hôte naturel. Des événements indépendants de franchissement de la barrière d'espèces sont à l'origine des trois groupes de VIH-1 (M, N et O) et des lignées de VIH-2 que l'analyse phylogénétique a permis d'identifier. On estime que l'introduction de l'ancêtre du VIH-1 dans la population humaine s'est produite il y a environ 60 ou 70 ans et que les sauts d'espèce, du chimpanzé ou du mangabé à l'homme, se sont effectués par un contact humain avec du sang infecté lors de la chasse de ces primates ou de la consommation de leur viande. On ignore les mécanismes qui ont conduit à l'adaptation des deux virus simiens à l'homme, à l'acquisition d'un pouvoir pathogène inexorable et à une transmission efficace au sein de la population humaine par voie sexuelle. Le VIH et le

culier : l'apparition soudaine et imprévisible des épidémies ; leur origine mystérieuse car, en dépit d'efforts intenses, le réservoir animal de ce virus n'est pas encore connu ; l'évolution rapide de la maladie et son taux de mortalité très élevé ; l'absence de traitement et de vaccin ; la crainte de l'utilisation de ce virus dans le cadre du bioterrorisme. La transmission inter humaine du virus nécessite, en général, un contact étroit avec un malade. L'isolement des malades et la mise en œuvre de mesures de protection des personnes chargées des soins ont permis, jusqu'à présent, de juguler les épidémies. La manipulation de cadavres de chimpanzé ou de gorille a été le plus souvent à l'origine de l'introduction du virus Ebola dans des populations humaines rurales. Ces primates sont, en effet, très sensibles au virus Ebola qui constitue, avec la chasse, l'une des principales menaces qui pèsent sur la survie des chimpanzés et des gorilles en Afrique centrale.

Le virus Monkeypox

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a proclamé, en 1979, l'éradication de la variole de notre planète. On conçoit la crainte suscitée par la découverte, en 1970, d'une nouvelle maladie humaine ressemblant à la variole par ses symp-

une animalerie avec des rongeurs infectés, importés d'Afrique. La mise en œuvre rapide de mesures appropriées a permis de limiter l'épidémie et, vraisemblablement, d'empêcher l'établissement d'un réservoir animal du virus Monkeypox en Amérique du Nord.

Le syndrome respiratoire aigu sévère

La panique, la paralysie du trafic aérien et la menace sur l'économie mondiale qui ont été engendrées par l'épidémie de syndrome respiratoire aigu sévère, en 2003, sont encore dans les mémoires. Cette pneumonie atypique contagieuse a fait son apparition dans la province de Guangdong en Chine du Sud-Est, en novembre 2002. Son introduction à Hong Kong par un malade, en février 2003, a été à l'origine de sa diffusion, par des voyageurs, dans 32 pays répartis dans les cinq continents. Du déclenchement d'une alerte globale par l'OMS, en février 2003, à la fin de l'épidémie, en juillet, la maladie a atteint plus de 8000 personnes et entraîné 774 décès. Une collaboration internationale sans précédent a permis d'identifier rapidement l'agent étiologique, un nouveau coronavirus, de mettre au point des tests diagnostiques, d'établir la séquence complète du génome viral en quelques

¹ Membre de l'Académie des sciences, directeur de recherche émérite au CNRS, professeur émérite à l'Institut Pasteur

semaines et, ainsi, de rendre plus efficace le contrôle de la maladie. La transmission d'un virus animal à l'homme est à l'origine du début de l'épidémie en Chine du Sud-Est. Elle a été favorisée par l'existence de nombreux marchés hébergeant diverses espèces d'animaux sauvages vivants, dont la viande est appréciée en Asie du Sud-Est. Un coronavirus très proche du virus humain a été isolé de l'une de ces espèces, la civette palmiste, mais le réservoir de ce virus reste à identifier. Les différences mineures révélées par l'analyse des séquences nucléotidiques reflètent, très vraisemblablement, l'adaptation qui permet une transmission du virus d'homme à homme. Une action concertée, coordonnée par l'OMS, a permis de contrôler l'épidémie.

