

**Pierre Veltz**

**2008**

### **Science, technique, marché : le grand métissage<sup>1</sup>**

Dans l' « économie de la connaissance », l'économie est-elle en train de vassaliser la connaissance ? Dans la technoscience moderne, telle qu'elle se déploie par exemple dans le génie génétique ou les nanotechnologies, la technique est-elle en train d'absorber la science ? Ces deux questions sont à l'horizon d'un grand débat contemporain, qui prend des formes multiples mais qui se résume dans deux interrogations symétriques. Les uns s'inquiètent de ce qu'ils perçoivent comme une menace mortelle planant sur la liberté et l'indépendance du savant, les autres s'agacent des réticences encore vivaces des chercheurs à l'égard des applications industrielles et marchandes. D'un côté, on trouve ceux qui soulignent la progression de la commande par l'aval dans la recherche, la raréfaction supposée ou réelle des ressources publiques engagées dans la recherche dite de base ou fondamentale, les rapprochements dangereux entre l'université et le marché (« Universities in the market place » pour reprendre le titre du livre d'un ancien Président de Harvard, tirant la sonnette d'alarme au sujet des excès intervenus dans la gestion économique et financière des grandes universités américaines)<sup>2</sup>. Ces « pessimistes » (au regard des valeurs traditionnelles du monde scientifique) craignent que ces tendances finissent non seulement par instrumentaliser, mais aussi par inhiber la recherche fondamentale et par tarir à terme le flux des applications elles-mêmes, dont l'histoire des derniers siècles nous rappelle qu'elles ont été très souvent dérivées de la science la plus désintéressée. D'un autre côté, les « optimistes » notent que l'orientation vers les applications n'a jamais été contradictoire avec le développement de la bonne science, qu'à côté du modèle « Bohr » (science pure, sans applications en vue) et du modèle « Edison » (des innovations à la pelle, mais pas ou peu de

---

<sup>1</sup> Ce texte est issu d'une contribution au colloque de Cerisy sur l'économie de la connaissance, en septembre 2008. Il est publié dans T. Paris, P. Veltz, *L'économie de la connaissance et ses territoires*, Hermann, 2010

<sup>2</sup> D. Bok, *University in the Market Place*, Princeton University Press, 2002

science), le modèle « Pasteur » ou, pour prendre une figure plus proche, le modèle « de Gennes » montrent bien que la synthèse est possible, que l'industrie ou les besoins humains comme la santé sont une source inépuisable de stimulations profondes et de progrès dans la connaissance fondamentale. Toute l'histoire déjà ancienne de la chimie, comme celle plus récente de la microélectronique, montrent une étroite et indissociable imbrication de science et d'industrie. Le transistor a été inventé par une entreprise privée (les Bell Labs) dans le cadre d'un programme industriel de recherche à long terme et à haut risque. Kilby, l'inventeur du circuit intégré, a reçu le Prix Nobel à la suite d'un brevet et non d'une publication scientifique. Et il est inutile de rappeler combien en retour, ces outils développés pour le marché et/ou les besoins militaires, ont permis d'extraordinaires progrès dans les connaissances de base. Tous les analystes s'accordent ainsi désormais dans la remise en question du fameux schéma « linéaire » de l'innovation, allant de la science pure à la création de marchés et de produits nouveaux, en passant par la recherche appliquée. Des modèles plus interactifs, comportant toutes sortes de boucles de rétroactions, ont été élaborés, comme par exemple le fameux « mode 2 » de la production de connaissances proposé par Gibbons et ses co-auteurs<sup>3</sup>.

### **Un changement de phase dans l'interaction entre science, technique et marché ?**

On peut se demander toutefois si ces questionnements et ces constats, bien connus et que je me borne ici à évoquer succinctement, permettent réellement de saisir la nouveauté de notre situation. Ils reposent en effet sur l'idée qu'il existe deux univers bien distincts en interaction, deux univers de valeurs, deux ensembles séparés de pratiques et d'institutions, et que le problème se résume en quelque sorte à l'appréciation du bon dosage, de la bonne position du curseur entre ces deux univers. On aurait d'un côté l'économie, de l'autre la connaissance ; d'un côté la science comme effort de compréhension désintéressé du monde, en quête exclusive du vrai, et de l'autre la technique comme volonté d'augmenter notre prise sur le monde, en quête exclusive de l'utile. On peut au contraire – c'est l'hypothèse

---

<sup>3</sup> M. Gibbons, al. *The New Production of Knowledge* Sage Publications, 1994

directrice de cette contribution – se demander s’il ne convient pas d’interroger les termes dans lesquels ces univers se définissent, en cherchant à qualifier les réalités profondément hybrides où ils s’interpénètrent désormais. On peut se demander si, au-delà d’un certain niveau d’imbrication, on ne franchit pas une sorte de seuil, de « changement de phase », qui conduit vers une réalité nouvelle, qualitativement différente de celle que décrivent nos catégories usuelles.

