

INVENTION
LA PÉPINIÈRE DES IDÉES

Norbert Wiener
traduit de l'anglais par Pierre Albarède

mars 2003

Internationalement honoré pour ses brillants travaux tout au long de sa carrière, auteur de livres populaires tels que *God and Golem, Inc.*, qui reçut le National Book Award en 1964, Norbert Wiener n'était pas un mathématicien ordinaire. Avec sa capacité de comprendre les choses au niveau le plus fondamental, il relia constamment ses mathématiques à l'ingénierie et fut à l'origine de toutes sortes d'inventions, depuis le radar, jusqu'aux réseaux de communication, ordinateurs et membres artificiels. Dans sa carrière, Wiener fut aussi profondément soucieux et respectueux de l'éthique guidant l'application des théories développées par lui-même ou d'autres scientifiques.

Des années après sa mort, on retrouva dans ses papiers le manuscrit de ce livre. Le monde de la science a beaucoup évolué depuis le début des années cinquante, en grande partie dans la direction que redoutait Wiener. Maintenant publié pour la première fois, cet ouvrage apparaît comme une mise en garde salutaire, venue du passé, et une chance de repenser les composantes d'un environnement encourageant l'inventivité.

Wiener retrace avec passion l'histoire de la découverte et de l'invention, dont il fut un acteur, en insistant sur les circonstances historiques qui suscitent l'innovation et permettent les applications. Son message est que les idées vraiment originales ne peuvent pas être produites à la chaîne, et que les conséquences n'en sont souvent ressenties qu'à distance et avec retard. Un environnement intellectuel et technique particulier est nécessaire pour qu'une idée puisse fructifier. L'intérêt de la société commande d'encourager les meilleurs esprits à développer les sujets les plus intéressants, et de les récompenser de leur percées. Les commentaires de Wiener sur le problème du secret et le rôle du scientifique « free-lance » sont particulièrement pertinents aujourd'hui.

Steve Heims résume la production littéraire de Wiener et passe en revue ses contributions dans le domaine de l'invention et de la découverte. En outre, il explique comment les idées de Wiener s'appliquent aux dilemmes rencontrés par la communauté scientifique et technique des années 1990.

Norbert Wiener (1894-1964) fut professeur au Massachusetts Institute of Technology.

Au Massachusetts Institute of Technology, foyer de l'intelligence créative

Table des matières

1	La nécessité et les conditions de l'invention	3
2	Le climat intellectuel et l'invention	11
3	Les circonstances favorables et défavorables aux idées originales	21
4	Le climat technique et l'invention	31
5	Le climat social et l'invention	43
6	Le climat scientifique au début du XX^e siècle	49
7	L'environnement social contemporain de l'invention : la technoscience	59
8	L'environnement social contemporain de l'invention : la technoscience, suite	67
9	Les risques non calculables et l'environnement économique de l'invention	83
10	Les brevets et l'invention : le système américain des brevets	93
11	Buts et problèmes	103

Introduction

Steve Joshua Heims

Le sous-titre de ce livre – écrit dans les années 1950, mais publié ici pour la première fois – pourrait laisser croire au lecteur non averti que son auteur fut quelque chef d'entreprise. Ce ne fut pas le cas. Norbert Wiener (1894-1964) fut en effet un intellectuel passionné et un innovateur particulièrement original dans une multitude de domaines. Ses inventions les plus remarquables appartiennent aux mathématiques. Bien sûr, on considère les idées mathématiques abstraites comme une contribution à la science pure, et non à l'invention. Elles ne sont pas, après tout, brevetables, et après avoir été annoncées et expliquées, elles sont à la disposition de qui veut bien s'en servir¹. Elles n'ont pas non plus le caractère palpable, visible et concret des machines. Wiener n'était quand même pas un mathématicien ordinaire ; dès l'enfance, il fut fasciné par les machines, qu'il aimait étudier en détail. Il reliait ses mathématiques à l'ingénierie, aimait travailler avec les ingénieurs et fut à l'origine de toutes sortes d'« inventions » au sens courant.

Un exemple majeur de l'inventivité de Wiener fut la théorie statistique de la communication, prolongeant son travail pendant la Seconde Guerre mondiale. C'était une théorie mathématique générale, qui devait conditionner la conception de tout système de communication : réseaux téléphoniques, relais satellites et réseaux informatiques. Son problème était le suivant : la communication électronique comprenait inévitablement de l'information utile, mais aussi du bruit involontaire et indésirable. Séparer l'information du bruit était souvent un problème majeur. L'approche caractéristique de Wiener fut de développer une théorie mathématique du filtrage optimal, pour une large classe de situations. Cette théorie conduisit immédiatement à d'importants perfectionnements du repérage des avions par radar et fut également appliquée à la réduction du bruit dans de nombreux appareils courants, radios et téléphones.

1. Les mathématiques suscitent néanmoins certaines convoitises, à l'intérieur des logiciels (*Matapli* n° 67, janvier 2002, SMAI, Paris).

Comme autre exemple, dans les années 1920, bien avant l'arrivée des ordinateurs modernes pour la résolution de problèmes mathématiques, Wiener fit une invention concrète dans le domaine du calcul. Il mit au point une méthode de calcul d'une classe d'intégrales, consistant à mesurer l'intensité diffractée par un faisceau de lumière, au travers d'écrans spécialement conçus. Ce fut en effet un calculateur analogique, connu sous le nom d'« intégraphe de Wiener », et ultérieurement perfectionné en « intégraphe cinéma ». Vers 1940, alors que Wiener était consultant en vue de la préparation à la guerre, il recommanda comme meilleure orientation dans le développement des moyens de calcul un nouveau type de machine : numérique (plutôt qu'analogique), binaire, électronique, et utilisant l'architecture de la machine de Turing, les données étant conservées sur une bande magnétique. Malheureusement, l'administration resta assise sur ce travail de prescience pendant des années ; mais les mêmes idées furent découvertes indépendamment par d'autres, et en quelques années naquit l'ordinateur numérique moderne à grande vitesse.

Une autre invention résulta de l'application par Wiener de son travail mathématique des années 1920 sur les séries de Fourier à l'analyse des circuits électriques. Il comprit que si on pouvait analyser, on pouvait aussi synthétiser, et ainsi anticiper les caractéristiques d'un réseau. Wiener eut quelques idées permettant de concevoir un réseau afin d'obtenir (dans certaines limites) les caractéristiques de fonctionnement souhaitées pour chaque application. Son étudiant et plus tard collègue Y. W. Lee prit en charge l'ingénierie du projet, jusqu'à obtenir un réseau bien conçu et utilisable en pratique. Dans les années 1930, le réseau de Lee-Wiener fut breveté et semblait prometteur sur le plan commercial. Cependant, les inventeurs firent l'amère expérience du système des brevets : ils vendirent leurs droits à la société Bell Telephone, qui n'exploita pas l'invention, et empêcha quiconque de le faire pendant dix-sept ans, jusqu'à expiration du brevet.

Après la Seconde Guerre mondiale, Wiener s'intéressa aux problèmes de prothèse – en particulier, de membre, incluant le sens du toucher, et la prothèse auditive. Un commentateur de ce travail de Wiener écrivit en 1985 que « bien qu'aucun des projets de prothèse dans lequel il fut impliqué n'eût débouché au moment de sa mort (1964), les critères qu'il énonça restent valables ». Par exemple, le fameux « bras de Boston », issu d'un projet initié par Wiener, mettait en œuvre précisément les principes dont il avait anticipé la pertinence.

Ces exemples suffisent à caractériser la contribution caractéristique de Wiener à l'invention technologique. Il arrivait à comprendre ou anticiper les choses en profondeur, mais il laissait d'habitude à d'autres la traduction et l'adaptation de ses idées, jusqu'à la réalisation effective. Comme les deux premiers exemples

le suggèrent, il fut un instigateur très perspicace en matière de développement technologique, et il contribua à lancer une seconde révolution industrielle, celle du développement et des applications des nouvelles technologies de l'information et de la communication.

L'expérience de Wiener avec le réseau de Lee-Wiener et son idée d'ordinateur numérique le sensibilisèrent à l'injustice avec laquelle les inventeurs sont parfois traités, en particulier lorsqu'il s'agit de personnages atypiques. Ce qui est remarquable chez Wiener est la conjugaison de sa pensée originale en mathématiques et en ingénierie, et de sa compréhension de l'impact social et philosophique de ses propres inventions et de celles de ses collègues. C'est cette conjugaison qui m'intrigua le plus quand je lus pour la première fois, étant étudiant, *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine* (1948). On n'avait jamais réuni, dans un ouvrage unique et relativement court, d'une part, un travail scientifique et technique souvent original, d'autre part, la conscience aiguë de ses probables conséquences sociales et politiques.

Malgré l'utilisation de mathématiques avancées et un style désordonné, *Cybernetics* fut contre toute attente un best-seller. Wiener se changea en un conférencier populaire. Suite à quoi il décida de compléter son travail scientifique par des livres pour le grand public. Son livre suivant, tout aussi désordonné, mais sans les mathématiques, met les idées de *Cybernetics* à la portée de l'homme de la rue. Il s'agit de *The human use of human beings*, publié pour la première fois en 1950 par Houghton Mifflin. Dans la seconde édition révisée, parue chez Doubleday en 1954, le style est plus ordonné, mais la causticité et la rudesse de quelques commentaires de la première édition sont perdues. Jason Epstein de Doubleday était passé par là.

