

La prospective : de l'anticipation à la préparation à l'avenir

Par Pierre PAPON

Physicien, professeur honoraire de physique thermique à l'École supérieure de physique et chimie industrielles de Paris (ESPCI)

La prospective a pour objectif d'éclairer l'avenir en proposant des scénarios réalistes et en tentant d'anticiper d'éventuelles ruptures. S'agissant de science et de technologie, elle fait des conjectures sur des changements possibles de paradigmes, elle identifie des voies prometteuses et elle fait des hypothèses sur l'incidence sociale et économique du progrès scientifique et technique. Dans cet article, nous ferons le point sur les méthodes de la prospective des sciences et des techniques, et nous mettrons en évidence ses succès et ses échecs. La démarche prospective est un outil qui permet d'élaborer des stratégies : elle devrait trouver une place dans la formation des ingénieurs, des scientifiques et, plus généralement, des gestionnaires.

La victoire, début 2016, du programme d'ordinateur AlphaGo sur le meilleur joueur mondial du jeu de Go, Lee Se-Dol, annonçait le franchissement d'une nouvelle étape dans la relation homme-machine grâce à l'intelligence artificielle ⁽¹⁾. Il est vrai que dès l'avènement de l'ordinateur, on s'est interrogé sur les perspectives qu'il ouvrait à l'homme ⁽²⁾. Ainsi, dans un article publié en 1948 dans le journal *Le Monde*, Dominique Dubarle, un père dominicain spécialiste de la logique mathématique, écrivait à propos des premiers ordinateurs : « On peut espérer créer à bref délai des machines fonctionnant encore plus vite, capables d'attaquer des problèmes largement plus étendus et plus compliqués avec des moyens matériels moins onéreux que ceux des machines actuelles. Les premiers grands relais du cerveau viennent de prendre naissance... » ⁽³⁾. Dans cet exercice de prospective prémonitoire, il saluait la publication récente du livre de Norbert Wiener sur la cybernétique, dans lequel il voyait l'acte de naissance d'une nouvelle science. Nous revisiterons dans cet article les objectifs de la prospective, en particulier de celle qui s'intéresse à la science et à la technologie, et nous nous interrogerons sur son rôle dans la formation.

Existe-t-il un « discours de la méthode » en matière de prospective ?

La prospective, qui n'est pas un exercice de prévision, a pour objectif d'éclairer l'avenir en proposant des scénarios réalistes (par exemple, dans le domaine de l'énergie) et en tentant d'anticiper d'éventuelles ruptures dans les champs de l'économie, de la science, de la technologie, voire de la géopolitique. S'agissant de science et de technologie, elle conjecture leur devenir, repère de possibles mutations, des changements de paradigmes et des voies

prometteuses. Elle s'interroge, aussi, sur l'incidence économique et sociale de leur progrès.

Périodiquement, de nouvelles théories bouleversent radicalement les connaissances, elles introduisent des changements de paradigmes, de véritables « révolutions scientifiques » ⁽⁴⁾, comme le fut l'avènement de la théorie de la relativité et de la physique quantique au début du XX^e siècle : des innovations majeures (l'ordinateur, par exemple) sont l'équivalent de changements de paradigmes ⁽⁵⁾. Ces ruptures dont l'impact est rarement immédiat sont difficiles à anticiper et il n'existe pas de « méthodologie » pour en faire une prospective. Il est vrai que des méthodes complexes de « prévision technologique » ont été élaborées dans les années 1970 pour évaluer de manière probabiliste des possibilités de percées techniques. La méthode « Delphi » consiste à consulter un groupe d'experts afin d'en obtenir par itération la prévision « datée » (celle de la fusion thermonucléaire, par exemple), qui n'a qu'une valeur statistique. Elle présente le sérieux inconvenient de ne pas sortir des chemins balisés, rendant difficilement détectables les signaux faibles de faits porteurs d'avenir et annonceurs de ruptures. Ainsi, lorsque

(1) "Digital intuition", Editorial, *Nature*, 529, 437, 28 January 2016.

(2) *Le premier calculateur électronique, la machine Eniac, avait été inauguré à l'Université de Pennsylvanie, en novembre 1945. Il fonctionnait grâce à 17 500 tubes électroniques d'une puissance électrique de 150 kilowatts.*

(3) DUBARLE (D.), « Une nouvelle science : la cybernétique. Vers la machine à gouverner ? », *Le Monde*, 28 décembre 1948.