Ni le « marché » ni la « science » ne sont des réalités a-historiques, définies par des essences figées. Dans un texte passionnant de 1994<sup>4</sup>, Michel Callon soulignait par exemple que le caractère de « bien public », au sens des économistes, de la science, caractère justifiant qu’elle soit protégée des forces du marché par l’Etat, n’allait nullement de soi et que nulle propriété intrinsèque ne rendait impossible ou absurde la perspective d’une science totalement « privatisée », aussi choquante cette perspective puisse-t-elle nous paraître. Sans aller aussi loin, on peut se demander si la dépendance croissante de la science à l’égard de machineries de plus en plus complexes et coûteuses, la formidable poussée de la numérisation, la création d’un monde artificiel qui commence à montrer des degrés de complexité proches de ceux du monde naturel, la réduction de la distance entre les connaissances sur les mécanismes fondamentaux de la nature, vivante ou inerte, et celles qui sont incorporées dans les produits marchands, la montée de formes d’interactions plus fractales entre le monde des entreprises et celui des laboratoires dans les modèles dits d’innovation ouverte - si toutes ces tendances ne sont pas en train d’engendrer des configurations profondément nouvelles, où la lutte des fins et des valeurs propres aux diverses sphères traditionnelles n’est certes pas effacée d’un coup de baguette magique, mais se déploie désormais dans un espace hybride, en émergence, dont nous peinons encore à distinguer clairement les traits.

Une nouvelle étape se dessinerait ainsi dans l’histoire des relations entre science, technique et marché, histoire dont on peut, en ayant conscience de rester ultra-schématique, rappeler quelques grandes inflexions. Cette histoire, soulignons-le d’abord, est une histoire

---

<sup>4</sup> M. Callon, « Is Science a Public Good ? », *Science, Technology and Human Values*, vol. 19, N° 4, 1994

récente – quelques siècles au plus. La science, en effet, au sens moderne du terme, est une réalité de fraîche date (17<sup>ème</sup> et 18<sup>ème</sup> siècles) et même de très fraîche date si l'on considère sa professionnalisation (19<sup>ème</sup> siècle) et son accession au stade d'une activité de masse (deuxième moitié du 19<sup>ème</sup> siècle). La technique, en revanche, est vieille comme l'humanité, car elle lui est consubstantielle, comme le souligne D. Bourg<sup>5</sup>. Le tournant galiléen instaure un début de convergence entre deux univers de pensée et de pratiques longtemps séparés et même opposés : celui de la spéculation, de la théorie, celui des arts appliqués, pratiques. Rappelons que chez les Grecs, la technique relève du monde contingent et diversifié des activités servantes et pratiques, qui ne peut prétendre à l'universalité, comme le débat oisif des hommes libres, et se trouve de ce fait profondément dévalorisée. Dans cette convergence qui se déploie du 17<sup>è</sup> au 18<sup>è</sup> siècle, la science emprunte beaucoup à la technique, mais lui rend peu. Galilée observe le travail mécanisé à l'Arsenal de Venise, mais la mécanique théorique dont il jette les bases, comme celle de Newton, comme les débuts de l'électricité et du magnétisme, ne serviront guère, en retour, à améliorer les techniques du temps. Au 18<sup>è</sup> siècle encore, on l'a souvent noté, la machine à vapeur inventée par des artisans et développée par les premiers « industriels » apporte plus à la thermodynamique que l'inverse. Le véritable basculement se produit au 19<sup>è</sup> siècle, avec, par exemple, les premières écoles d'ingénieurs à la française où l'on développe l'idée saugrenue, observée avec ironie par les Anglais, de mettre les mathématiques les plus avancées de l'époque au service de fins pratiques comme la construction de ponts ou le calcul économique des travaux publics. Il se réalise pleinement avec l'émergence du couplage entre l'université allemande de recherche et l'industrie de la chimie, puis de l'électricité. Le vingtième siècle verra ces relations s'intensifier, se diversifier, atteindre une ampleur inédite dans de nombreux secteurs, comme de le nucléaire, les transports, l'électronique et aujourd'hui les biotechnologies et l'asservissement industriel du vivant. La convergence science-technique-marché, ainsi, a fonctionné : trop bien fonctionné aux yeux de certains comme Levy-Leblond qui craint, avec beaucoup d'autres, que la technoscience tirée par le marché

---

<sup>5</sup> D. Bourg, *L'homme-artifice. Le sens de la technique*, Gallimard, 1996

finisse par étouffer la science<sup>6</sup> ; pas assez, selon d'autres, qui notent dans le cas de la France en particulier une persistante difficulté à transformer les avancées scientifiques en innovations et en positions de marché. Mais mon objet ici, je l'ai dit, n'est pas de peser ainsi les « plus » ou les « moins » dans cette convergence. Il est de caractériser les tendances nouvelles qui justifient, au delà du simple constat d'une imbrication croissante, l'hypothèse du passage d'un seuil vers une configuration nouvelle.