Le virus de la grippe aviaire et le risque de pandémie grippale

La menace de pandémie grippale que fait peser sur l'humanité l'orthomyxovirus de la grippe aviaire est, malheureusement, d'actualité. On se souvient de la meurtrière pandémie de grippe espagnole qui, de 1918 à 1919, a fait plus de 40 millions de victimes et des pandémies de grippe asiatique (1957) et de grippe de Hong Kong (1968) qui, chacune, ont causé plus d'un million de décès. Le génome des virus grippaux de type A, humains et aviaires, est constitué de 8 segments d'ARN ; deux d'entre eux codent pour les glycoprotéines de surface des virions : l'hémagglutinine, l'antigène majeur contre lequel sont dirigés les anticorps neutralisants, et la neuraminidase. Une variation antigénique considérable entre les différents virus grippaux résulte de l'existence de 15 sous-types (H1-H15) de l'hémagglutinine et de 9 sous-types (N1-N9) de la neuraminidase. Des oiseaux aquatiques migrateurs sont les réservoirs de la grande majorité de ces sous-types ; seuls les sous-types H1N1 et H3N2 circulent actuellement dans la population humaine. C'est un phénomène de réassortiment génétique survenu chez le porc, c'est-à-dire un échange de segments d'ARN entre un virus aviaire et un virus humain, qui a donné naissance aux virus pandémiques H2N2 (grippe asiatique) et H3N2 (grippe de Hong Kong), contre lesquels aucune immunité ne préexistait dans la population humaine. La crainte d'une nouvelle pandémie grippale est née de la répétition, au cours des dernières années, d'événements de transmission directe à l'homme d'un virus très pathogène pour les volailles, responsable d'épizooties meurtrières. En 1997, à Hong Kong, l'infection par un virus aviaire H5N1 a entraîné l'hospitalisation de 18 personnes et causé 6 décès. En 2003, en Hollande, un virus H7N7 a été à l'origine de 89 cas humains d'infection oculaire ou respiratoire et

d'un décès. Entre 1999 et 2004 ont été rapportés plusieurs cas isolés d'infection humaine par les virus aviaires H9N2 (à Hong Kong et en Chine), H7N2 (aux États-Unis) et H7N3 (au Canada). Mais l'actualité, ce sont les deux épizooties de grippe aviaire causées par un virus H5N1 qui, en 2003 et 2004, ont dévasté les élevages dans plusieurs pays d'Asie du Sud-Est. La première a été à l'origine de 22 cas d'infection humaine au Vietnam et de 12 cas en Thaïlande, entraînant au total 23 décès. Et depuis le début de la deuxième épizootie, en juin 2004, 45 cas humains d'infection ayant entraîné 23 décès ont été rapportés dans ces deux pays. Le virus H5N1 circulant en Asie est maintenant répandu chez les oiseaux sauvages et l'épidémie mortelle provoquée récemment chez des tigres en captivité, en Thaïlande, témoigne d'un pouvoir pathogène accru de ce virus pour les mammifères.

En général, l'infection humaine résulte d'un contact avec des animaux atteints de grippe aviaire et une transmission de l'infection par un malade n'a été qu'exceptionnellement évoquée. Cependant, les conditions semblent remplies pour que puisse émerger un nouveau virus grippal pandémique. Qu'il s'agisse d'un virus aviaire ayant acquis un pouvoir pathogène pour l'homme et une capacité de transmission d'homme à homme, à la suite des mutations ou des réassortiments génétiques que favorisent des échanges constants entre oiseaux domestiques et oiseaux sauvages, ou qu'il s'agisse d'un virus issu d'un réassortiment génétique entre le virus aviaire H5N1 et le virus humain H3N2.