(4) KUHN (T.S.), *La Structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1972.

(5) PAPON (P.), « L'anticipation des ruptures », *Futuribles*, n°366, septembre 2010.

le laser fut inventé (au début des années 1960), la plupart des experts doutaient de son utilité et le qualifièrent, ironiquement, de « solution à la recherche d'un problème ».

La prospective technologique utilise souvent la méthode des scénarios, elle consiste à imaginer des évolutions contrastées d'une situation donnée, par exemple celle d'une filière énergétique. Herman Kahn et l'Hudson Institute l'ont popularisée aux États-Unis dans les années 1960 en l'utilisant dans les domaines de la défense et de la géopolitique ⁽⁶⁾. Afin de détecter des zones de ruptures scientifiques potentielles, la voie pragmatique consiste à identifier des signes témoignant de situations nouvelles ou problématiques : nouveaux phénomènes devant être expliqués, concepts devenus stériles, théories à la complexité croissante, technique expérimentale ouvrant des champs d'investigation jusqu'alors difficiles à explorer (c'est le cas du laser, qui a permis de mettre en évidence les ondes gravitationnelles). Ils doivent être détectés dans des publications scientifiques, des livres, des actes de conférences. Ainsi D. Dubarle avait-il bien repéré l'importance du signal qu'était l'explicitation du concept de *feedback* par N. Wiener.

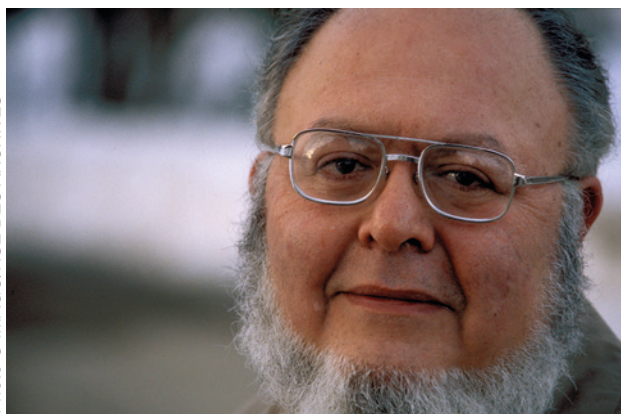


Photo © IMAGO/RUE DES ARCHIVES

Herman Kahn (1922-1983), analyste militaire et théoricien des systèmes politiques, Chappaqua (New Castle), 1978.

« La prospective technologique utilise souvent la méthode des scénarios, elle consiste à imaginer des évolutions contrastées d'une situation donnée, par exemple celle d'une filière énergétique. Herman Kahn et l'Hudson Institute l'ont popularisée aux États-Unis dans les années 1960 en l'utilisant dans les domaines de la défense et de la géopolitique. »

Heurs et malheurs de la prospective

L'histoire des sciences et des techniques permet de faire *a posteriori* le constat que des signes de ruptures étaient détectables. Ainsi, à la fin du XIX^e siècle, la physique statistique ne parvenait pas à expliquer toutes les expériences d'interaction entre la matière et le rayonnement : cette carence « annonçait » de futures ruptures que les physiciens se refusaient à envisager - à l'exception de Max Planck, qui « osa » formuler l'hypothèse des quanta, c'est-à-dire

de la discontinuité de l'énergie. *A contrario*, on rappellera qu'à la fin des années 1930, les dirigeants des Bell Laboratories, qui cherchaient une alternative aux lampes électroniques servant à amplifier des signaux électriques, ont « parié » que la physique quantique permettrait d'expliquer les propriétés électroniques de semi-conducteurs, comme le germanium, et ils ont lancé un important programme de recherche sur la physique des solides qui a abouti, en 1947, à l'invention du transistor, une rupture ouvrant la voie à l'électronique moderne.