### **Crise des paradigmes, montée du numérique**

Le premier constat qui s'impose est relatif à la science. Il est que, depuis un bon demi-siècle, les foisonnantes et souvent spectaculaires avancées scientifiques se sont réalisées sans mutations majeures de paradigme, comme celles de la relativité et de la mécanique quantique dans la première moitié du vingtième siècle et de la biologie moléculaire dans la seconde moitié du siècle. On peut même avoir le sentiment d'une certaine crise conceptuelle. En physique, les théories « unificatrices », inaccessibles en dehors d'une mathématisation de plus en plus sophistiquée, ne semblent guère stabilisées. En biologie, les concepts fondateurs beaucoup plus empiriques comme le « gène » s'avèrent schématiques, voire trompeurs pour aborder l'immense complexité du vivant, dès lors qu'on considère l'échelle de la cellule et des organismes pluri-cellulaires<sup>7</sup>. La biologie des systèmes cherche encore ses outils et ses concepts. Parallèlement, l'avancée de la connaissance, qu'elle soit dite pure ou appliquée, est de plus en plus tributaire d'énormes machineries techniques, mobilisant des ressources financières et organisationnelles croissantes et souvent peu proportionnées aux enjeux que le commun des mortels peut comprendre, ce qui oblige les scientifiques à un effort soutenu de « marketing ». La question de savoir si les nouvelles machines et les nouvelles expériences du CERN permettront ou non de « découvrir » le boson de Higgs ne peut pas être dissociée de l'existence et du sens de cette gigantesque médiation technique. En biologie ou en médecine, le coût unitaire associé à une publication scientifique a

---

<sup>6</sup> J.-M. Levy-Leblond, « Technoscience » in N. Witkowski (dir.) *Dictionnaire culturel des sciences*, Le Seuil, 2001

<sup>7</sup> Voir E.F. Keller, *Le siècle du gène*, Gallimard, 2003

explosé. La magnifique simplicité des articles d'Einstein en 1905 paraît désormais bien éloignée. Il n'est plus de science aujourd'hui, semble-t-il, sans une gigantesque et omniprésente prothèse technologique.

Le deuxième ensemble de constats concerne les impacts multiformes de la révolution numérique. Celle-ci constitue d'abord un extraordinaire vecteur de transversalité. Alors que les connaissances spécialisées ont tendance à se fragmenter à l'extrême, la numérisation crée des plans d'équivalence entre des problèmes et des domaines a priori très éloignés les uns des autres, dès lors que les modèles mathématiques sous-jacents sont homologues. La liste à la Prévert des champs d'application abordés par les laboratoires de mathématiques appliquées utilisant massivement la modélisation et la simulation en est l'illustration. Le calcul haute performance est un opérateur de rapprochement exceptionnel entre les disciplines, de même qu'entre la recherche industrielle et la recherche universitaire. Un deuxième aspect, moins souvent souligné, est que les produits et les systèmes que le monde numérique ne cesse de construire deviennent eux mêmes des objets en quête de leur propre science. Ainsi, la révolution numérique n'a pas seulement conduit à une explosion sans précédent des possibilités de modélisation et de simulation, transformant en profondeur les processus de conception et de réalisation dans l'industrie (par exemple grâce au remplacement des tests physiques du type « crash » par des tests virtuels) et permettant d'engager des démarches réflexives sans précédent comme la modélisation du climat. Elle édifie progressivement, en interactions avec de nombreuses technologies matérielles, de gigantesques artefacts qui sont eux-mêmes en attente de la science sous-jacente. L'informatique est considérée par beaucoup comme une simple technique. Mais d'autres insistent sur le fait qu'elle est aussi une science en devenir, et que la complexité même des grands logiciels, des grands systèmes, les questions centrales de leur fiabilité et de leur sécurité créent aujourd'hui le besoin de concepts et de mathématiques nouvelles<sup>8</sup>. La science et la technique, ainsi, ne servent plus seulement à observer et à comprendre la « nature », mais elles créent des objets qui ouvrent de

---

<sup>8</sup> Voir par exemple G. Berry, *Pourquoi et comment le monde devient numérique*, Fayard-Collège de France, 2008. Voir aussi les cours en ligne de G. Berry sur [www.college-de-france.fr](http://www.college-de-france.fr)

nouvelles énigmes, rejoignant et redoublant celles que pose ladite nature. La chimie supra-moléculaire est un autre exemple du même mouvement<sup>9</sup>. Elle permet l'émergence de phénomènes d'auto-organisation des ensembles moléculaires dont l'étude renvoie directement à celle du vivant. La science avancée crée ainsi des situations de complexité qui ressemblent à celles de la technique traditionnelle. Ça marche (ou non), mais on ne sait pas exactement pourquoi !