Le franchissement de la barrière d'espèce

Pour qu'un virus animal puisse émerger dans la population humaine, il doit d'abord être capable de franchir plusieurs étapes. Il doit se fixer sur une cellule humaine et y pénétrer, s'y répliquer en s'opposant à des mécanismes de défense antivirale, en particulier à l'activité inhibitrice des interférons, infecter d'autres cellules, perturber la mise en place de la réponse immunitaire spécifique et, finalement, quitter son hôte. Le virus doit ensuite être capable de transmettre l'infection à un autre individu, faute de quoi l'infection de l'homme constituerait un cul-de-sac.

De nombreuses interactions influent sur chaque étape de la réplication et de la transmission du virus. Elles ne sont que très imparfaitement comprises. Il en est de même des changements moléculaires spécifiques qui permettent à certains virus de surmonter ces différents obstacles. Il n'est pas surprenant que les virus émergents présentés dans le tableau (voir sur le site) soient des virus à ARN, à l'exception du virus monkeypox. Ces virus utilisent pour leur réplication

des enzymes peu fidèles, une ARN polymérase dépendante de l'ARN ou, pour les lentivirus, une transcriptase inverse. L'introduction d'un grand nombre de mutations engendre une diversité génétique et peut conférer à certains variants viraux un avantage sélectif. Des événements de recombinaison ou de réassortiment génétique peuvent également contribuer à l'hétérogénéité génétique de la population virale. Le polymorphisme des gènes humains mis en jeu dans l'interaction de l'hôte et du virus joue également, très vraisemblablement, un rôle dans la réussite ou l'échec du franchissement de la barrière d'espèces.

Ecologie humaine et émergence des virus

Les sociétés modernes constituent un environnement très propice à l'émergence de nouveaux agents pathogènes. De nombreux facteurs sociaux, écologiques et économiques y concourent. C'est l'homme qui, par son mode de vie, a donné à certains virus la possibilité de franchir la barrière d'espèces. C'est le cas du virus du SIDA et du virus Ebola (chasse et consommation de singes), du virus monkeypox (animaux de compagnie exotiques), du coronavirus du syndrome respiratoire aigu sévère (marchés d'animaux sauvages vivants) et du virus grippal aviaire (élevage intensif de volailles ; marchés d'oiseaux vivants). La déforestation entraînant un changement d'habitat de l'animal réservoir a permis l'émergence du syndrome pulmonaire à hantavirus dans l'ouest des États-Unis, à partir d'un rongeur porteur du virus Sin nombre, l'émergence de l'encéphalite due au virus Nipah, transmise en Malaisie par des chauve-souris à des porcs, puis à des humains, et celle de l'encéphalite due au virus Hendra, transmise en Australie par des chauve-souris à des chevaux, puis à un vétérinaire (voir tableau sur le site). De nombreux facteurs ont contribué à la transmission du VIH entre humains et au développement de l'épidémie de SIDA en Afrique : l'installation de populations rurales dans des villes, entraînant un affaiblissement des structures familiales, une promiscuité sexuelle et de mauvaises conditions d'hygiène, la pauvreté, la précarité des structures sanitaires, les mouvements de populations suscités par des crises politiques ou économiques et l'ignorance et l'inconscience de certains dirigeants. Le développement des voyages intercontinentaux et du tourisme, certains comportements (promiscuité sexuelle, toxicomanie) et certaines pratiques médicales (transfusion sanguine, injection de produits dérivés du sang) ont permis au VIH de gagner les pays développés et le reste du monde et ont conféré à la maladie son caractère pandémique. Le syndrome respiratoire aigu sévère

illustre l'impact des voyages aériens sur la dissémination d'une épidémie locale à l'échelle mondiale.