Les signaux faibles de la science ne sont pas toujours reconnus par les institutions scientifiques ou les entreprises. Ainsi, l'hypothèse de la dérive des continents proposée en 1915 par le climatologue allemand Alfred Wegener a été ignorée par les géologues, avant d'être validée par des campagnes d'exploration sous-marine au début des années 1970, devenant ainsi l'un des paradigmes des sciences de la Terre. De même, faut-il rappeler qu'en France, l'informatique et la biologie moléculaire ont eu du mal à s'imposer en tant que disciplines à part entière dans les universités et au CNRS ?

La prospective doit éviter deux pièges.

Le premier, très répandu, est celui de la « linéarité » : extrapoler à long terme des tendances scientifiques et techniques. Thomas Edison, l'un des grands inventeurs américains, a ainsi commis cette erreur, en 1900, en pariant que le stockage d'électricité grâce à des batteries permettrait à la voiture électrique de percer. Il en a commis une seconde en n'anticipant pas la possibilité de transporter à grande distance du courant électrique alternatif, car, fort de son expérience, il misait sur le courant continu ⁽⁷⁾.

Le second piège est la myopie : la prospective se refuse d'envisager la possibilité de greffer une technique sur une autre ou de transposer des concepts scientifiques d'une discipline à une autre. Ce piège peut être mortel : Kodak en a été victime, en n'anticipant pas la percée des techniques numériques appliquées à la photographie : en continuant à miser sur l'argentique, la société a été acculée à la faillite. Les signaux faibles ne sont sans doute détectés que par des esprits non contraints par les orthodoxies et préparés, de ce fait, à les percevoir...

Les indicateurs de la science et de la technologie permettent aussi d'identifier des tendances (les dépôts de brevets montraient, dès la fin des années 1980, la montée en puissance des nanotechnologies) ⁽⁸⁾. Ainsi le génie génétique connaît-il des progrès foudroyants avec la

(6) POPIOLEK (N.), Prospective technologique, Orsay, EDP sciences, 2015.

(7) Il a très vite changé de point de vue en se convertissant à la technique du courant alternatif inventée par son rival, Nikola Tesla. Quant aux voitures électriques, elles tentent de déboucher, au XXI^e siècle, promues par une entreprise américaine qui a emprunté le nom de Tesla...

(8) On peut mesurer l'impact des publications et des brevets au nombre de citations dont ils sont l'objet dans la littérature scientifique. En France, cet impact est évalué par l'Observatoire des sciences et des techniques, qui publie des Indicateurs de sciences et de technologies.

technique dite d'édition du génome consistant à modifier avec une très grande précision le génome d'une cellule en utilisant une enzyme spécifique (appelée Cas9). Les premières publications en faisant état datent de 2010 et, dans les bases de données, on observe que leur nombre s'est accru très rapidement à partir de 2013 (environ 600 publications, dès 2014), les brevets suivant la même pente ascendante (une vingtaine en 2012, et près de 170 en 2014, dont 62 pour le seul MIT). Cette rupture technique aura probablement d'importantes applications en génétique⁽⁹⁾. Toutefois, les indicateurs ne repèrent que rarement les signaux faibles, tels que des découvertes publiées dans des articles peu cités, sans écho immédiat, alors qu'ils provoqueront une véritable rupture. Signalons enfin que l'on débat, dans les publications consacrées à la physique des particules et en astrophysique, des défis auxquels la physique doit faire face (par exemple, la nature de la matière et de l'énergie noires) : peut-on envisager des changements de paradigmes à long terme ? Enfin, le nombre croissant de publications consacrées aux applications des concepts d'information quantique conduit à penser que celles-ci pourraient déboucher sur une informatique d'un nouveau type.

La prospective ne se limite pas à évaluer les possibilités de ruptures scientifiques et techniques : elle s'intéresse aussi à leurs implications sociales. Ainsi la relation homme-machine est-elle au centre de nombreuses réflexions, car les progrès de l'intelligence artificielle ont une incidence sur la robotique : les robots sont capables d'apprentissage, d'évaluer leur environnement et de communiquer entre eux⁽¹⁰⁾. Les premières réalisations de robots commandés directement par le cerveau (en l'occurrence, des prothèses) annoncent l'ouverture d'un nouveau champ d'applications à la frontière de l'intelligence artificielle et des neurosciences. Ces perspectives ouvrent un débat sur leurs implications sociales : quel sera l'impact potentiel sur l'emploi et l'organisation du travail de la robotique et du numérique ? Si, en 1930, l'économiste John Maynard Keynes pronostiquait que le progrès technique abaisserait la durée de la semaine de travail à 16 heures en 2030, la prospective ne peut que se limiter à des conjectures : le traitement massif des données va renforcer les capacités des robots et les performances de systèmes experts utilisables dans de nombreux métiers. À partir de là, des hypothèses très contrastées sont faites sur l'impact de ces techniques sur l'emploi⁽¹¹⁾. Sur ces terrains, la prospective doit mobiliser les sciences humaines et sociales (de l'histoire à la psychologie, en passant par la sociologie).