Certains vont plus loin encore. Ainsi, dans son style provocateur et habituel, le magazine *Wired* n'hésite pas à proclamer la « fin de la science » en soulignant que, dans beaucoup de domaines, la masse rapidement croissante des données disponibles et la simple étude des corrélations permettent de se passer d'hypothèses ou de thèses à vérifier<sup>10</sup>. Plus besoin de théorie causale, la statistique suffit. « Avec assez de données, les chiffres parlent d'eux-mêmes ». Tel serait le nouveau modèle, illustré par Google, dont l'efficacité tant cognitive que commerciale se passe de toute théorie ou hypothèse pour reposer exclusivement sur des corrélations. Bien entendu, cette idée est hautement contestable, mais on ne peut nier le fait que l'explosion des données et de leur disponibilité est une transformation profonde, pour le marketing comme pour la science et la technique. L'Internet, ainsi, est une machine qui possède la particularité de pouvoir analyser (en temps réel ou différé) son propre fonctionnement, en cartographiant par exemple les connexions et leur inscription géographique, fonctionnelle, voire sociologique. Et il est certain, par exemple, que ces masses nouvelles de données vont modifier en profondeur les approches des sciences sociales. Bien entendu, l'idée d'une science purement axée sur les corrélations et des simulations sans concept n'est guère plausible. (De nombreux scientifiques éminents se méfient d'ailleurs de cette idée du grand calcul comme source réelle de connaissance : c'était, par exemple, la position de P.-G. de Gennes). Mais, au-delà des visions à l'emporte-pièce de *Wired* et de ses gourous, la complexité interroge effectivement notre vision traditionnelle de la science comme séquence théorie/test empirique.

---

<sup>9</sup> Pour une approche vulgarisée, voir par exemple J.-M. Lehn, « Vers la matière complexe. Chimie supramoléculaire et auto-organisation ». *Le Débat*, 152, 2008

<sup>10</sup> C. Anderson, "The End Of Science", *Wired*, Jul. 2008

Ainsi, dans son superbe livre sur les modèles et les métaphores en biologie<sup>11</sup>, E. F. Keller émet l'idée un peu vertigineuse suivante : l'hypothèse selon laquelle le monde, le monde vivant en particulier, pourrait être compréhensible et calculable – calculable de manière compréhensible, c'est-à-dire en donnant un sens au calcul – est une hypothèse qu'il faut peut-être abandonner. Considérons par exemple le passage de l'œuf à l'embryon et à l'organisme adulte : d'une certaine manière la machinerie vivante pourrait bien être le calcul, en ce sens qu'il n'est peut-être pas possible de reproduire par un calcul externe de modélisation « plus simple » la complexité de ce processus.

### **Un nouveau contexte : homéotechnique, ubiquité, métissage.**

Résumons-nous : aucun des grands critères qui permettaient, hier encore, de tracer une démarcation à peu près nette entre la science et la technique ne semble plus assuré. La science sans la technique avancée n'existe plus. Les mondes artificiels techniques qui se déploient de plus en plus profondément et largement sont à la recherche de leur propre science. Et une interrogation plane sur la nature même de la science comme test « falsifiable » d'une théorie. Comment caractériser, dès lors, le contexte technoscientifique dans lequel nous baignons ? Trois caractéristiques me paraissent essentielles.

La première est que les nouvelles combinaisons entre science et technique évoluent vers une utilisation plus fine, plus intime, moins brutale et extérieure, des mécanismes naturels. Ce passage de l'allotechnique vers l'homéotechnique est commun à tous les domaines. En descendant plus profondément dans la compréhension et la domestication des processus de la nature, en allant vers plus de science, la technique se construit à la fois comme moins violente et comme plus efficace. Cette tendance à suivre le fil d'un judo plus subtil avec la nature est universelle. En ce sens, la visée écologique n'est pas simplement extérieure à la technoscience, rappel à l'ordre rendu indispensable par la prise de conscience des ravages de la

