

futuribles

INTERNATIONAL

47 rue de Babylone • 75007 Paris • France
Tél. : 33 (0)1 53 63 37 70 • Fax : 33 (0)1 42 22 65 54
forum@futuribles.com • www.futuribles.com

« Science et société 2050 »

COMPTE RENDU DE LA TABLE RONDE DU 28 NOVEMBRE 2012

Pierre Papon est physicien, professeur émérite à l'École supérieure de physique et chimie industrielle de Paris (ESPCI), ancien directeur du CNRS (Centre national de la recherche scientifique) et de l'IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer), président d'honneur de l'OST (Observatoire des sciences et des techniques), vice-président du conseil d'administration de la Fondation Maison des sciences de l'homme, conseiller de Futuribles International et auteur régulier dans les colonnes de la revue Futuribles.

*Dans son dernier ouvrage, *Bref récit du futur. Prospective 2050, science et société* (Paris : Albin Michel, Bibliothèque Sciences, 2012), il dresse un état des lieux des connaissances scientifiques et des techniques, indique quels pourraient être les « fronts de rupture » à l'horizon des prochaines décennies dans de multiples domaines (physique, informatique, biologie et neurobiologie) et s'interroge sur les grands dossiers qui feront, à l'avenir, l'objet de débats de société.*

Pierre Papon a choisi comme illustration, pour la couverture de son ouvrage, une pile de livres bancal au sommet de plus en plus flou, image des conjectures que l'on peut faire sur la base des connaissances scientifiques actuelles et des potentielles ruptures de paradigme à venir.

Certaines de nos théories, en effet, sont « branlantes » car elles n'expliquent plus correctement les phénomènes que l'on observe. Le prospectiviste des sciences est alors dans la position d'un sismologue qui explore l'écorce terrestre pour y déceler des failles... Mais, tout comme les tremblements de terre, les ruptures de paradigme sont difficiles, voire impossibles, à prévoir avec exactitude. D'ailleurs, pour quelques prévisions qui ont été confirmées, quantités de bévues ont été commises par le passé.

Pour réaliser cet exercice périlleux de prévision des percées majeures à venir, Pierre

Papon a consulté une abondante littérature primaire et interrogé de nombreux scientifiques, notamment des biologistes.

Il a choisi l'horizon 2050 car il estime qu'il faut deux générations environ pour qu'une rupture technologique se produise et donne lieu à des applications concrètes.

Dressant rapidement un état des lieux des connaissances scientifiques et de la vision du monde léguée par la science et la technologie, Pierre Papon a passé en revue ce qu'il considère comme des fronts de rupture, puis esquissé une réflexion sur l'acceptation sociale de la science et de la technologie.

La physique et la biologie moléculaire, avec « l'informatique quantique », sont les principales disciplines dans lesquelles il identifie des fronts de rupture.

En physique, la découverte du boson de Higgs, en juillet 2012, grâce à l'accélérateur

de particules de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN) de Genève ¹, est certes une avancée majeure, mais elle comporte d'importantes « failles » : elle ne rend pas compte, à elle seule, de l'origine de la masse des protons, en outre, elle n'explique ni l'extrême diversité des masses des particules, ni l'existence dans l'Univers d'une forte dissymétrie entre matière et antimatière, et pas davantage la nature de ce que les astrophysiciens appellent la matière et l'énergie « noires » qui constitueraient 95 % de l'Univers. Certains physiciens pensent donc qu'un changement de paradigme et la remise en cause des principes régissant les relations entre masse et énergie s'avèrent nécessaires.

En biologie et en génétique s'est imposé, depuis les années 1960, le paradigme de la « biologie moléculaire » : « un flux d'information unidirectionnel, à partir de l'ADN vers l'ARN, permet de réaliser la synthèse des protéines, pilotée par des gènes qui sont des séquences codantes de la molécule d'ADN » ².

Depuis les années 1970, les essais de programmation du vivant constituent une avancée majeure. À cette époque, grâce au génie génétique, on a pu introduire des gènes étrangers dans le génome de plantes ou de bactéries. Depuis le début du XX^e siècle, les biologistes s'efforcent de fabriquer des génomes en partie artificiels par l'assemblage de séquences d'ADN. En 2010, Craig Venter a ainsi reconstitué le génome d'une bactérie et l'a introduit dans une autre bactérie, qui s'est reproduite.

En 2006, la découverte par le Japonais Shinya Yamanaka, des cellules souches à pluripotence induite, des cellules adultes (de peau) dont a modifié certains gènes qui se différencient pour former tous les tissus

¹. Particule qui confère leur masse à toutes les autres particules de la matière, dont l'existence avait été prédite par les physiciens Peter Higgs, Robert Brout et François Englert dans les années 1970.

². PAPON Pierre, *Bref récit du futur*, op. cit., p. 122.

de l'organisme (les cellules embryonnaires ont le même comportement), a montré qu'il était possible de totalement reprogrammer le génome d'une cellule.