Wiener termina le premier volume de sa biographie, *Ex-prodigy*, en 1952. Vers 1954, il travaillait à un second volume, *I am a mathematician*, sur les conseils d'Epstein. Wiener ayant tendance à exprimer sans retenue son opinion sur ses collègues, Epstein, craignant la diffamation, faisait tout ce qu'il pouvait pour le retenir. Le livre parut en 1956.

Pendant ce temps, Epstein suggéra à Wiener d'écrire un livre sur la philosophie de l'invention, pour un large public, à paraître chez Doubleday en format de poche. Wiener accepta une avance de 500 \$ et écrivit, ou plutôt dicta, une première version en avril 1954. Le présent manuscrit, retrouvé dans ses papiers, aux archives des bibliothèques du MIT (et qui sont aussi la source de la correspondance citée ici), en est la dernière version connue, datée de juin 1954.

La correspondance avec Epstein à cette époque ne traite presque que du volume autobiographique de Wiener, le manuscrit d'*Invention* étant apparemment

passé aux oubliettes. Plus tard en 1954, après un voyage en Inde, le prolifique Wiener s'engagea dans l'analyse mathématique des ondes cérébrales, une reformulation de la mécanique quantique, et un projet de prothèse sensible. Il envisageait aussi un travail plus littéraire. Il avait songé un moment à l'exploitation théâtrale ou romanesque d'un épisode dramatique de l'histoire de l'invention, dont Oliver Heaviside, pionnier de la théorie de la communication téléphonique, aurait été le héros, alors que la société American Telephone and Telegraph et l'ingénieur Michael Pupin, de Columbia University, auraient été les méchants. En 1941, Wiener avait envoyé un résumé de l'intrigue et des personnages principaux à Orson Welles, lui proposant d'en faire un film, mais sans suite.

La correspondance entre Wiener et Epstein en août 1957 explique la non-publication d'*Invention : the Care and Feeding of Ideas*. La fascination de Wiener pour l'histoire de Heaviside (racontée aussi dans le chapitre 6 d'*Invention*) allait croissant. Il écrit à Epstein le 2 août 1957 : « Je me suis mis au scénario de Heaviside. Je pense que le mieux est d'en faire un roman. Ce travail suit son cours [...] L'histoire traite véritablement, sous forme de fiction, mes idées sur l'invention dans le monde moderne. Je ne suis plus aussi enthousiaste à l'idée de réaliser mon projet d'essai sur l'invention. C'est pourquoi je vous suggère de substituer le roman à l'essai, et de considérer que l'avance que j'ai reçue pour l'essai vaut pour le roman. »

Epstein répondit qu'il lui tardait de voir le manuscrit du roman, mais « j'ai relu le manuscrit sur l'invention [...] et, à part quelques passages où vos explications techniques manquent de clarté, le livre est très bon, et devrait être publié, après quelques améliorations. Pourquoi ne pas écrire à la fois l'essai et le roman ? »

Malgré l'avis d'Epstein sur l'essai, Wiener ne s'y intéressait plus. Il rendit l'avance de 500 \$ à Doubleday avec cette note : « J'ai décidé d'abandonner le projet d'essai sur l'invention dont vous avez déjà une première version. » Entre temps, Epstein était passé de Doubleday à Random House, qui devait publier le roman de Wiener, *The Tempter* (1959). Il ne fut plus question de l'essai sur l'invention. Ce fut une perte pour le public, parce que Wiener était meilleur essayiste que romancier.

En comparant le manuscrit de Wiener sur l'invention à d'autres écrits privés ou publics, je suis frappé par le ton exceptionnellement optimiste. Revenant en 1957 sur le manuscrit de 1954, peut-être a-t-il jugé irréaliste cet optimisme implicite. Ou bien craignit-il que ses suggestions en faveur de l'invention ne fussent récupérées par ceux qu'il abhorrait ? Ne voulant pas retravailler le manuscrit, il le classa.

Le manuscrit révèle en premier lieu un aspect de la dualité de Wiener vis-à-vis

de l'invention. Il évoque la « nécessité désespérée »² de l'innovation technologique, pour la perpétuation de la vie et de la civilisation et il insiste sur la nécessité du dévouement du scientifique-inventeur et de la foi de la collectivité en l'impact positif de l'innovation conceptuelle et matérielle. Dans l'ensemble, l'injonction est optimiste, mais demande de la foi et de l'engagement, en plus d'un flot continu de nouvelles idées fondamentales et de nouvelles technologies.

Wiener était préoccupé par l'avenir à long terme de l'humanité, et ces idées devaient servir à corriger des problèmes globaux à long terme – la malnutrition, le manque d'eau, l'épuisement des ressources, la pollution, etc. – mais il y a un hic. Les systèmes politiques et économiques actuels tendent à répondre aux crises à court terme, mais ne prennent pas en considération les idées et les activités qui sont susceptibles de conditionner un futur plus lointain. Aux États-Unis, par exemple, les responsables politiques élus pour un mandat de deux, quatre ou six ans, tendent à ne s'intéresser qu'aux effets à court terme de leur politique. Wiener, après avoir examiné le système économique de l'entreprise privée, conclut que les entreprises sont « à court terme et incapables par nature de prendre en compte les intérêts séculaires de l'espèce humaine »³. Ailleurs, Wiener semble en général avoir perdu confiance en la perspective d'une application bénigne de l'invention, et il enjoint constamment les scientifiques et les ingénieurs à la plus haute moralité en la matière.

À propos de l'ensemble des idées et des techniques qu'il appelait « cybernétique » (en partie siennes) et de leur application, il écrivit qu'on pouvait en attendre le meilleur comme le pire. Mais il insista aussi sur le fait que le travail des scientifiques et des ingénieurs finit toujours entre les mains des puissants, quels qu'ils soient. Wiener exprima également son pessimisme à propos de l'action des grandes entreprises commerciales, des gouvernements totalitaires, et en particulier des secteurs sous contrôle militaire. Il signala dans *Cybernetics* la tentation de ces groupes en vue d'une utilisation néfaste l'invention. Il s'attendait à ce que, dans un monde de gouvernements oppressifs et d'entreprises tournées vers le profit, beaucoup d'inventions servissent principalement à accélérer la concentration du pouvoir, qui, selon Wiener, « est toujours concentré, par essence, dans les mains des moins scrupuleux », et donc finissent par être préjudiciables au plus grand nombre.

Dans son propre travail, Wiener parvint à concilier ces sentiments contradictoires, et réussit à exprimer à la fois son amour de l'innovation et son scepticisme.

2. Ch.1, p. 3.

3. Ch. 9, p. 87.

Son côté optimiste lui permit de continuer à travailler sur des idées fondamentales, en mathématiques et en ingénierie. Son côté pessimiste le poussa à alerter le public contre les utilisations néfastes de l'invention, et à ne travailler après la guerre qu'à ce qu'il considérait comme des applications bénignes.

La première moitié du présent ouvrage est un plaisant récit de l'histoire de la découverte et de l'invention, avec plusieurs digressions intéressantes. Comme l'écriture de l'histoire comprend toujours une part d'interprétation, et que Wiener possédait une compréhension inter-disciplinaire de l'histoire de l'invention, et même connaissait le processus d'invention de l'intérieur, il est particulièrement intéressant de découvrir ses sujets de prédilection, les circonstances historiques qu'il juge favorables à l'invention, et les relations qu'il établit. De manière caractéristique, il commence par les idées mathématiques : les origines historiques de l'arithmétique et de la géométrie, jusqu'à des concepts plus avancés en mathématiques et en physique mathématique. Il déclare que puisque « les mathématiques permettent d'exprimer l'essentiel », sans se laisser distraire par l'inessentiel, et puisque cette abstraction transcende tous les domaines d'application, elles peuvent être « un puissant organe d'invention et de découverte »⁴. Les « idées » ne sont cependant qu'un élément de l'invention utile.

Un autre élément de l'invention, dit Wiener, est la disponibilité de techniques et de matériaux. Pour explorer leur rôle, il prend comme premier exemple les inventions décrites dans les cahiers de Léonard de Vinci, dont plusieurs ne purent être réalisées que des siècles plus tard, lorsque les techniques de métallurgie et de lubrification le permirent. Son second exemple – les instruments d'optique, microscopes et télescopes – illustre la convergence des techniques de meulage et de polissage du verre, et de construction des instruments, avec la théorie mathématique de l'optique. Wiener continue avec les horloges, les bateaux à voile, la mesure du point géographique, et, plus en détail, l'histoire de la machine à vapeur. Cela le conduit à considérer quelques inventions venues de Chine jusqu'en Occident, et il commente la supériorité de la civilisation chinoise sur l'occidentale, jusqu'à la Renaissance. Après avoir décrit l'invention chinoise de la poudre noire et le développement des canons, Wiener clôt le chapitre par des considérations sur l'armement nucléaire.

Un trait du climat social favorable à l'invention est la possibilité de communication directe entre scientifiques (ou philosophes) et artisans (ou ingénieurs), sans barrière de classe. Au chapitre 5, Wiener esquisse ce thème à grands traits, depuis la Grèce antique au IV^e siècle avant J.-C., jusqu'au Moyen Âge en Eu-

4. Ch. 3, p. 23.

rope, la révolution politique en France, et la révolution industrielle en Angleterre, en terminant par une description de personnages comme Benjamin Franklin, le comte Rumford, Faraday, Maxwell, et lord Kelvin. Le chapitre suivant décrit une innovation sociale, due à Thomas Edison : le laboratoire de recherche industriel, ainsi que l'histoire du téléphone et le développement de l'industrie de la communication électrique. Wiener raconte alors l'histoire du câble transatlantique et de la minimisation des distorsions dans la transmission téléphonique, puis les agissements d'une entreprise américaine, en connivence avec un professeur de Columbia University, afin de spolier l'excentrique inventeur Oliver Heaviside.