---

<sup>11</sup> E. F. Keller, *Expliquer la vie. Modèles, métaphores et machines en biologie du développement*, Gallimard, 2004

brutalité technologique de l'ère industrielle. Loin d'être contraire au mouvement profond des techniques, comme le voudrait une technophobie ambiante dans certains mouvements écologistes, elle s'inscrit dans le droit fil de leurs plus radicales avancées. Bornons-nous à un seul exemple : celui de l'agronomie. Dans le passé récent, la « révolution verte », en Asie notamment, a permis d'améliorer sérieusement la situation alimentaire, grâce au transfert plus ou moins direct des méthodes éprouvées dans les pays développés (utilisation des engrais chimiques notamment). Aujourd'hui, de nombreux observateurs s'accordent sur le fait que ces méthodes, outre les dommages collatéraux qu'elles entraînent sur l'environnement, ne seront pas à même de résoudre l'équation alimentaire globale d'une planète plus peuplée et surtout plus riche, consommant donc plus de viande. L'idée est donc de passer à une « révolution doublement verte », c'est-à-dire utilisant beaucoup plus efficacement les mécanismes naturels de croissance des plantes, ce qui suppose d'abord un énorme effort de recherche pour en comprendre toutes les subtilités, encore bien mal connues<sup>12</sup>.

La deuxième caractéristique majeure est que la science et la technique ne nous fournissent plus simplement des outils (externes, isolables, individuellement maîtrisables), mais constituent un environnement dans lequel nous sommes totalement immergés, même si nous n'en avons qu'une conscience limitée. Nous ne mesurons pas toujours la pénétration sans précédent de la technique dans nos univers non seulement professionnels, mais domestiques. L'informatique, ainsi, ne se réduit nullement aux PC que nous utilisons pour notre travail, nos loisirs ou nos réservations de trains ou d'hôtels. Certains ont calculé qu'en plus du microprocesseur de notre PC, nous croisons quotidiennement, en moyenne, une centaine d'autres microprocesseurs, relevant de ce que l'on appelle l'informatique enfouie ou embarquée, dans un nombre rapidement croissant d'objets quotidiens. Cette informatique enfouie représente déjà, de loin, l'essentiel de l'informatique qui nous entoure. Et l'avenir qui s'annonce est celui de l'« internet des objets », c'est à dire de la communication entre tous les outils et dispositifs qui constituent notre environnement, dès lors que tous les objets mêmes usuels se verront

---

<sup>12</sup> Voir M. Griffon, *Nourrir la planète*, O. Jacob, 2006

attribuer une adresse IP. Ceci renforcera la diffusion capillaire et enveloppante de technologies qui, comme ce fut le cas avec l'électricité, deviendront « invisibles » car totalement banalisées et fournies en grande partie comme des commodités par des réseaux ubiquitaires. Dans la perspective du « cloud computing », ainsi, la puissance de calcul est centralisée et distribuée comme l'électricité. La convergence en cours, encore largement confinée dans les laboratoires, mais qui commence à s'en échapper, entre l'informatique, les nanotechnologies (c'est-à-dire l'ultra miniaturisation, à l'échelle atomique et moléculaire) et le monde du vivant marquera l'étape ultérieure, susceptible de faire émerger de multiples applications nouvelles, notamment dans le domaine de la santé et de son « monitoring ». Notons ensuite que, contrairement aux outils techniques traditionnels, souvent déficients par rapport à leurs usages et structurellement sur-utilisés (un couteau ne coupe jamais assez), les techniques modernes ont des fonctionnalités presque toujours surabondantes. La norme est donc la sous-utilisation plutôt que l'inverse. Enfin, il est essentiel de rappeler que ce nouvel environnement dans lequel nous baignons n'est pas constitué d'objets transparents et neutres, simples dispositifs physiques. L'informatique, en raison de sa double face matérielle et logicielle, multiplie les « boîtes noires » dans lesquelles sont incorporées des connaissances théoriques, des standards, des choix spécifiques, boîtes noires dont dépendent, à de multiples niveaux, notre bien être, notre sécurité et la protection de notre intimité. A un certain niveau, ces boîtes noires constituent de véritables options normatives. Par exemple, l'immense machinerie logicielle sur laquelle repose la finance mondiale incorpore des modèles mathématiques très particuliers qui conditionnent puissamment son fonctionnement (et ses errements...). Les mathématiciens de la finance, ainsi, s'interrogent sur le lien entre la crise et l'abus des modélisations gaussiennes<sup>13</sup>

Une troisième caractéristique du monde techno-scientifique en émergence est le métissage généralisé comme mode central de développement. De même que les quelques symboles de l'alphabet suffisent à écrire tous les textes du monde, la capacité combinatoire des technologies de base qui portent les nouvelles vagues de produits