L'alerte

Nous sommes sous la menace d'une pandémie grippale. Mais peut-être faut-il s'attendre à l'inattendu. « *La connaissance des maladies infectieuses enseigne aux hommes qu'ils sont frères et solidaires* » écrit encore Charles Nicolle. « *Nous sommes frères parce que le même danger nous menace et solidaires parce que la contagion nous vient le plus souvent de nos semblables. Nous sommes aussi solidaires des animaux, surtout des bêtes domestiques. Les animaux portent souvent les germes de nos infections et, d'autre part, les pertes que causent les maladies du bétail frappent durement l'économie humaine. Ne serait-il pas une raison suffisante, terre à terre, égoïste, pour que les hommes fassent trêve à leurs propres discordes et s'unissent fraternellement contre l'ennemi commun ?* » Il est remarquable que, sous l'égide de l'OMS, ait été organisé, à l'échelle du globe, un réseau de surveillance des maladies infectieuses et de réponse aux alertes qu'elles engendrent. Son efficacité s'est manifestée lors de la récente épidémie de syndrome respiratoire aigu sévère. Le contrôle de cette maladie, obtenu en 5 mois, constitue une victoire éclatante de la science et de la santé publique. Il a fallu la menace d'une nouvelle pandémie grippale pour que l'Office International des Epizooties, le Département des Maladies Infectieuses de l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture et l'OMS conjuguent leurs efforts pour organiser et intensifier la surveillance et le contrôle des maladies animales et, en particulier, celle des gripes animales. Le prix à payer peut parfois paraître lourd si l'on considère les conséquences économiques que peuvent entraîner la déclaration de l'émergence d'une maladie (tourisme, commerce) et la mise en œuvre de campagnes d'abatage généralisé des animaux. Plus de 100 millions de volailles ont été sacrifiées (ou sont mortes de grippe aviaire) lors de l'épizootie ayant sévi, en 2003, dans certains pays du Sud-Est asiatique. La recherche publique et la recherche privée doivent prendre part à ce combat. Les progrès de la génomique permettent d'étudier, avec une haute résolution, la pathogénèse des maladies émergentes. Quel riche domaine de recherche que l'évolution des virus et les mécanismes du franchissement de la barrière d'espèces. Quel défi que celui de concevoir et de développer rapidement les moyens de la surveillance, du traitement et de la prévention vaccinale des maladies émergentes ■

Bibliographie

Par Yves Jeannin¹

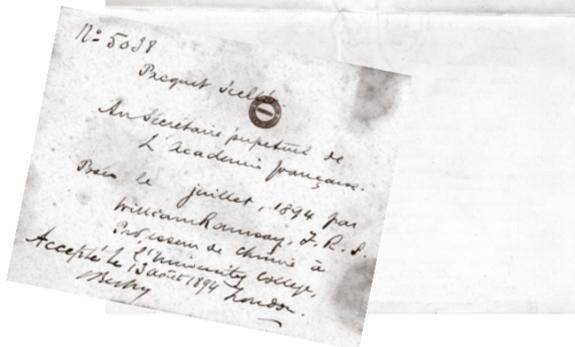
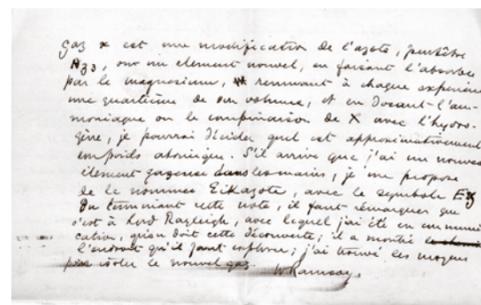
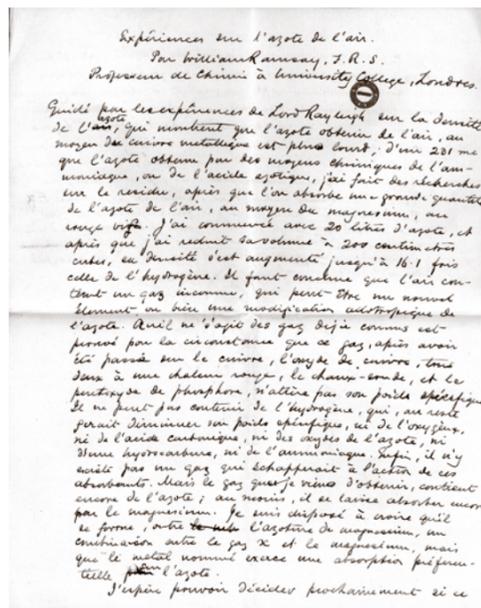
En mai 2000, la Commission des Plis Cachetés a découvert une lettre capitale écrite et envoyée à l'Académie des sciences en 1940 par Döblin. Il y décrivait une avancée mathématique particulièrement originale, fruit de ses "Recherches sur l'équation de Kolmogoroff". Si cette lettre n'avait pas été ouverte, la primauté de ces recherches serait toujours attribuée à ceux qui les ont publiées indépendamment, entre 1940 et 2000: Döblin ne pouvait s'en prévaloir, étant tombé au champ d'honneur pendant la campagne militaire de 1940.