L'examen par Wiener de l'histoire des techniques est remarquable par une multitude d'exemples détaillés, exprimés dans un langage simple. C'est l'enchevêtrement des détails concrets, au moins autant que les idées générales, qui rend la lecture si éclairante. Le style est simple, presque celui de la conversation, et bourré d'anecdotes – dans l'ensemble, une introduction brève, agréable, et brillante à l'histoire de l'invention, lisible par tout un chacun, par exemple par un étudiant, aussi bien de maintenant que d'alors.

Wiener n'était pas eurocentrique, au contraire de nombreux historiens des sciences et techniques auparavant. Ici, en particulier, il cherche à expliquer la supériorité prolongée de la Chine en matière de technologie et d'invention, et il suggère une explication liée à la position sociale relativement élevée des érudits et des artisans, par rapport à celle des soldats, des marchands et des commerçants, dans l'idéologie de Confucius. Cette intéressante question historique a depuis été explorée systématiquement et en profondeur par Joseph Needham, dont les essais – par exemple, *The Grand Titration* – complètent utilement la discussion de Wiener.

De même, la discussion par Wiener des conditions sociales de la Révolution française et de la révolution industrielle serait bien complétée par une histoire sociale générale de cette époque, comme *The Age of Revolution 1789-1848* par Eric Hobsbawm. Pour se faire une idée de l'amplitude de l'arbitraire dans les choix et les interprétations de la plus grande partie de l'histoire de la technologie, le lecteur intéressé pourra jeter un œil sur le très lisible *The Maze of Ingenuity* par Arnold Pacey.

Dans la seconde partie du livre, Wiener traite des thèmes et des problèmes de l'invention, en relation avec la structure socio-économique des États-Unis. Dix ans seulement après la Seconde Guerre mondiale, il ne se laissait pas impressionner par les craintes associées à la guerre froide, le militarisme ou le goût du secret. On anticipait à l'époque, avec une précision étonnante, que la guerre froide durerait jusqu'au début des années 1990, et Wiener se préoccupait particulièrement de

l'avenir de l'humanité à plus long terme : « Notre ennemi majeur à long terme » écrit-il « sera quelque une des menaces permanentes parmi la faim, la soif, l'ignorance, la surpopulation, voire les nouveaux dangers de pollution. »⁵ Comme Wiener ne discutait pas l'invention à court terme, dans une optique de guerre froide ou d'équilibres financiers, mais plutôt en vue de besoins à long terme de l'humanité, son analyse reste valable, même après la guerre froide.

Les chapitres 7 et 8 décrivent les idées de Wiener sur l'environnement social de l'invention pendant l'après-guerre, qu'il appelle l'ère de la technoscience⁶. Il déplore que le grand laboratoire de recherche, spécifiquement, le laboratoire industriel, avec ses missions calibrées et la spécialisation poussée de ses employés, devienne la norme, et il exprime sa crainte de voir disparaître le scientifique et l'inventeur indépendants, avançant librement. Il dénonce le rôle croissant des « aventuriers scientifiques », faisant carrière, sans dévouement sincère à la science. Il est encore plus irrité par la pratique du secret en recherche et développement, et il en montre les aspects néfastes. Dans les années 1990, les appétits commerciaux ne demeurant que trop actuels, il est rafraîchissant (en dépit du langage sexiste de l'époque) de lire cette remarque de Wiener : « Le vrai scientifique de premier plan est par nature un homme trop occupé pour se soucier d'argent ou de signes ordinaires de richesse. »

Alors que l'inquiétude de Wiener sur l'orientation des structures d'encadrement de la science va de soi, la critique qu'il en fait est subtile, et son avis est toujours intéressant, et souvent persuasif. Il s'y mêle un bilan de l'histoire scientifique de la bombe atomique et des efforts peu concluants dans le domaine de la traduction automatique. En opposant la recherche dirigée à une plus libre, il parvient à la notion de « problème inverse de l'invention » : « On maîtrise quelquefois de nouveaux outils constructibles ou intellectuels, qui promettent des développements dans une direction ou dans une autre. La question est : laquelle ? Découvrir le potentiel de nouveaux outils est un travail d'invention ou de découverte, au même titre que la recherche d'outils à des fins spécifiques. » Wiener illustre ce point par l'histoire du moteur électrique et l'histoire du tube à vide. Aujourd'hui, il aurait pu choisir l'ordinateur personnel. Au chapitre 10, Wiener expose quelques défauts du système de brevet des États-Unis, et les iniquités qui en découlent, puis il conclut en montrant que la société profite de, et devrait donc trouver le moyen de récompenser, les scientifiques indépendants « free-lance ».

Invention offre ainsi une excellente visite guidée de l'histoire de l'invention,

5. Ch. 11, p. 104.

6. Dans le texte anglais : « megabuck science », c'est-à-dire, science à gros budget.

avec plusieurs réflexions et observations sur les conditions favorables à l'émergence d'idées nouvelles. Parce que ce livre dit comment bien traiter et nourrir les esprits novateurs scientifiques ou techniques, il intéressera particulièrement tous ceux qui se préoccupent d'éducation et de compétitivité technique. Les scientifiques, les inventeurs, et les ingénieurs, tout comme les étudiants fraîchement embarqués dans ces carrières, sont susceptibles d'aimer ce livre, s'ils se préoccupent de leur propre sort et, en particulier, de leurs conditions de travail présentes ou à venir.

Alors que Wiener reconnaît que la raison d'être de l'innovation réside dans les nécessités de la vie humaine, il faut noter qu'il n'aborde pas l'invention du point de vue de l'utilisateur, ni de la conception technologique, et, pour cette raison, sa philosophie de l'invention n'est pas une philosophie générale de la technologie. Pour l'utilisateur ou le consommateur, le livre ne fait rien de plus que d'affirmer axiomatiquement la nécessité de l'invention pour la survie collective, et observer en général que ni les activités de guerre froide ni les mécanismes du marché ne défendent l'intérêt public à long terme.

Ces observations générales restent valables aujourd'hui. Les marchés et leurs exigences dominent à nouveau l'économie mondiale. Le pendant actuel des activités de guerre froide est le détournement permanent de ressources limitées au profit du développement militaire, y compris les guerres. Chaque jour révèle la dégradation de l'environnement et la déperdition de ressources vitales. Dans les années 1970, Nicolas Georgescu-Roegen, Hazel Henderson, André Gorz et d'autres ont commencé à comprendre et à écrire ce qu'on peut espérer faire pour survivre. Aujourd'hui, alors que quelques groupes de recherche et organisations indépendantes ressemblent à des îles où le développement durable serait la norme, ils ne constituent pas une composante puissante de la société, et les mécanismes politiques et économiques permettant de mettre en œuvre leurs recommandations ne sont pas très efficaces. La conclusion inévitable, renforcée par les événements des quarante dernières années, est qu'une bonne dose d'innovation sociale, politique, et économique demeure nécessaire pour faire en sorte que la technologie présente et à venir profite effectivement à l'ensemble de la population mondiale. Ces questions politiques suscitent la controverse, mais la nécessité de les aborder est encore plus urgente qu'en 1954.

Préface

Ce livre m'a été commandé par M. Jason Epstein de Doubleday and Company pour la collection Anchor, suite à plusieurs conversations communes, sans intention de publier au départ. Je suis profondément reconnaissant envers M. Epstein d'avoir choisi le support idéal d'une collection de poche, comme Anchor.

Si ce livre a un quelconque intérêt, c'est d'attirer l'attention du public sur ce qui se passe chez les intellectuels et les inventeurs, afin qu'on puisse juger du cours actuel des choses, que je considère comme fâcheux.

Un tel appel ne sert pas à grand chose, s'il ne touche qu'un cercle restreint d'intellectuels patentés ou de personnes ayant les moyens de se payer un livre à 4 ou 5 dollars. Ainsi, le support d'édition contribue pour une bonne part à l'intérêt du livre.

J'ai discuté de ce travail avec plusieurs de mes amis, en particulier le Pr Karl Deutsch and M. W. D. Stahlman de notre département de lettres. Ces distingués collègues m'ont gracieusement fait part de nombreuses critiques détaillées et positives, que j'ai prises en compte pour la plupart. Je leur exprime toute ma gratitude.

D'habitude, je dicte mon texte à une secrétaire, non à un dictaphone, ce qui me permet de bénéficier d'une critique active et implicite. Je voudrais remercier Barbara Beaumont Cole pour son aide dans la rédaction de ce livre.

Cambridge, Massachusetts
juin 1954

Chapitre 1

La nécessité et les conditions de l'invention

Le présent ouvrage est en un sens le fruit d'une réflexion sur trente-cinq années passées au Massachusetts Institute of Technology, en contact étroit avec le développement en ingénierie, en science, et en économie. D'autre part, il est le produit spécifique de la commande par M. Jason Epstein d'un livre sur l'invention, pour la collection Anchor de Doubleday. Ce sujet m'intéressait depuis longtemps, et j'ai saisi l'occasion d'écrire un tel livre, en toute liberté.

L'époque actuelle diffère de toutes les précédentes par le fait que l'invention de nouvelles machines, et, en général, de nouveaux moyens de contrôle de l'environnement, n'est plus un phénomène sporadique, mais un processus contrôlé, qui permet, non seulement d'améliorer le niveau de vie et le confort, mais est aussi une nécessité désespérée de toute vie civilisée dans le futur. Depuis des décennies, les gens parlent d'épuisement de certaines ressources naturelles. On vit implicitement dans l'idée que, lorsque la pénurie de matières premières sera un problème critique, on s'en sortira par quelque innovation technique.