---

<sup>13</sup> Voir M. de Pracontal, D. Walter, *Le virus B. Crise financière et mathématiques*. Le Seuil, 2009

et de services est énorme. Cette combinatoire est devenue le principal moteur de l'innovation. Certes, il apparaît parfois – mais rarement – des innovations de rupture, portées par de nouvelles espèces de composants mettant en œuvre des effets physiques, chimiques ou biologiques jusqu'alors inconnus ou inutilisés. Mais l'essentiel de ce que les entreprises, les marchés et les consommateurs appellent « innovation » résulte de réaménagements de briques existantes, puissamment facilités par la miniaturisation d'une part, la flexibilité logicielle d'autre part. La sélection des combinaisons gagnantes se réalise en général par les usages et les marchés, tant la gamme des combinaisons a priori disponibles est étendue. En sens inverse, le besoin de miniaturisation est un puissant moteur pour obliger les concepteurs à marier les technologies les plus variées et à faire coopérer les spécialistes correspondants. Par exemple, la réalisation de laboratoires d'analyse miniaturisés (« lab on chips »), qui vont révolutionner le diagnostic médical ou environnemental, n'est possible qu'en intégrant de multiples compétences d'origine très variées : électronique, surfacique et mécanique des fluides, chimie et biochimie, etc. La recherche d'optimisation énergétique, qui ne fait que commencer dans les domaines les plus traditionnels de nos techniques (habitat, mobilité, etc.) entraînera le même type d'exigences en matière de pluridisciplinarité. Au total, ces dynamiques d'hybridation produisent un monde technique très différent de ceux que nous avons connus jusqu'à la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle, où l'on pouvait ranger les spécialités dans des compartiments et des filières relativement stables et étanches et où la notion de « système technique » organisé autour de filières dominantes, telle qu'élaborée par B. Gille, avait un sens. Ce monde traditionnel avait déjà été perturbé par la montée de « technologies génériques » (« general purpose technology ») comme l'électricité. Mais aujourd'hui, ces technologies génériques (l'informatique, mais aussi bientôt les nanotechnologies, la chimie de synthèse et la biologie) sont tellement puissantes et omniprésentes qu'elles ne cessent de déstabiliser les frontières établies des branches industrielles, des corps de métiers et des disciplines. L'omniprésence très fortement sous-estimée des mathématiques fera le reste. Ce n'est évidemment pas un hasard si, dans tous les grands centres de formation à l'ingénierie, traditionnellement organisés autour des

grandes filières classiques (génie civil, génie chimique, génie électrique, etc.) on voit se multiplier les instituts interdisciplinaires. Rien n'est donc véritablement « systémique », au sens habituel, dans cet univers, qu'Antoine Picon compare plus justement à un « paysage » : un ordre, certes, mais mouvant, et dans lequel on peut inventer son propre chemin de mille et une manières<sup>14</sup>.

Concluons ces aperçus généraux par deux séries de remarques relatives aux modes de production et aux modes de régulation du nouvel univers techno-scientifique.

### **La production ouverte et la puissance du réseau**

S'agissant des formes de production, le mot-clé est, à nouveau, hybridation. Un premier aspect frappant est la diversification des organisations et des arènes où sont développées et mises en discussion les nouveautés scientifiques et technologiques. Après le temps des amateurs éclairés, le 19<sup>e</sup> et le 20<sup>e</sup> siècles nous avaient habitués à un partage des rôles strict et apparemment stabilisé entre les grands types d'acteurs produisant la science et la technique. Mais aujourd'hui, on voit bien que ces frontières se brouillent. L'université (je prends ce terme au sens large, évidemment, incluant les grands centres de recherche publique) n'a plus le monopole de la recherche de base. Elle est, inversement, de plus en plus souvent impliquée dans le monde du marché. Le principe du caractère « public » des savoirs et de leur validation par la critique totalement ouverte des pairs, principe fondamental du modèle de la science tel qu'il s'est fixé depuis le 17<sup>e</sup> siècle, connaît de plus en plus d'entorses, notamment en biologie. Partout, les chercheurs académiques sont incités à créer des entreprises. Les universités américaines gagnent de l'argent grâce aux revenus de la propriété intellectuelle. Le Bayh-Dole Act, aux USA, a constitué de ce point de vue un tournant majeur. Dans les modèles d'« innovation ouverte » sur lesquels je reviendrai dans un instant, la grande entreprise classique, foyer traditionnel de la recherche appliquée et de la transformation des inventions en innovations valorisées sur un marché, voit son rôle se transformer profondément.