Prospective et science-fiction : des convergences ?

La science-fiction met souvent en scène des ruptures techniques dans des scénarios (romans, mangas et films), avec des héros qui, tels le capitaine Nemo, maîtrisent des innovations pour exploiter l'énergie (son sous-marin, le Nautilus, fonctionnait avec une pile à hydrogène produit à partir de l'eau de mer), manipuler l'humain ou le remplacer par des robots dans une nouvelle société, et explorer l'univers. Ses anticipations et les scénarios de la

prospective en se rejoignant parfois enrichissent nos réflexions sur l'avenir. C'était le cas des spéculations sur les villes du futur dans des romans de Jules Verne et d'Albert Robida, à la fin du XIX^e siècle, des propositions futuristes du plan Voisin de ré-urbanisation de Paris, proposé par Le Corbusier, en 1925, et aujourd'hui des réflexions sur la ville « intelligente »⁽¹²⁾.

Rappelons que l'avènement de l'énergie nucléaire a été envisagé, avec une précision surprenante, par un grand écrivain de science et de politique fiction, le britannique Herbert-Georges Wells, qui, dans *The World Set free*, publié en 1914, « prévoyait » une grande rupture scientifique, qu'il situait en 1933 : la désintégration des atomes (leur fission). Et, ajoutait-il, cette découverte sera vite appliquée à la production d'électricité et à la construction d'une « bombe atomique »⁽¹³⁾. La fission de l'uranium ne devait être découverte qu'en 1938, mais Frédéric Joliot-Curie, dans son discours de réception du prix Nobel de chimie à Stockholm, en 1935, qui lui était décerné ainsi qu'à son épouse Irène pour la découverte de la radioactivité artificielle, anticipait le développement à court terme de l'énergie atomique. Quatre ans après cette véritable prospective, il déposait plusieurs brevets sur l'énergie nucléaire (dont un sur les explosifs...). Quant aux nanotechnologies et à leurs applications les plus diverses (notamment, en médecine), la science-fiction japonaise les a évoquées dès les années 1970⁽¹⁴⁾.

Les visions de la science-fiction et la prospective sont souvent complémentaires, elles reflètent d'ailleurs les préoccupations d'une société, notamment vis-à-vis de la

(9) Cette technique porte le nom de CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats). Les premiers travaux portant sur la bactérie *Escherichia Coli* datent de 1987, et la percée décisive dans ce domaine a été réalisée en 2012 par Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna à Berkeley, avec la mise au point de la Cas9 (Crispr-associated protein 9-nuclease). LEDFORD (H.), « CRISPR, the disruptor », *Nature*, vol. 522, 4 June 2015, p. 20.

(10) OUDOYER (P.-Y.), « Robotique : les grands défis à venir », *Futuribles*, n°399, mars-avril 2014, p. 5.

(11) Voir, en particulier, BRYJOLFSSON (E.) & McFEE (A.), *The second machine age*, New York, W.W. Norton & Company, 2013. Le groupe de l'Oxford Martin School sur l'impact de l'automatisation sur l'emploi a publié d'intéressants travaux sur cette question. Il estime que l'emploi courrait des risques sérieux dans 47 % des métiers aux États-Unis, et il analyse les verrous techniques subsistant dans l'automatisation. Oxford Martin School, *Citi GPS, Technology at work V2.0, the future is not as it was to be*, January 2016.

(12) Voir VERNE (J.), Paris au XX^e siècle (ce livre refusé par l'éditeur de Jules Verne, Pierre-Jules Hetzel, en 1863 a été publié en 1994 par Hachette et les Éditions du Cherche Midi. Pour Albert Robida, auteur aujourd'hui oublié et contemporain de Jules Verne, voir : LACAZE (D.), « Albert Robida, explorateur du XX^e siècle », *Futuribles*, n°366, septembre 2010, p. 61. Les thèmes de l'électrification et du rôle futur des télécommunications sont présents de façon prémonitoire dans leurs livres.