Une autre surprise attendait la Commission des Plis Cachetés en juin 2004. En effet a été ouvert un "paquet scellé" envoyé à l'Académie en juillet 1894. Cette lettre écrite en français a été "posée par William Ramsay, FRS, professeur de chimie à l'University College, London". Le contenu de ce document n'a pas la même portée que celle de la lettre de Döblin: il illustre l'évolution de la pensée et du travail de Ramsay qui a découvert la totalité des gaz nobles contenus dans l'air. Il évoque pour la première fois l'existence d'un nouvel élément chimique intervenant dans la constitution de l'air. Une analyse détaillée de la lettre de Ramsay sera faite dans une Note aux Comptes Rendus à paraître au début 2005. Sa présentation demande que l'on resitue simplement les choses en rappelant l'histoire.

Dès 1785, Henry Cavendish voulut étudier la composition de l'air, ayant eu connaissance des travaux de Lavoisier qui datent de 1776. Malgré tout le soin apporté à ses expériences, il constata l'existence d'un résidu gazeux, une fois l'azote et l'oxygène éliminés par des voies chimiques. Il conclut à la présence dans l'air d'un autre gaz, sans plus. Les choses en restèrent là pendant 100 ans. En 1892, Lord Rayleigh remarqua que la densité du gaz tiré de l'air après élimination de l'oxygène, gaz supposé être de l'azote, avait une densité plus forte que celle de l'azote préparé par décomposition de l'ammoniac: à savoir 1,2572 g/l contre 1,2506 g/l. L'écart est dix fois plus grand que l'erreur expérimentale.

Intrigué, Ramsay aborda le problème de la composition de l'air

Sir William Ramsay et la découverte de l'argon



sous un angle nouveau. Après élimination de l'oxygène de l'air, il en absorba l'azote par du magnésium au lieu de le combiner avec l'oxygène sous l'action de l'étincelle électrique, comme le fit Cavendish. Il observa lui aussi un résidu gazeux. Il en mesura la densité et la trouva 16,1 fois plus forte que celle de l'hydrogène. Ce ne pouvait pas être de l'azote de densité 14 fois plus forte que celle de l'hydrogène. Ramsay donne quelques indications sur la méthode suivie pour s'assurer de la validité de ce résultat. Et de conclure, « l'air contient un gaz inconnu, qui peut être un nouvel élément, ou bien une modification allotropique de l'azote ». C'était la première fois que quelqu'un suggérait l'existence dans l'air d'un élément chimique inconnu. La lettre à l'Académie constitue donc une prise de

date évoquant ces deux hypothèses.

En 1895, un an plus tard, Lord Rayleigh et Ramsay annoncent la découverte de l'argon, dans un article qui impressionne le lecteur par le soin et la variété des expériences ainsi que par la rigueur du raisonnement. Etant l'un des auteurs de cette découverte, Ramsay n'avait sans doute pas jugé bon de demander l'ouverture de son "paquet scellé".