---

<sup>14</sup> A. Picon, Quasi-objets techniques et paysages de la technologie contemporaine, *Revue européenne des sciences sociales*, 35, 1997

On connaît le rôle croissant des « jeunes pousses » (start-up) qui sont souvent davantage des structures expérimentales de projet que des entreprises proprement dites, mais dont le rôle explorateur est crucial. Mais le processus d'innovation s'appuie également de plus en plus sur des individus ou des communautés d'individus lâchement assemblées, en-dehors de toute structure formelle. Enfin, last but not least, la société non savante, celle des consommateurs et des citoyens, fait une entrée fracassante dans le champ des « experts ». Du débat sur le OGM au « Grenelle des ondes », du nucléaire aux nanotechnologies, il n'est pas de sujet qui tôt ou tard ne fasse l'objet d'une mise en débat public. Ajoutons enfin, dans le domaine de la santé, la place considérable prise par les associations de malades (telle que l'AFM<sup>15</sup>) dans le financement de la recherche. Tout ceci mène à une situation complexe et paradoxale. Car dans le même temps où l'innovation devient l'enjeu clé de la compétition marchande mondialisée, et où se livrent de féroces batailles autour de la propriété intellectuelle, elle devient profondément « sociale », en ce sens qu'elle échappe largement à l'univers d'offre des entreprises pour être modelée par de multiples processus distribués dans l'épaisseur de la société.

Le deuxième aspect est la montée, au sein même du monde de la production, de modèles d'organisation en réseaux ouverts, en lieu et place des schémas fermés et « propriétaires » anciens. En rupture plus ou moins franche avec le modèle des grands projets qui a conduit dans le passé au développement des secteurs nucléaire ou aérospatial, s'impose désormais la métaphore de « l'écosystème ». Dans ce modèle, les acteurs sont multiples et divers, et leur liste reste ouverte. A tous les stades, depuis la conception amont jusqu'à la commercialisation, le mode séquentiel classique où les opérations s'enchaînent et où les produits se définissent selon des formules planifiées à l'avance laisse place à un mode « darwinien » de compétition permanente des idées, des technologies, des usages, régulée par des marchés ou des pseudo-marchés. Ces modèles ouverts reposent largement sur le choix des grands acteurs économiques (grandes entreprises d'assemblage de technologies, notamment) consistant à fractionner les risques, à les externaliser en les faisant porter par de petites structures et à élargir du même coup l'espace

---

<sup>15</sup> Association Française contre les Myopathies

d'exploration précédant les choix définitifs. En sens inverse, ces modèles ne fonctionnent évidemment que s'il existe des acteurs capables d'engranger, de ré-internaliser des contributions multiples, non planifiées, en produits ou en systèmes cohérents. Ne laisser dormir aucun actif, exploiter les ressources de l'environnement, savoir récupérer, utiliser et développer les idées des autres : les modèles dits d' « innovation ouverte » sont fondamentalement opportunistes. Leur efficacité est proportionnelle à l'acceptation organisationnelle et culturelle du métissage. Peu importe que la bonne idée vienne de tel laboratoire de recherche universitaire, de telle PME ou même de tel individu, l'essentiel est de faire fonctionner les dispositifs de sélection et de convergence adéquats. Ces modèles d'innovation ouverte peuvent d'ailleurs prendre des formes variées. Une forme dominante qui semble émerger est celle qui se construit autour de grandes firmes d'assemblage qui polarisent un écosystème de jeunes pousses exploratoires, de PME plus matures spécialisées dans les technologies de composants (« techno provider ») et de pôles de recherche appliquée qui aident ces dernières à faire évoluer et mûrir ces technologies, en suppléant à la faiblesse intrinsèque de leurs moyens de R&D<sup>16</sup>. Une version plus radicale est celle qu'on peut trouver dans le monde du logiciel libre, où le développement mobilise non seulement des entreprises, mais des communautés ouvertes de contributeurs bénévoles : Linux, le système d'exploitation développé sous la direction de Linus Torvalds, en est un exemple paradigmatique, utilisé à satiété par une littérature désormais foisonnante, volontiers utopiste, sur le sujet. Au-delà du logiciel, d'autres tentatives comme celle de plates-formes informatiques ouvertes de type « Innocentive » tentent de mobiliser les compétences scientifiques ou technologiques spécifiques de manière totalement ouverte, en soumettant des problèmes non résolus à la communauté mondiale des internautes, avec des incitations financières en cas de succès. Comme toujours en cas de changement de paradigme productif, une dimension utopique n'est pas absente dans ces mutations. Parmi les premiers promoteurs du logiciel libre, on trouve ainsi des idéologues engagés comme Richard Stallman. Certains observateurs ou acteurs pensent que la « richesse des réseaux »