Jusqu'à récemment, cependant, cet épuisement des ressources essentielles était considéré par la plupart des auteurs comme un problème auquel on ne serait confronté que dans des siècles ou des millénaires, ou, au pire, dans un demi-siècle ; en tout cas, pas dans un délai suffisamment court pour affecter une fraction considérable de la population vivant aujourd'hui. Le développement ininterrompu, particulièrement accéléré à l'occasion de deux grandes guerres et d'une période prolongée de tension militaire, rend de nombreux problèmes de pénurie suffisamment urgents pour qu'on y consacre au moins une bonne part du potentiel de planification actuel.

Même les métaux les plus communs et les plus abondants, comme le fer, sont approvisionnés seulement par le développement permanent de techniques permettant de pallier l'épuisement des gisements connus, comme celui de Mesabi Range, et par la découverte de gisements en des lieux reculés du monde, ainsi que de techniques permettant de franchir les barrières d'énergie retenant ces métaux sous une forme dégradée. Par barrières d'énergie, j'entends à la fois le problème du traitement mécanique de grands volumes de roches dures et pauvres, et le problème de la réduction en haut-fourneau, à des températures de plus en plus élevées. Ainsi, plus précisément, le cuivre, le plomb, et particulièrement l'étain sont presque devenus des métaux précieux, alors même qu'une multitude de métaux traditionnellement considérés comme rares ne sont plus des curiosités de laboratoire, mais des matières premières de l'industrie.

Oubliant que l'irrigation est un art aussi ancien que toute forme de culture, on en vient à considérer l'eau comme un produit gratuit, dans une grande partie du monde civilisé ; et même un produit gratuit qui peut fournir une fraction significative des besoins énergétiques industriels. On ne peut envisager de nouvelles ressources hydrauliques en quantité compatible avec la croissance des besoins énergétiques ; et les usages les plus courants de l'eau – satisfaire la soif humaine, refroidir les machines thermiques, et servir de matière première industrielle – sont à rapprocher de l'alarmant épuisement des nappes phréatiques, presque partout dans le monde. La survie même de cités comme Los Angeles, dans une région aride, et pourtant au bord de cette masse d'eau cruellement inutile qu'est la mer, est conditionnée par le progrès effectif dans le dessalement économiquement viable de l'eau de mer, et par les espoirs placés dans cette technique encore imparfaitement développée.

La faim humaine est un défi qui dépasse celui de la soif. Non seulement les frontières socio-économiques de ce qu'était le monde occidental il y a un siècle se sont étendues au point d'englober des régions très peuplées et perpétuellement au bord de la famine, mais encore, on se rend compte que ce problème est sans limite, à moins de contrôler cette force capable de tout engloutir qu'est la fécondité humaine. Mais même en contrôlant cette marée démographique, par laquelle, comme les sauterelles ou les lemmings, l'humanité pourrait s'auto-détruire pour finir dans ce qui serait une tombe ethnique, personne ne peut se satisfaire du présent niveau de sous-alimentation d'une bonne moitié de l'humanité. Le procédé inefficace de conversion de l'énergie solaire en herbe, puis de l'herbe en viande, dont dépendent en grande partie les pays développés, est clairement un gâchis insupportable, même dans un avenir relativement proche. De nouvelles techniques agricoles et aquacoles peuvent et doivent repousser la crise de quelques années

ou décennies, mais ce n'est pas par hasard si on en vient à revisiter les principes de la photosynthèse solaire, et à envisager d'utiliser des algues unicellulaires pour produire des lipides, des glucides et des protéines.

Ainsi, on ne vit que par la grâce de l'invention : pas simplement l'invention déjà faite, mais l'espoir de celle encore à faire. L'engagement dans une vie où le processus d'invention n'est plus simplement considéré comme une source de capital humain, mais comme une partie du revenu humain, implique un examen très attentif de la nature de cette source de revenu, et le degré de régularité ou d'irrégularité qu'on peut en attendre.

Or, l'histoire des inventions, la psychologie des inventions, et, en général les principes qui déterminent, en fonction du temps et du développement des besoins humains ou scientifiques, les périodes où les inventions sont les plus probables, demeurent extrêmement obscurs. D'abord, il y a dans l'invention une grande part de hasard, et la seule nécessité de la découverte, bien qu'elle puisse orienter l'effort vers le domaine où celle-ci est attendue, et bien qu'à long terme elle favorise une telle découverte, ne donne en aucune manière l'assurance que la découverte ait lieu dans un délai donné.

Je perçois l'histoire de l'invention et de la découverte comme un champ de bataille dans un conflit de la plus grande intensité entre deux conceptions de l'histoire. Dans l'une, qui fut le point de départ favori de la plupart des historiens jusqu'à la fin du siècle dernier, l'histoire est principalement un théâtre où rois, hommes d'états, généraux et grands personnages jouent les premiers rôles. Dans l'autre, à la suite de Marx et Engels, on enseigne que l'histoire résulte essentiellement de l'interaction de forces socio-économiques, dont l'individu n'est guère qu'une incarnation accidentelle. Dans le chœur grec, les acteurs passent au second plan.

Kipling a exprimé la différence entre ces points de vue, en discutant la différence entre les patriotismes anglais et américain. Selon lui, et je suis d'accord, le patriotisme anglais est centré sur le roi, et le patriotisme américain sur le drapeau. « Il y a trop de Roméo et pas assez de balcon dans l'hymne national [anglais] » dit-il. « Dans le cas américain, tout est balcon » (*From Sea to Sea*, vol. 2, n° 36¹). Le rôle du roi est celui de Roméo, et le rôle du drapeau est d'orner le balcon. Dans le traitement historique de la science et de l'invention, que doit-on mettre à la place de Roméo et du balcon ?

Le point de vue personnel (Roméo), apparaît dans les vers de Pope « en l'honneur d'Isaac Newton » :

1. Lettres de voyages parues en 1899.

Nature and Nature's laws lay hid in night ;
 God said, *Let Newton be !* and all was light.

La nature et les lois de la nature étaient cachées dans la nuit ;
 Dieu dit, *Que Newton soit !* et la lumière fut.

La théorie économique de l'histoire tient tout du balcon et ne tient rien de Roméo. Cette théorie, en plus d'être une part intrinsèque de l'idéologie soviétique, est largement répandue à l'Ouest, aussi bien en pratique qu'en théorie, dans des milieux sociaux qui seraient choqués de partager quoi que ce soit avec Marx et le communisme. Dans cette vision de la science, de l'érudition, et de l'invention, l'attention se déplace du savant, en tant qu'individu instruit, travaillant dans un laboratoire universitaire ou chez lui en free-lance, vers le régiment de scientifiques travaillant ensemble dans un laboratoire industriel ou gouvernemental, où chacun apporte sa pierre à une construction immense.

Cette évolution équivaut, sur le plan intellectuel, au passage de l'artisan, qui construit un chariot entier, à l'ouvrier à la chaîne qui passe toute sa vie à visser un certain boulon. Marx était bien conscient du changement au niveau de la production industrielle, et il semble n'avoir jamais été opposé à cette conception du travailleur anonyme et de l'effort socialement contrôlé, dans le domaine de la découverte scientifique. En tout cas, quelles que soient les différences entre la Russie et les États-Unis, la tendance actuelle, vers des recherches de grande envergure où les responsabilités sont divisées et planifiées, est identique dans les deux pays. Je pense qu'il importe peu que les agences responsables de cette subdivision de la pensée et de la responsabilité soient privées ou publiques.

Les deux types d'institutions se trouvent dotées d'un budget en dollars d'efforts strictement alloués à des tâches particulières, et, dans les deux, le scientifique-travailleur est lié par une subordination perpétuelle à un ordre des choses préétabli. Malgré cela, aussi bien en Russie qu'aux États-Unis, une certaine attention, et même beaucoup, est accordée à la science à un niveau plus abstrait et universel, et fonctionnant avec une plus grande liberté. Le lieu d'une telle activité peut être une université ou un organisme académique ; mais, dans chacun des pays, au regard de la collectivité, aussi bien que du dirigeant de haut niveau, le scientifique free-lance sans responsabilité assignée a priori, s'il peut être considéré comme nécessaire, est devenu l'enfant adoptif du développement scientifique, après en avoir été l'enfant chéri. En Amérique, et, j'en suis bien sûr, en Russie aussi, des gens comme J. B. Conant se rendent compte du risque à laisser l'enfant prodige mourir de faim avec les cochons, et il ne fait aucun doute que la reconnaissance de sa nécessité ne soit admise qu'à contre-cœur dans les deux cas.

Ainsi, l'un des objectifs du présent ouvrage est d'apprécier à leur juste valeur l'élément individuel et l'élément culturel dans l'invention et la découverte. Ce problème est compliqué par différents niveaux d'invention, pour lesquels les poids relatifs de l'individu et de l'environnement sont bien différents. Avant même de débiter l'étude, il faut affiner les notions naïves d'influence et de causalité, car c'est seulement dans un tel cadre que la question de l'équilibre entre l'individu et l'environnement prend son sens.

Pour apprécier l'influence et la causalité, il faut considérer un monde où la causalité est d'une certaine manière localisée. Si le monde passé est globalement la cause du monde futur, et qu'on ne peut rien dire de plus précis, alors, la causalité est une notion trop générale pour servir à l'analyse ; mais si on envisage la causalité de manière plus quantitative, il faut admettre la possibilité de mesurer une causalité partielle. Le monde figé de la physique newtonienne ne mentionne nullement la causalité, parce que la technique d'évaluation de la causalité serait de modifier un ou plusieurs paramètres dans ce monde, et de voir comment cette modification dans le passé affecterait le futur.