(13) WELLS (H.G.), *The World Set Free*, 1914 (traduction française : *La Destruction libératrice*), Bruxelles, Gama, « Le passé du futur », 1995.

(14) Voir à leur sujet la thèse de Denis Taillandier, *Les Nanotechnologies dans la science-fiction japonaise*, Lyon, Université Jean Moulin, août 2015. C'est un professeur de l'Université de Tokyo, Taniguchi Norio, qui a été à l'origine en 1974 du néologisme « nanotechnologies ».

science et de la technologie ⁽¹⁵⁾ : elles aident à prendre du recul et à intégrer la dimension temporelle dans le progrès scientifique et technique. Ses perspectives sont, aujourd'hui, l'enjeu de débats, c'est le cas notamment des techniques d'édition du génome, dont les implications éthiques ont été discutées lors d'une conférence organisée en décembre 2015 à Washington.

La formation à l'école de la prospective ?

La prospective a une double fonction, d'une part, elle tente d'identifier les domaines de la connaissance où pourraient survenir des ruptures scientifiques ou techniques et, d'autre part, elle en imagine, notamment au travers de scénarios, de possibles implications sociales, économiques ou géopolitiques. Ses réflexions et ses intuitions ne relèvent pas de la connaissance pure, du fait qu'elles doivent souvent tenir compte d'un contexte social. Une démarche prospective devrait être un préalable à l'élaboration d'une stratégie, qu'il s'agisse d'une stratégie de recherche dans un laboratoire public ou privé, de développement technique dans une entreprise ou de politique énergétique. Dans des sociétés de plus en plus façonnées par les progrès des sciences et des techniques, même si ceux-ci sont parfois mis en question, cette démarche devrait être salutaire. Aussi devrait-elle trouver une place dans la formation des ingénieurs, des scientifiques, et, plus généralement, des gestionnaires.

La formation aurait avantage à se mettre à l'école de la prospective, mais comment s'y prendre ?

Les enseignements dispensés dans les grandes écoles et les universités se sont fortement diversifiés ces dernières années, la pluridisciplinarité ayant fait lentement son chemin dans l'enseignement supérieur français, les curriculums des étudiants ont tendance à s'alourdir. Ajouter un enseignement de plus n'est donc pas une solution réaliste, sauf exception ; on pourrait observer d'ailleurs que l'histoire des sciences et des techniques est rarement intégrée à un cursus scientifique. Toutefois, un enseignement dédié à la prospective et aux leçons que l'on peut retirer des exercices passés aurait certainement sa place dans des masters de gestion. C'est d'ailleurs le cas dans certaines universités (par exemple, Paris-Saclay et Dauphine) qui ont créé des masters de management de la technologie et de l'innovation. S'agissant des cursus classiques, on peut sans doute instiller une « dose » de prospective dans certains enseignements dits magistraux, par exemple en physique nucléaire ou quantique et en énergétique, et quelques réflexions sur les perspectives de percées techniques ainsi que sur les succès et les bévues passées de la prospective (en particulier des scénarios, l'énergie étant un bon exemple) seraient bien utiles.

Plus généralement, c'est sans doute un appel à élargir la culture générale des étudiants, dont certains seront de futurs cadres, qui serait le plus utile. Inciter les étudiants à lire ou relire les livres de science-fiction de Jules Verne, d'Albert Robida, d'Isaac Asimov et, bien sûr, 1984 de George Orwell et *La machine à explorer le temps* de H. G. Wells, ne serait pas inutile.



Photo © Coll. Jonas/KHARBINE-TAPABOR

« Un quartier embrouillé », illustration d'Albert Robida (1848-1926) pour le *Vingtième Siècle La Vie électrique*, dans les années 1880-1889.