---

<sup>16</sup> Cette structure triangulaire a notamment été formalisée par le pôle de compétitivité Systematic. Voir [www.systematic-paris-region.org](http://www.systematic-paris-region.org)

permise par la « production ouverte », la « production sociale » ou « la production régulée par les pairs » (peer production) – pour prendre trois termes souvent utilisés de manière plus ou moins équivalente – va transformer profondément non seulement l'économie, mais la société et la politique<sup>17</sup>. D'autres voient surgir un « nouveau capitalisme cognitif », lié notamment à la montée des économies externes, à la « pollinisation » des idées si caractéristique de l'innovation ouverte, malgré tous les efforts faits pour capter la propriété intellectuelle<sup>18</sup>. En réalité, il me semble que ces nouvelles formes en émergence montrent surtout la plasticité des schémas économiques dominants et nous mettent, à nouveau, en face de réalités mêlées, hybrides, plutôt que de franches ruptures<sup>19</sup>. Dans le logiciel, la « peer production » qui marche n'est pas l'anarchie libertaire que décrit une certaine image romantique du « hacker ». La grande masse des contributions externes sert surtout à détecter et à nettoyer les « bugs », dans un processus d'apprentissage par l'usage finalement assez classique. Le cœur du processus, quant à lui, est très fortement structuré et même hiérarchisé. Quant aux relations avec le monde marchand, il y a belle lurette que le monde « open source » est intimement articulé avec celui des entreprises classiques. Les modèles d'innovation ouverte structurés autour de grandes firmes, quant à eux, accroissent le rôle du marché plutôt qu'ils ne le réduisent. En revanche, on voit bien que l'hybridation progresse assez rapidement entre le monde académique et celui des entreprises. Après tout, la « peer production » n'est, dans une large mesure, que le transfert vers le monde économique du modèle traditionnel de création et de validation de la production scientifique. Et l'effet majeur des nouveaux écosystèmes de l'innovation est bien d'agrandir la surface de constat entre les trois mondes : celui des grandes firmes, celui des PME et celui des laboratoires.

### **Peut-on se reposer sur la régulation par les marchés et les crises ?**

Venons-en, pour finir, à la question cruciale de la régulation: quels sont les choix et les dispositifs qui orientent les trajectoires

---

<sup>17</sup> Voir Y. Benkler, *The Wealth of Networks : How Social Production Transforms Markets and Freedom*, Yale University Press,

<sup>18</sup> Y. Moulier-Boutang, *Le capitalisme cognitif*, Editions Amsterdam, 2007

<sup>19</sup> Voir la postface de P. Veltz, *Le nouveau monde industriel*, Gallimard, 2008

scientifiques et technologiques, dans cet univers d'interpénétration de plus en plus intime et fractale entre science, technique et marché ? La question est essentielle en raison de l'immense ouverture du champ des possibles décrite plus haut (exploitation des possibilités combinatoires, capacités croissantes de jeu avec la complexité naturelle, miniaturisation). Depuis la seconde guerre mondiale, la science et la technique nous ont mis en face de grands débats, de grandes options plus ou moins binaires tels que les choix nucléaires, militaires et civils. Ces grands débats ne sont pas éteints. D'autres surgissent, notamment autour de la biologie, avec une complexité peut-être plus grande. Mais le sujet de la régulation de l'hyper-choix technologique qui caractérise une part de plus en plus vaste de l'activité économique, de la production et de la consommation des biens et services courants est rarement abordé. On dira : la régulation existe. Elle s'appelle le marché. Sont retenues les technologies et les combinaisons technologiques qui trouvent des débouchés, des clients, des usages. A quoi on peut ajouter un deuxième régulateur : la crise. Les technologies assemblées en systèmes sont fragiles, surtout lorsqu'il s'agit de méga-systèmes. La rupture de fiabilité est donc toujours à l'horizon et la crise peut amener à repenser les choix. Ces deux réponses sont toutefois, pratiquement et éthiquement, peu satisfaisantes. La régulation par le marché est loin d'être aussi neutre qu'elle paraît à ses adeptes. Tout système de prix intègre des choix et des normes - comme le montre d'ailleurs parfaitement le débat écologique et énergétique. En ce sens, le basculement écologique est crucial, car il réinjecte un débat sur les finalités dans une mécanique aveugle. Est-il suffisant ? Je ne le pense pas. Il suffit de penser aux énormes distorsions entre les besoins humains et les réponses du marché en matière de médicaments et de santé – domaine par excellence où les nouvelles potentialités technoscientifiques vont se développer dans les décennies à venir – pour en être convaincu. De même, il est évidemment peu raisonnable de laisser aux crises, voire aux catastrophes, le soin de choisir à notre place les trajectoires que nous voulons suivre pour améliorer réellement notre existence. L'immense question de la régulation technoscientifique et de son raccordement avec les univers éthiques (pas seulement en termes d'évaluation des conséquences ou des impacts a posteriori, mais en termes de capacité de pesée a priori sur les chemins à suivre dans

l'univers de l'hyperchoix combinatoire qui s'ouvre à nos sociétés) est donc presque entièrement devant nous, sans réponse convaincante à ce jour. Il importe de ne pas l'aborder avec les catégories du passé, mais en prenant en compte les bouleversements radicaux que nous sommes en train de vivre.