La situation est tout à fait semblable à celle d'un pont à charpente métallique, du type ordinairement appelé sur-déterminé, ce qui signifie, essentiellement, qu'il ne s'effondre pas si on enlève exactement une pièce. Pour déterminer la flexibilité des différentes pièces, on place une masse à un endroit du pont et on mesure la déformation, élément par élément. L'absence de déformation d'un élément indique qu'il supporte une contrainte excessive, donc que le pont n'est pas sûr.

Cela n'est pas simplement une difficulté théorique soulevée par un intellectuel tatillon, mais une réelle cause d'effondrement de ponts. Le pont à armature ne peut être en bon équilibre que s'il est près de tomber, et un tel pont, construit en un matériau insuffisamment flexible, s'est souvent effondré sans raison apparente, à cause d'une mauvaise et imperceptible distribution des contraintes internes.

De même, pour qu'un système exhibe une quelconque causalité effective, il doit être possible d'examiner comment ce système se serait comporté, s'il avait été construit de manière légèrement différente. Par exemple, pour comparer l'importance relative de Newton et d'Edison dans l'histoire de l'invention, il faudrait pouvoir considérer raisonnablement ce que l'histoire aurait été sans Newton, et ce que l'histoire aurait été sans Edison.

La thèse que je vais tenter d'étayer dans cet ouvrage est que, dans le processus d'invention, il y a au moins quatre étapes importantes, les unes précoces, les autres tardives. Avant qu'une idée nouvelle puisse surgir en théorie ou en pratique, et modifier le climat intellectuel, elle doit avoir germé dans l'esprit de quelqu'un ou quelques uns, et ce changement doit être préservé sous la forme d'un enregis-

tremement accessible. A ce stade, l'initiative individuelle est primordiale. L'absence de l'esprit original adéquat, même si elle ne peut exclure un certain progrès dans un futur lointain, peut bien le retarder de cinquante ans ou d'un siècle.

Le second élément favorable à l'invention est l'existence de matériaux ou de techniques adaptées, qui ne font pas partie de l'idée originale, mais peuvent être nécessaires à son exécution. Plus loin, je donnerai plusieurs exemples de ces changements apparemment anodins des matériaux et des techniques.

Une fois l'idée nouvelle diffusée par écrit ou par l'intermédiaire de concepts généralement acceptés qui soient accessibles aux hommes de l'art en termes de matériaux et de techniques, la date particulière à laquelle se produit l'invention effectivement utilisable est grandement indéterminée. Dans ces circonstances, il est plus probable que l'invention soit réalisée indépendamment à plusieurs endroits, plutôt que le contraire. C'est le stade de l'invention qui relève plus du balcon que de Roméo, et pour lequel une théorie économique du développement scientifique et industriel s'applique particulièrement.

Cependant, avant qu'une innovation puisse passer de l'intellectuel à l'artisan, ces deux types d'hommes doivent pouvoir se parler, à l'intérieur du système social où ils vivent. Pour paraphraser Platon², les artisans doivent devenir philosophes, et vice versa. À l'époque même de Platon, dans la Grèce de Périclès, la communication entre artisan et philosophe semblait être à son niveau le plus bas de toute l'ère civilisée. Le vieux respect crétois pour l'ingéniosité de Dédale périclitait depuis plusieurs siècles. À la grande époque d'Athènes, Périclès abrogea une vieille loi permettant aux artisans spécialisés de devenir citoyens. En cela, il agit comme notre sénateur Patrick McCarran³.

Après l'âge de Périclès, l'état-cité s'effondra, et la culture jusqu'alors confinée à une classe dirigeante lettrée s'étendit par osmose spirituelle vers les nouvelles cités d'Alexandrie ou de Syracuse, où les Grecs vivaient aux côtés d'étrangers, Égyptiens ou Phéniciens et surtout où des classes nouvelles et plus humbles eurent accès aux trésors de la culture grecque. Ainsi, l'artisan de tradition grecque fut-il admis à prendre part aux créations intellectuelles des nobles Athéniens.

Après ces trois étapes du climat intellectuel, du climat technique, et du climat social, vient l'étape du climat économique, dont dépend aussi l'invention. Avant que l'invention soit largement disponible pour l'humanité, il faut trouver un moyen de la promouvoir. Dans la plupart des cas, cela signifie qu'il doit exister un processus selon lequel quelques individus ou une classe puissent gagner leur

2. Ch. 5, p. 43.

3. P. McCarran 1876-1954, sénateur du Nevada, à l'origine de la loi anti-communiste de 1950.

vie par la promotion d'inventions. Si le risque inhérent à l'innovation technique continue de reposer sur les épaules de ceux qui en sont les instigateurs, et si aucun système compensatoire ne protège ces entrepreneurs, personne ne prendra ce risque. Dans ces circonstances (qui furent celles d'Alexandrie et en grande partie celle de l'Italie à la Renaissance) une idée ou une technique nouvelle est un feu follet, hors de portée pour l'époque.

Je consacrerai le reste de cet ouvrage à l'étude de ces quatre étapes de l'invention, à la discussion de certains âges spécifiques, leur équilibre mutuel, et finalement l'histoire contemporaine de l'invention, et son destin, plutôt sombre.

Chapitre 2

Le climat intellectuel et l'invention

J'ai déjà mentionné le climat intellectuel comme un des facteurs clés de l'invention. Ce chapitre explique en quoi, et présente certaines périodes cruciales de l'évolution du climat intellectuel.

Une des évolutions les moins prédictibles se produisit chez les Indiens antiques, et, à nouveau, apparemment, chez les Mayas : ce fut l'usage de la position des chiffres, en plus de leur forme, pour représenter les nombres. Par exemple, c'est l'interprétation de la position qui permet d'écrire 125 pour cent vingt-cinq, le nombre cent étant représenté par le chiffre 1, décalé de deux positions à gauche, vingt par 2, décalé d'une position à gauche, et cinq par 5. Cette suite de chiffres se lit cent, plus deux fois dix, plus cinq, ou cent vingt-cinq.

Ce fut la découverte de ce principe par les Indiens qui rendit possible l'arithmétique sur le papier. Mais la signification positionnelle des chiffres était déjà auparavant utilisée dans le boulier, connu des Grecs et des Romains, et des Chinois, en considérant le nombre de boules déplacées comme un chiffre, et l'axe qui les porte comme sa position. Ainsi, il existait dans des temps très anciens une notation positionnelle non écrite, mais suffisamment claire et manipulable pour faire du boulier un splendide outil de calcul, remplaçant le papier, pour tous les peuples qui connaissaient le boulier sans connaître la notation positionnelle écrite, et même pour certains de ceux qui la connaissaient. Le calcul sur boulier, et la notation positionnelle qui l'idéalisait, furent découverts indépendamment par les Mayas, en base vingt.

Ce qui caractérise ces inventions historiquement comme un triomphe intellectuel est leur rareté, à l'échelle de l'histoire connue, et la durée considérable qui sépare leurs occurrences. Aussi évidente que puisse paraître aujourd'hui la notation positionnelle, de longues périodes se sont écoulées, pendant lesquelles le

concept aurait été utile, et certainement accessible en principe, mais ne fut pas découvert en fait. Il est loin d'être clair que cette découverte dût se produire au moment où un quelconque penseur l'aurait tirée de son chapeau, et le monde pouvait bien continuer encore quelques siècles sans notation positionnelle, ou même sans boulier. Après ces deux découvertes, le travail du marchand ou de l'artisan devint beaucoup plus facile, et l'utilité des nouveaux concepts est démontrée par la rapidité avec laquelle ils se propagèrent d'un pays à l'autre, jusqu'à ce que la notation positionnelle indienne s'étendît de son pays d'origine jusqu'au monde musulman et à l'Europe. Et malgré cette diffusion universelle, il fallut encore plusieurs siècles pour réaliser objectivement, avec le recul, quelle merveilleuse innovation ce fut.

Ainsi que la notation positionnelle dut germer dans l'esprit de quelqu'un avant de passer dans l'héritage de l'espèce humaine, de même les découvertes grecques de la géométrie plane et de la géométrie dans l'espace se distinguent par leur non-évidence, et par le fait qu'il fallut plusieurs siècles ou millénaires avant qu'elle pussent être pleinement appréciées. L'idée d'étudier les droites et les cercles à partir d'un petit nombre de propriétés simples et intelligibles semble élémentaire, une fois connue, mais elle ne fut pas une nécessité première de la pensée. Que les concepts de la géométrie fussent découverts par un peuple qui n'avait de meilleure droite qu'une corde tendue, ni de meilleur compas qu'une corde attachée munie d'une pointe à tracer, et qui ne connaissait d'autre figure que ce qui peut être dessiné dans le sable ou la cire, cela est remarquable en effet.

Au contraire, que des peuples même très primitifs, que n'étaient certes pas les Grecs, puissent découvrir les propriétés des droites et des cercles, cela n'est pas remarquable. Ce qui est remarquable, c'est, comme je l'ai dit, qu'ils aient pu organiser ces idées en théorie cohérente, qui ne fut pas dépassée avant le milieu du XIX^e siècle. De même, il est tout à fait remarquable que le Grec Menechme ait découvert l'important et intéressant domaine de recherche des sections coniques – l'ellipse, l'hyperbole, et la parabole. Il n'est pas étonnant que quelques représentants d'une nation de potiers, familiers du cône, aient pu en trancher un avec une lame plate, et observer l'allure de la section. Mais que cette observation plus ou moins accidentelle ait pu les mener à ce qui est demeuré pendant plus de deux mille ans un des outils intellectuel les plus puissants, cela est frappant à l'extrême.