Les neurosciences sont à la recherche d'un nouveau paradigme. Leur approche, pour comprendre les mécanismes cérébraux, est moléculaire ; pourtant, les progrès de l'imagerie cérébrale révèlent que le cerveau fonctionne souvent en activant plusieurs régions en parallèle, qui ne sont donc pas totalement dédiées à une fonction. Existe-t-il un mécanisme unique qui expliquerait le fonctionnement cohérent du cerveau et la conscience ? C'est le défi auquel s'attaquent les neurosciences.

En informatique, la miniaturisation croissante des puces électroniques constituant les microprocesseurs, qui va de pair avec l'augmentation de la vitesse et de la fiabilité des ordinateurs, ne s'est pas démentie depuis l'invention du transistor, en 1947. En deçà de l'échelle atomique, cependant, une limite sera atteinte et l'informatique devra changer de paradigme. Introduire dans l'informatique les concepts de la physique quantique, selon laquelle un objet peut simultanément occuper deux positions ou se trouver dans deux états, pourrait permettre de franchir cette limite, peut-être d'ici 2030.

D'autres ruptures pourraient résulter des grands défis auxquels la société mondiale est confrontée : la transition énergétique, l'avenir du travail dans une société post-industrielle et la recherche de sécurité.

La perspective du changement climatique est à l'origine de deux ruptures majeures potentielles : les biocarburants, pour lesquels on envisage déjà une troisième génération, à partir de micro-organismes, et, peut-être à l'horizon 2030 ou 2050, la fusion thermonucléaire de l'hydrogène, alternative à la fission thermonucléaire.

Le travail a déjà été largement transformé par la robotique et les technologies de l'information et de la communication (TIC), y

compris les nanotechnologies. La robotique pourrait se perfectionner jusqu'à occuper des fonctions avancées de service ou bien, ce qui constituerait un changement de paradigme, elle pourrait se coupler avec les neurosciences pour explorer le champ de l'intelligence artificielle (fauteuils roulants prothèses de ou bras ou de jambes pilotées par le cerveau).

Les domaines dans lesquels la société est en quête de sécurité sont ceux de la santé, de l'alimentation (utilisation ou non des OGM) et de la défense (risque de prolifération nucléaire).

Concernant la santé, un rapport récent de la Délégation sénatoriale à la prospective a fait le point sur les maladies infectieuses émergentes³ qui menacent l'humanité. L'Institut Pasteur, par exemple, travaille actuellement sur les parades possibles à la mutation des virus. On attend de la génétique, étant donné les progrès réalisés dans le séquençage du génome humain, qu'elle donne lieu à une médecine « prédictive », ce qui n'est pas sans poser des problèmes à la fois psychologiques et éthiques. Des thérapies géniques, consistant à corriger des gènes défectueux, seront sans doute possibles pour certaines maladies « simples », comme la leucodystrophie. Les progrès dans ces domaines ne seront sans doute pas aussi rapides que certains le prévoient.

La question du statut social futur de la science et de la technologie amène à se demander préalablement quel pays détiendra le *leadership* en la matière : la Chine ou les États-Unis ? Aujourd'hui, si l'investisse

ment de la Chine en R&D augmente de 20 % par an, il ne représente encore que 1,8 % du produit intérieur brut (PIB), et l'impact des publications chinoises est moindre que celui des publications américaines et européennes. D'après un sondage de la revue *Nature*, à la question « quel pays aura un rôle scientifique majeur en 2020 », 59 % des personnes interrogées ont répondu « la Chine » et 32 %, « les États-Unis », mais seulement 8 % ont exprimé leur souhait de travailler en Chine. L'hégémonie scientifique et technique de la Chine, si elle est possible, n'est donc pas assurée.

Quant à l'Europe, elle manque cruellement d'unité face aux défis, qu'il s'agisse de l'énergie, de l'Université ou de l'automobile de demain. Elle gagnerait à rendre attractifs pour la recherche des « complexes » scientifiques dans des villes grandes et moyennes.

Alors que, depuis environ 20 ans, la science et la technologie sont contestées, surtout en Europe — nettement moins aux États-Unis, et ni en Chine, ni au Japon —, ce qui déstabilise les institutions et démobilise les jeunes talents, il est urgent de repenser la culture scientifique et de réfléchir au lien qu'elle doit entretenir avec la politique.

En conclusion, même si, selon la formule de J.M. Keynes, « l'inévitable n'arrive jamais alors que l'inattendu arrive toujours », il faut persister à faire de la prospective pour réfléchir aux zones où l'inattendu pourrait se produire, notamment dans les sciences et les techniques, et trouver d'éventuelles parades.

³ KELLER Fabienne (sous la dir. de), *Les Nouvelles Menaces des maladies infectieuses émergentes*, Paris : Délégation à la prospective du Sénat, 2012, 233 p.