Dans sa lettre à l'Académie, Ramsay suggère le nom d'Eka-azote, au cas où le gaz aurait été un nouvel élément. En effet, le préfixe eka avait été utilisé à diverses reprises pour compléter le tableau périodique publié en 1871 par Mendeleïev lorsque des « trous » s'y trouvaient. Il avait notamment écrit ekasilicium dans la case vide située en dessous de celle du sili-

cium puisque le germanium ne fut découvert par Winkler qu'en 1886. Dans le mémoire de 1895, Lord Rayleigh et Ramsay éliminèrent la possibilité d'une modification allotropique de l'azote par mesure du rapport des chaleurs spécifiques à pression et volume constants, et mesurèrent la masse atomique du gaz inconnu trouvée égale à 39,5. L'existence du nouvel élément était établie. Il n'était pas possible de le mettre en dessous de l'azote dans le tableau périodique, la place étant prise par le phosphore. La masse atomique ne permit pas non plus de le placer à cet endroit, on connaissait en effet le phosphore de masse 31, le soufre de masse 32, et le chlore de masse 35,5. Rappelons que le principe directeur de l'époque pour construire le tableau périodique était l'ordre croissant des masses atomiques. Ils décrivent également la totale inertie chimique du gaz qui les amena à proposer le nom d'argon, fusion du grec *argos* qui signifie éner-

gie. Quelques années plus tard, après avoir découvert les autres gaz nobles de l'air avec son collaborateur Travers (néon, krypton, xénon), Ramsay imagina une nouvelle colonne du tableau périodique pour classer ces éléments. Cette idée reposait sur leur absence commune de réactivité chimique, comportement totalement inédit, et les valeurs de leurs masses atomiques qui les plaçaient chacun entre un halogène et un alcalin dans la suite des masses atomiques croissantes, à l'exception de l'argon dont l'inertie chimique justifia l'inversion potassium-argon.

La lettre de 1894 de Ramsay, restée ignorée jusqu'en juin 2004, est la première annonce de l'existence d'un nouvel élément chimique; elle montre l'état de ses recherches et la nature de ses réflexions au moment où elle fut écrite. Au delà du caractère purement scientifique de ce document, il faut en souligner les dernières lignes: "En terminant cette note, il faut remarquer que c'est à Lord Rayleigh, avec lequel j'ai été en communication que l'on doit cette découverte; il a montré l'endroit qu'il faut explorer; j'ai trouvé les moyens pour isoler le nouvel gaz". Sir William Ramsay obtint le prix Nobel de chimie en 1904 pour la découverte des gaz nobles de l'air; élu correspondant pour la Section de chimie en 1895, il devint Associé étranger de l'Académie des sciences en 1910 ■



la lettre n° 14 / Janvier 2004
de l'Académie des sciences

Publication de l'Académie des sciences

23, quai de Conti 75006 PARIS
Tel: 01 44 41 43 68
Fax: 01 44 41 43 84
http: www.academie-sciences.fr

Directeur de publication:
Nicole Le Douarin

Directoire:
Nicole Le Douarin
Jean Dercourt

Rédacteur en chef:
Jean-Didier Vincent

Secrétariat général de rédaction:
Marie-Christine Brissot

Conception graphique
Nicolas Guilbert

Photographies:
p.p. 1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 13, 15, 17, 20
photos N. Guilbert
pp. 2, 3, 6, 12, 16
photos (DR).

La rédaction remercie le secrétariat du recteur de la Sorbonne pour son accueil.

Comité de rédaction:
Jean-François Bach, Roger Balian,
Jack Blachère, Edouard Brézin,
Pierre Buser, Paul Caro,
Jules Hoffmann, Alain Pompidou,
Pierre Potier, Erich Spitz,
Jean-Christophe Yoccoz

Photogravure & impression:
Edipro/Printreference™
01 41 40 49 00

n° de C.P.: 0108 B 06337

¹ Correspondant de l'Académie des sciences, professeur émérite à l'université Pierre et Marie Curie