Les Grecs après Menechme continuèrent à développer sa théorie des coniques, mais sans référence extérieure. Ce n'est pas avant la Renaissance et l'époque de Kepler qu'apparut distinctement l'idée que les corps célestes décrivaient des coniques. Les lois empiriques de Kepler demeurèrent encore des accidents de l'observation, jusqu'à ce que Newton développât les notions non seulement de dyna-

mique en général, mais de dynamique gravitationnelle en particulier, qui devaient expliquer les orbites elliptiques de Kepler et la forme parabolique d'un jet de pierre. Ici encore, un climat intellectuel s'était installé, pour mener à des découvertes des millénaires plus tard, et on voit bien qu'on aurait pu attendre encore quelques millénaires, avant que d'autres Menechme, Kepler ou Newton eussent fait ces mêmes découvertes fondamentales, qui ont débouché sur la physique moderne.

Quant à Newton, il faut faire une distinction intéressante, entre, d'une part, son travail sur le calcul différentiel, et, d'autre part, son travail sur la dynamique et la gravitation. Le premier était implicite dans la géométrie analytique de Descartes, et d'autres – Cavalieri, Fermat, Barrow, et Wallace – s'approchèrent tellement de l'idée de différentiation que ce n'était qu'une question de temps, avant que le calcul différentiel se constituât en discipline autonome.

Quant au calcul intégral, ses racines doivent être recherchées dans le changement de climat intellectuel, vraiment de premier ordre, qui se déroula autour d'Archimède dans la Syracuse antique. Ainsi, Newton a entièrement raison, sans fausse modestie, lorsqu'il dit : « Si j'ai pu voir plus loin [que d'autres], c'est en me dressant sur les épaules de géants. » Cependant, le Newton de la gravitation et de la dynamique, par opposition au Newton du calcul différentiel, fut lui-même le plus grand des géants.

Ces exemples doivent suffire à montrer au lecteur ce que je veux dire par changement du climat intellectuel ; que ce changement dépend d'un seul homme, ou de quelques uns, qu'il pourrait ou non s'être produit là ou alors, et que la durée séparant les étapes fondamentales du progrès est considérablement extensible. Ces étapes sont des exceptions, qui se prêtent mal à la discussion statistique.

En effet, la statistique nécessite un échantillonnage assez grand, pour qu'on puisse observer non seulement l'exception, mais aussi la règle. Dans le tirage au sort des grandes découvertes, les probabilités sont non seulement infimes, mais aussi inestimables. Cette incertitude, et la foi que doit avoir l'homme qui veut les affronter, donnent un caractère quelque peu divin à l'invention au plus haut niveau. Ce n'est pas sans droit que Prométhée, attaché sur le rocher du Caucase, alors que les vautours lui dévorent le foie, s'écrie :

Éther divin, vents à l'aile rapide, eaux des fleuves, sourire innombrable des vagues marines, Terre, mère des êtres, et toi, Soleil, œil qui vois tout, je vous invoque ici : voyez ce qu'un dieu souffre par les dieux !¹

1. Eschyle, texte établi et traduit par P. Mazon, *Prométhée enchaîné*, Les Belles Lettres, 1963.

J'ai parlé de probabilité, de hasard, de chance. L'histoire des mathématiques associées concerne ce chapitre, pour plusieurs raisons. Non seulement la notion de probabilité intervient dans l'évaluation de la réussite et des difficultés de la découverte, mais la théorie des probabilités elle-même est source d'un grand changement contemporain de climat intellectuel, qu'on peut étudier avec d'autant plus d'utilité et de pertinence qu'au moins un acte de cette pièce s'est joué sous nos yeux.

Je voudrais revenir à la théorie des probabilités et ses répercussions sur les modes de pensée et les tendances inventives modernes. L'histoire primitive de cette discipline remonte au XVII^e siècle, avec des grands noms comme Fermat et Pascal, mais non pour la partie de leurs travaux qu'ils semblent avoir développée avec la plus grande solennité et le plus grand sentiment d'importance philosophique ultime.

Bien au contraire, l'étude remonte au temps que la plupart d'entre nous connaissent, par l'intermédiaire d'œuvres littéraires comme *Les trois mousquetaires* et *Cyrano de Bergerac*. Les nobles de la cour étaient des fêtards philosophes ou des philosophes fêtards, et les amis des grands esprits comme Pascal appréciaient non seulement ses pensées sur la religion et la nature de l'âme, mais aussi son avis sur la probabilité d'une combinaison aux dés ou aux cartes. Cet activité informelle de conseil aux joueurs devait certainement mettre à l'épreuve les capacités intellectuelles des personnes sollicitées, et la satisfaction de la demande devait flatter sans doute leur sens de la méthode et de l'introspection, mais on peut difficilement supposer que ces mêmes hommes, plus tard caricaturés par Swift comme les académiciens de Laputa, imaginaient que leur réflexion futile sur les jeux pût déterminer dans un futur lointain l'investissement de lacks² de roupies par les planteurs de jute du Bengale, ou servir de décor la bombe à hydrogène. Pourtant, chaque étape, depuis Fermat et Pascal jusqu'à notre âge post-projet Manhattan et jusqu'à l'organisation de l'industrie moderne, peut être documentée, encore et encore.

Après l'époque de ces grands probabilistes, la physique prit un tour déterministe, à travers le travail de Newton, déjà mentionné et célébré, sur la dynamique et la mécanique céleste ; pourtant, même à l'époque des successeurs immédiats de Newton, il devint clair que si leur univers céleste était en réalité la roue d'une grande machine, il était aussi, par certains aspects, la roue d'une roulette. À cette interprétation doivent être attachés deux personnages célèbres – le grand et flamboyant Laplace, et le plus grand encore Lagrange, son contemporain plus âgé et

2. Lack (ou lakh) égale cent mille, en Inde.

plus sobre.

La complexité de certaines parties du système solaire dépasse la capacité humaine à décrire les phénomènes un à un, au moyen de mesures précises et répétées. La plus grande partie de la masse du système solaire est dans le soleil et quelques grosses planètes, mais, entre Mars et Jupiter, des planètes mineures forment comme une tempête de sable : il s'agit de la ceinture des astéroïdes. Le mouvement de chaque astéroïde peut bien être étudié par les mêmes méthodes que celui d'une grosse planète, mais il est vrai aussi que le système dans son ensemble, tel un vent de sable, possède certaines régularités de densité, qui ne sont pas reconnaissables par l'étude des astéroïdes séparément, ainsi qu'on ne peut étudier une forêt seulement à travers ses arbres pris séparément. Ce furent les questions de régularité des distributions d'astéroïdes qui conduisirent Laplace à examiner la cosmologie du système solaire. Pour progresser dans cette tâche difficile, il recourut à la théorie des probabilités³.

Un autre outil qui n'est pas sans rapport avec ces études, et d'autres qui en sont proches, est celui des séries trigonométriques. Dans l'étude des systèmes tournants, l'attention est inévitablement attirée par les angles, et certaines quantités utiles apparaissent naturellement comme des sommes infinies de sinus et de cosinus des multiples de certains angles. Ces sommes définissent des séries, nommées d'après le successeur de Laplace, Fourier. Au XVIII^e siècle, ces séries ont beaucoup tracassé les physiciens et les mathématiciens, parce qu'elle semblaient être utiles pour décrire des phénomènes discontinus ou anguleux, alors que les séries de puissances, utilisées par Newton, et nommées d'après ses successeurs Taylor et MacLaurin, étaient infiniment lisses.

Fourier, qui vécut au début du XIX^e siècle, participa en tant que membre de l'Institut à l'expédition d'Égypte sous Bonaparte. Il montra que ces séries, qui portent aujourd'hui son nom, possédaient bien les propriétés apparemment contradictoires que ses prédécesseurs leur avaient attribuées. Cependant, le sujet des séries de Fourier n'est pas clos même aujourd'hui, et ce ne fut pas avant Borel et Lebesgue autour de 1900 que fut obtenue une théorie des séries de Fourier même approximativement satisfaisante, avec un degré de généralité suffisant pour les besoins quotidiens de la physique mathématique d'aujourd'hui.

J'ai mentionné le sujet des séries trigonométriques parce que, d'une part, elles servent à de nombreux raisonnements de Laplace et Lagrange, autour de la théorie des probabilités ; d'autre part, le travail de Borel et Lebesgue joue un rôle essentiel

3. Pour un usage renouvelé des probabilités en cosmologie, cf. L. Nottale et al., *Les arbres de l'évolution : univers, vie, sociétés*, Hachette, 2000.

dans l'émergence de la théorie des probabilités contemporaine. Cependant, à la fois la théorie des probabilités et la théorie rigoureuse des séries trigonométriques restèrent au point mort pendant environ un demi-siècle. Ce n'est pas avant les travaux de Clerk Maxwell sur la théorie cinétique des gaz qu'on observe le retour de la théorie des probabilités en tant qu'outil majeur de la physique.