Extraits des débats

Les évolutions et ruptures envisagées vont-elles susciter la création de nouveaux emplois ou au contraire en détruire ? Va-t-on de plus en plus sous-traiter la production industrielle à des machines ?

Le développement des énergies renouvelables ainsi que, plus globalement, d'une « économie verte », devrait créer de nouveaux emplois. Cependant, en dépit des chiffres avancés par l'ADEME, notamment, il est difficile d'en estimer l'ampleur. On peut prédire avec plus de certitude que le temps de travail, en Europe, sera compressé, mais un minimum incompressible de production (dans le bâtiment et l'énergie, notamment) ne pourra pas être sous-traité à des machines.

Les ruptures actuelles commençaient à être visibles il y a 50 ans : dans ce que nous voyons aujourd'hui, quels sont, d'après vous, les germes de ruptures futures ?

Je crois à une nouvelle vague de la robotique, commandée par le cerveau, à une petite percée des thérapies géniques, à l'élaboration de nouveaux médicaments fondée sur la pharmacogénétique, au développement systématique, malheureusement, de nouveaux moyens de surveillance des individus.

Il est surtout question, dans votre exposé, d'innovations scientifiques et techniques du point de vue des moyens. Ne faudrait-il pas aussi s'interroger sur leurs finalités ?

J'ai peut-être en effet axé mon exposé sur les sciences dures, mais, en tant que vice-président du conseil d'administration de la Maison des sciences de l'homme, je ne sous-estime pas le rôle que doivent jouer les sciences humaines dans notre appréciation de l'impact des innovations scientifiques et techniques. Je pense comme vous qu'il est important de réfléchir à la finalité des progrès scientifiques et techniques pour nos sociétés.

Si certaines personnes ont eu la capacité de prévoir des avancées majeures, quelle méthode ont-ils utilisé et cette méthode n'est-elle pas reproductible aujourd'hui ? Les prévisions qu'ils ont faites n'ont-elles pas déterminé l'avenir ?

Il n'y a en réalité pas de véritable méthode pour cela et je crois plus à l'intuition des scientifiques. Dans le cas de Dominique Dubarle, qui a annoncé l'avènement de l'informatique et de la cybernétique dans un article paru dans le journal *Le Monde* en 1948⁴, c'est sans doute cette intuition combinée à son importante culture scientifique qui lui a permis de repérer cette avancée majeure.

Dans votre ouvrage, avez-vous privilégié l'approche « prévoir, c'est savoir » ou « prévoir, c'est vouloir » ?

J'ai privilégié l'approche « prévoir, c'est savoir », mais je plaide pour une relation plus étroite entre la prospective et la stratégie.

N'y a-t-il pas, en France, un manque d'investissement dans la recherche industrielle, par rapport à la recherche fondamentale ?

Il est vrai que l'Allemagne, notamment, investit plus que la France dans la recherche industrielle, mais elle a des structures industrielles différentes (par exemple dans l'automobile et la mécanique en général). Chaque pays, seul, ne peut pas tout faire : plus qu'une question de financement de la recherche industrielle en France, le problème est celui d'une véritable coopération européenne dans la recherche.

Ne trouvez-vous pas que plus on avance dans la connaissance, plus c'est compliqué ? Les contraintes d'ordre technique ou financier s'accumulent, par exemple dans

⁴ Voir DUBARLE Dominique, « L'avènement de l'informatique et de la cybernétique. Chronique d'une rupture annoncée », *Futuribles*, n° 371, février 2011.

le cas des biocarburants. Dans le domaine de la santé publique, le coût du traitement de certaines maladies comme la mucoviscidose devient excessif pour le système français de protection sociale. Envisagez-vous, dans votre exposé, l'éventualité d'un blocage, voire d'une régression ?

Oui, je pense par exemple que l'espoir de certains physiciens de parvenir à une théorie du tout est vain, tout comme la conviction de certains neurobiologistes tels que Jean-Pierre Changeux de trouver un paradigme qui expliquerait tous les phénomènes de la conscience.

Ne faudrait-il pas, pour stimuler la prospective, préparer les élèves à la transdisciplinarité, dès l'école élémentaire ?

En effet, car si la science est une représentation du monde, elle n'est pas la seule. Les arts plastiques, la littérature..., sont aussi

des représentations du monde. Il arrive que ces diverses représentations soient concomitantes à une époque donnée : ce fut le cas, au début du XX^e siècle, quand Einstein élaborait la théorie de la relativité simultanément à la naissance du cubisme et la rédaction, par Proust, de son roman *À la recherche du temps perdu*. L'Université de 2030 devrait encourager la transdisciplinarité entre sciences dures et sciences humaines.

Si vous étiez le ministre européen de la Recherche, quelles seraient vos priorités ?

Le financement de jeunes équipes de chercheurs, afin de faire émerger des idées neuves, et la mobilité entre les pays, par la création, notamment, de diplômes interuniversitaires supplémentaires.

Propos recueillis par Lucie de Villepin