« Plus généralement, c'est sans doute un appel à élargir la culture générale des étudiants, dont certains seront de futurs cadres, qui serait le plus utile. Inciter les étudiants à lire ou relire les livres de science-fiction de Jules Verne, d'Albert Robida, d'Isaac Asimov et, bien sûr, 1984 de George Orwell et *La machine à explorer le temps* de H. G. Wells, ne serait pas inutile. »

Plus largement, des livres contemporains ouvrant à la géopolitique (tel que *La fin de l'Homme rouge*, le roman de Svetlana Alexievitch, prix Nobel de littérature en 2015, mettant en scène la fin de l'URSS) débouchent sur une réflexion sur la dynamique de transformation des sociétés et sur le rôle de la géopolitique, qui est une dimension importante de la prospective ⁽¹⁶⁾. Le général de Gaulle écrivait, en 1932 dans *Le Fil de l'épée*, que « la véritable école de commandement est celle de la culture générale » et, fort curieusement, à la même époque, on trouvait dans le ma-

(15) Centre d'analyse stratégique, La Science-fiction du miroir de nos sociétés à la réflexion prospective, note d'analyse n°311, décembre 2012.

(16) ALEXIEVITCH (S.), *La Fin de l'Homme rouge*, Arles, Actes Sud, 2013.

nuel de guerre des écoles d'officiers de l'armée japonaise, cette prescription : « Lisez, la guerre sera gagnée ! »⁽¹⁷⁾.

Les étudiants, les chercheurs et les managers ne trouveront dans la littérature et les exercices passés de prospective de recettes ni pour la transition énergétique ni pour éviter les incidences dommageables de l'automatisation. Mais une prospective s'appuyant sur une solide culture générale ouvre le spectre de la réflexion et habitue à penser que l'histoire, la science et la technique ne sont pas toujours linéaires et sont souvent « intriquées ».

Concluons en citant à nouveau J.M. Keynes, qui affirmait que « l'inévitable n'arrive jamais, alors que l'inattendu arrive toujours... ».

Le rôle de la prospective n'est évidemment pas de prévoir l'inattendu, mais d'explorer les voies de l'avenir et de mieux nous armer à faire face, le cas échéant, à des crises provoquées par l'inattendu.

Bibliographie

ATTALI (J.), *Peut-on prévoir l'avenir ?*, Paris, Fayard, 2015.

DÉCOUFLÉ (A.-C.), *La Prospective*, Paris, PUF, coll. « Que sais-je ? », 1972.

DUPUY (J.-P.), *Pour un catastrophisme éclairé. Quand l'impossible est certain*, Paris, Le Seuil, 2002.

GAUDIN (Th.), *Innovation et prospective, la pensée anticipatrice*, Paris, Éditions Omniscryptum, 2012.

GODET (M.), *Crise de la prospective, essor de la prévision*, Paris, PUF, coll. « Sup », 1977.

GODET (M.), *Manuel de prévision stratégique*, Paris, Dunod, 2007.

KAHN (H.) & WIENER (A.J.), *L'an 2000*, Paris, Éditions Robert Laffont, 1968.

KUHN (T.), *La Structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1972.

LEBEAU (A.), *L'engrenage de la technique*, Paris, Gallimard, 2005.

LEHOUCQ (R.), *La SF sous les feux de la science*, Paris, Le Pommier, 2012.

PAPON (P.), *Bref récit du futur*, Paris, Albin Michel, 2012.

PAPON (P.), *Pour une prospective de la science*, Paris, Seegers, 1983.

POPIOLEK (N.), *Prospective technologique*, Orsay, EDP Sciences, 2015.

PORTAL (Th.) & ROUX-DUFORT (C.), *Prévenir les crises*, Paris, Armand Colin, 2013.

ROQUEPLO (Ph.), *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique*, Paris, INRA éditions, 1997.

SALOMON (J.-J.), *Survivre à la science : une certaine idée du futur*, Paris, Albin Michel, 1999.

(17) On doit cette observation à une anthropologue américaine, Ruth Benedict, dans un rapport sur la culture japonaise écrit en 1944-45 pour l'armée américaine, et publié après la guerre dans le livre *Le Chrysanthème et le Sabre* (republié en France, chez Picquier, en 1995). Les généraux japonais n'avaient sans doute pas suivi les préceptes de leur manuel de guerre. Mais le général Mac Arthur, qui avait lu ce rapport, a réussi sans trop de difficultés à mener à bien l'occupation américaine du Japon...