La théorie cinétique des gaz de Maxwell est une recherche physique pratique sur un problème qui attendait les mathématiciens depuis Démocrite et Lucrèce. Selon la théorie atomique, les molécules d'un gaz sont entraînées dans une sorte de danse, comme les poussières dans un rai de lumière. Dans cette danse, cependant, au lieu d'être emportées, telles les poussières, comme des passagers de la turbulence du fluide environnant, les molécules interagissent l'une sur l'autre, conformément à la physique newtonienne. Le problème est d'assurer que cette agitation moléculaire permanente corresponde aux observations thermodynamiques de la théorie de la chaleur-énergie, et aux autres propriétés observées des gaz. La théorie cinétique est une théorie statistique, dans laquelle la multiplicité de réalisations, nécessaire à toute théorie statistique (comme la multiplicité de jets de dés dans un jeu de hasard), découle du grand nombre de molécules, ou au moins une quantité reliée, comme le nombre de degrés de liberté du mouvement.

Ainsi, la multiplicité nécessaire à la théorie statistique de Maxwell est de même nature que celle de la cosmologie de Laplace. L'étape suivante en physique statistique date de 1900 environ, et est attachée aux noms de l'Allemand Boltzmann et de l'Américain Josiah Willard Gibbs, sans conteste la plus grande étoile qui se soit jamais levée dans le firmament de la science américaine.

Ces hommes, Gibbs spécialement, comprirent que la physique doit contenir un élément statistique, bien plus profond que la multiplicité des particules dans un gaz. Même un système à petit nombre de degrés de liberté, comme la toupie, décrit une trajectoire, selon la dynamique newtonienne, dans un espace de dimension assez grande pour caractériser complètement le mouvement. Pour tout mouvement, il existe une correspondance univoque entre les positions et moments⁴ initiaux et finaux. En fait, le décalage temporel équivaut à une transformation, à l'intérieur d'un certain espace des positions et des moments.

Certaines quantités sont conservées dans le mouvement. Dans un système dit conservatif, la plus importante d'entre elles est l'énergie. L'espace des coordonnées et des moments se découpe selon l'énergie en différentes couches, semblables à des pelures d'oignon. Dans le mouvement, chaque couche se transforme en elle-même, indépendamment des autres. C'était l'idée de Gibbs que le proces-

4. « Moment » signifie ici « vitesse ».

sus fondamental de la physique fût cette transformation continue d'une couche en elle-même. Dans cette transformation, il remarqua, ce qui était déjà connu de Laplace, l'existence sur chaque couche d'une mesure, équivalente à l'aire ou au volume à deux ou trois dimensions, et qui n'était pas conservée dans la transformation dynamique du système. Dans cette mesure, il vit un élément de nature probabiliste, de telle sorte que son traitement probabiliste de la dynamique était valide pour tous les systèmes dynamiques, qu'ils fussent simples ou complexes, non nécessairement à aussi grand nombre de degrés de liberté que les gaz.

C'est en introduisant cette probabilité intrinsèque que Gibbs fit le premier pas vers une interprétation complètement probabiliste de la physique moderne, et même au-delà, une interprétation probabiliste simple de la théorie moderne de la communication, de l'ingénierie du contrôle, et même des sciences sociales.

Ce fut un de ces changements de climat intellectuel qui devait produire, et a produit, un flot de découvertes et d'inventions dans tous les domaines concevables de l'activité humaine intellectuelle et matérielle. Sur cet exemple, je montrerai le lien entre le changement de climat et l'histoire de l'invention.

Pendant des années, mon intérêt pour l'intégrale de Lebesgue et les probabilités m'avait préparé à une large extension du point de vue de Gibbs. En plus, j'avais été très près de la nouvelle mécanique quantique à sa naissance. Cette théorie, qui fut initiée par Heisenberg en 1925, corrige certains défauts de la dynamique newtonienne classique, dans le domaine du rayonnement et des particules élémentaires. Je fus frappé par son contenu probabiliste, et par le principe d'incertitude de Heisenberg, selon lequel certaines quantités, comme la position et la vitesse, étaient intrinsèquement impossibles à mesurer simultanément. Ces idées nouvelles commencèrent à fructifier, lorsque, pour les besoins de la Seconde Guerre mondiale, je fus conduit à considérer le problème du tir anticipé sur un avion, et le problème qui en découle, prédire le mouvement.

Je fis divers essais de développement de machines prédictives, puis je m'aperçus que ce que je cherchais exigeait d'avoir en même temps le beurre et l'argent du beurre. Je cherchais comment l'observation du mouvement passé d'un avion pouvait permettre de calculer son mouvement futur. Le suivi précis d'un avion sur une trajectoire lisse demandait une instrumentation fine et sensible ; mais cette instrumentation, de par sa finesse et sa sensibilité, décrochait à la moindre irrégularité de trajectoire. Pour des trajectoires très irrégulières, mon instrumentation était inadaptée, non malgré son raffinement, mais à cause de son raffinement. Il m'apparut que cette impossibilité d'obtenir un instrument idéal était étroitement liée au principe d'incertitude de Heisenberg, qui empêche d'observer simultanément la position et la vitesse.

Plus j'étudiais cette question, plus je comprenais que la difficulté n'était pas une malice occasionnelle du mauvais génie des mathématiques, mais était dans la nature même de la prédiction. Ainsi, je devais trouver un compromis entre le raffinement et la grossièreté de l'instrumentation, et pour cela j'avais besoin d'un échantillonnage de trajectoires réelles, représentatif pour l'utilisation projetée. La théorie de la prédiction du vol des avions était devenue statistique.

Après avoir développé cette théorie statistique, je me mis à faire comme bien d'autres scientifiques et inventeurs : trouver d'autres problèmes, que je pourrais résoudre avec les mêmes outils théoriques.

J'ai devant moi une copie hectographique d'un article daté de septembre 1953, tiré de la revue *The Lamp*, organe la société Standard Oil du New Jersey, article dont le titre est « Sérendipité (l'art d'être chanceux au laboratoire) ». Le mot clé de ce papier, qui avait été mentionné auparavant par le Dr. W. D. Connor, est ce terme désuet, qui désigne l'art de trouver ce qu'on ne cherche pas. Selon ce papier, il fut proposé il y a deux siècles par Horace Walpole, « gentilhomme du XVIII^e siècle, homme de lettres et homme d'esprit ». Serendip est une déformation de *Sinhaladvipa*, l'île de Ceylan, dans la transcription arabe d'un mot *Binhalen*.

Selon le vieux conte que je cite, il avait trois princes de Ceylan, qui « aux cours du voyage de leurs altesses, faisaient toujours des découvertes, par accident et par sagacité, de choses qu'ils ne cherchaient pas ». Cette qualité des trois princes, comme le montre l'article, est une arme vitale dans l'arsenal du scientifique. La science est fondamentalement l'art d'entretenir un rapport plus étroit avec la nature, par des questions et des réponses. Dans l'exercice de cet art, il n'y a aucune raison de procéder seulement en posant des questions et en résolvant des problèmes exprimés a priori.

En fait, le scientifique qui se confine à ce mode d'action limité n'utilise pas son cerveau au mieux. Après avoir posé et résolu une question, on trouvera souvent que la réponse, à supposer qu'elle soit satisfaisante, ne s'y adapte, non comme un maillot de bain, mais comme une robe ample ; c'est-à-dire que le contenu inventif d'une nouvelle méthode est tel qu'il est peu probable que sa valeur soit confinée aux questions initiales. Dans ce cas, le scientifique doit saisir l'occasion de retourner la question, et de ne pas se demander seulement « Comment puis-je résoudre ce problème ? » mais « Maintenant que j'ai obtenu tel résultat, quels problèmes ai-je résolus ? »

Ce retournement des questions est très précieux, particulièrement pour les fondements des sciences, mais aussi pour les besoins particuliers de l'ingénieur.

L'art de la sérendipité me conduisit à étudier un filtre d'onde⁵, instrument permettant de séparer un message d'un autre, par analyse fréquentielle. La théorie associée était à peine différente de celle de la prédiction. Elle aussi était statistique. Ainsi, je comprenais graduellement le rôle de la statistique dans mon travail, et je l'appliquais non seulement à un problème particulier de communication, mais à tous. Je dus admettre que la base de toute prise d'information était statistique, et que tout cela avait pour base le travail de Willard Gibbs.

Après m'être rendu compte de l'importance de la statistique en théorie de la communication, et avoir publié cela, les confirmations commencèrent à affluer de toutes parts. Aux laboratoires de Bell Telephone, il y avait un jeune physicien mathématicien, Claude Shannon. Il avait déjà utilisé la logique mathématique pour la réalisation de commutateurs, et, à travers ses travaux, il avait montré son goût des systèmes discrets, à petit nombre de variables, qui ressortaient en théorie de la commutation. Je suis enclin à penser que, depuis toujours, une large part de ses idées en théorie de la communication et son fondement statistique furent indépendantes des miennes, mais, que cela soit ainsi ou non, chacun de nous appréciait le travail de l'autre.

Le thème de la communication prenait une tournure statistique, aussi bien pour ses problèmes que pour les miens. Je ne vais pas retracer la généalogie de chaque appareil issu de cette nouvelle théorie statistique de la communication, mais je peux dire que ce travail a affecté de fond en comble la théorie de la communication, à tel point qu'aucune invention récente dans ce domaine n'est indépendante de considérations statistiques. Ainsi, tous ces développements scientifiques sont une exploitation subtile de concepts implicites chez Gibbs et l'équipe Borel-Lebesgue, mais, pour ainsi dire, implicitement implicites, de telle sorte que quarante ans après, personne n'avait vu où ces travaux devaient mener. Cela est pour moi un exemple-clé de changement de climat intellectuel, et de ses conséquences sur la découverte et l'invention.

5. Le filtre de Wiener.

Chapitre 3

Les circonstances favorables et défavorables aux idées originales

Il devrait être clair pour le lecteur que l'idée vraiment fondamentale et innovante est dans une large mesure un accident heureux et imprédictible. Euclide n'était pas forcé de développer la théorie axiomatique de la géométrie, pas plus que Gibbs d'insister autant sur la notion de probabilité en thermodynamique. Ces innovations auraient pu se produire un peu avant ou bien plus tard, et ne seraient pas un meilleur objet de pari que la chute de la foudre sur une maison particulière.

Malgré cela, bien que la foudre soit un phénomène trop sporadique pour être un objet de pari, on sait bien en général ce qui la favorise ou la défavorise. On ne construit pas une maison en haut d'une colline isolée sans paratonnerre. De même, pour l'invention, aussi occasionnelle et sporadique soit-elle, on peut considérer des circonstances favorables, comme pour la foudre.

Certaines pratiques sont à coup sûr favorables à l'invention et à la découverte. Les mathématiques sont un des outils les plus puissants pour faire revivre une science. Dans une certaine mesure, la mathématisation d'une science consiste à écrire ses données et ses questions sous forme numérique et quantitative, mais il vaut mieux souligner, au delà du nombre et de la quantité, l'usage d'un langage logiquement précis. S'il faut poser une quelconque question de biologie, dans le langage de la biologie, alors on est sans doute fortement porté à croire que c'est de biologie qu'on discute. Mais, en reformulant mathématiquement les idées, on utilise ce qui se rapproche autant que possible d'un langage incolore et neutre. C'est précisément ainsi qu'on accroît les chances de reconnaître la même question, qui pourrait apparaître dans un domaine totalement différent. Cette extension de portée est loin d'être anodine.

Je voudrais donner un exemple de fertilisation croisée des disciplines, par l'extension mathématique des idées contenues dans l'une d'elles, et leur représentation sous une forme neutre, dépassant les disciplines. Cet exemple est le développement d'une épidémie de rougeole, une maladie infantile. On dit maladie infantile, bien qu'il n'y ait rien dans la nature ou l'action de la maladie qui soit propre à l'enfance. Tout d'abord, la rougeole est hautement contagieuse pour ceux qui n'ont pas d'immunité naturelle ou acquise. Cela veut dire qu'une grande partie de la population contracte la maladie dès la première exposition, qui a toutes les chances d'être précoce. La rougeole immunise presque totalement les personnes qu'elle touche. C'est pourquoi, dans une population largement exposée, les individus assez âgés sont presque tous immunisés, de naissance, ou parce qu'ils ont contracté la maladie.

Or, la rougeole se manifeste par vagues, de manière approximativement périodique. Y a-t-il quelque chose dans la nature de la maladie qui favorise ce phénomène ? La réponse est qu'une épidémie nécessite la transmission de la maladie à travers une population mêlant des individus immunisés ou non, suivant des chaînes de contagion entre non-immunisés, dont la longueur est intimement liée à la probabilité et à l'intensité d'une épidémie.

C'est un fait mathématique que la longueur de chaîne entre non-immunisés dépende de manière critique de leur proportion dans la population. Ainsi, avec un pour cent de non-immunisés, un non-immunisé a seulement une chance sur cent en moyenne d'entrer en contact avec un non-immunisé, et, en poursuivant, on voit bien que les chaînes sont courtes en moyennes, et la maladie ne se propage pas. À l'opposé, avec soixante-quinze pour cent de non-immunisés, il y a une grande probabilité que des chaînes traversent de part en part la population, et les conditions sont réunies pour une explosion épidémique.

Jusqu'à présent, on a discuté un problème médical en termes quasi-mathématiques. On va voir que ce langage s'applique également à une situation complètement différente. Soit un mélange d'hydrogène et d'oxygène, en proportions explosives, et d'un gaz neutre comme l'azote. La propagation d'une flamme à travers ce gaz dépend de la distance entre molécules d'hydrogène, parce que la combustion de l'une déclenche la combustion de l'autre, ce qui détermine la longueur de chaîne. Si les chaînes sont longues, alors on a une explosion massive, équivalant mathématiquement à une épidémie ; sinon, la réaction ne se propage pas.

Remarque : il est impossible d'initier une explosion dans un mélange d'hydrogène et d'oxygène très dilué dans l'azote. En remplaçant progressivement de l'azote par de l'hydrogène-oxygène, à un certain moment, la longueur de chaîne devient suffisante pour déclencher une bouffée explosive, qui réduit le taux d'hydro-

gène-oxygène, de telle sorte que l'explosion s'arrête, jusqu'à ce qu'une quantité suffisante d'hydrogène-oxygène soit à nouveau accumulée.

Comparons cela avec l'épidémie de rougeole. Là où la rougeole est passée, presque tous les non-immunisés l'ont contractée, et sont immunisés, ou morts. Alors aucune épidémie ne peut se produire avant longtemps. Cependant, au fur et à mesure que la proportion de non-immunisés s'accroît, de par les naissances et les arrivées, le seuil permettant une nouvelle épidémie est atteint, et on peut prédire à court terme que la moindre infection va relancer l'épidémie. Ainsi, dans les deux problèmes de l'épidémie et de l'explosion, on observe une réaction pulsée, approximativement périodique. Entre deux bouffées, la réaction est impossible ou peu probable.

L'avantage de la description mathématique de ce phénomène est que la perception n'est pas spécifiquement orientée vers la rougeole ou la combustion, mais demeure dans un état neutre, également applicable aux deux. Mais il y a encore d'autres cas, dont la solution est facilitée par l'abstraction de la même problématique. Par exemple, soit un tube de verre, avec une électrode à chaque bout, et rempli d'un mélange de billes d'acier et de billes de verre. Le tube est-il conducteur ou isolant ? La réponse dépend d'un fait très semblable à ceux précédemment discutés – que la chaîne de billes d'acier soit assez longue pour connecter les deux électrodes, ou bien, au contraire, fragmentée en sous-chaînes séparées par des zones isolantes. Les mêmes concepts mathématiques qui permettent de poser et de résoudre les problèmes d'épidémie ou d'explosion sont également applicables ici, et permettent en général de discuter la conductivité et les autres propriétés d'un mélange, comme un alliage métallique¹.

Les mathématiques permettent d'exprimer l'essentiel et de se débarrasser de l'inessentiel. Elles permettent de poser la même question dans plusieurs domaines, sans se consacrer à un particulier. Entre les mains d'un mathématicien sensible à la possibilité d'interprétation pluri-disciplinaire de son discours, les mathématiques sont un puissant organe d'invention et de découverte.

Pourtant un mathématicien peut passer à côté du meilleur usage de ce talisman, au moins de deux manières : d'une part, par inexpérience ou snobisme, il peut être un mathématicien si pur, qu'il ne parvienne pas à franchir cette étape

1. De la comparaison entre l'invention et la foudre, en début de chapitre, on infère que l'invention repose sur l'établissement, dans le cerveau même de l'inventeur, de chaînes d'idées, reliant des domaines a priori éloignés de l'intelligence concrète ou abstraite. Wiener décrit de même la combustion d'hydrogène, l'épidémie de rougeole, puis, dans son exposé historique, l'effet Edison, le microphone à charbon (ch. 6, pp. 50, 52) et la fission nucléaire (ch. 8, p. 73), ayant en commun une réaction en chaîne percolante, plus ou moins contrôlée.

de l'interprétation concrète, qui est un pendant essentiel de sa pensée purement abstraite. D'autre part, il y a le défaut opposé du mathématicien appliqué, qui est devenu un maître dans l'art de la traduction mathématique universelle, mais qui, cela fait, utilise une panoplie mathématique inadaptée ou démodée. Le meilleur usage des mathématiques en vue de la découverte peut être obtenu par celui qui ne se colle aucune des deux étiquettes, pur ou appliqué, mais qui cherche à combiner les ressources mathématiques du mathématicien pur à la capacité de traduction du mathématicien appliqué.

Souvent, en résolvant un problème scientifique par des méthodes mathématiques, on butte sur une difficulté de genre abstrait, que le mathématicien appelle un problème de rigueur ou d'existence. On considère généralement ces difficultés comme relevant du mathématicien pur. L'évaluation de ces difficultés dans un cas particulier demande la conjugaison des plus hautes qualités du mathématicien pur et du mathématicien appliqué.

D'une part, une étude soigneuse du problème peut révéler que ces difficultés ne tiennent pas au problème lui-même, mais à la manière de le traiter, et un praticien plus habile pourra s'en sortir. D'autre part, une difficulté mathématique peut signaler une difficulté physique incontournable, sauf au prix d'une révision radicale de la conception physique. Voici un exemple.

Dans l'étude statistique des vagues à la surface de l'eau, comme sur une mer hachée, on observe certaines difficultés de convergence, qui peuvent sembler purement mathématiques au premier abord, mais qui ont la signification suivante : si la mer est même modérément agitée, sa surface ne coupe plus partout un fil à plomb en un seul point, car elle se replie. Une partie de la vague est en surplomb, jusqu'à déferler. Une théorie statistique négligeant le déferlement ne peut jamais être pleinement satisfaisante, et doit être grossièrement fautive par mer forte. Pourtant, sans un haut degré de sophistication dans l'approche abstraite, on pourrait passer à côté des signaux de danger implicites dans l'échec mathématique d'une telle théorie.

Jusqu'à présent dans ce chapitre, j'ai discuté les aspects de l'environnement intellectuel qui relèvent, en un sens, plus de la science que du scientifique. Il y a cependant certains aspects de l'environnement intellectuel qui touchent davantage le scientifique en tant qu'individu.

Comme le scientifique est très profondément conditionné par son milieu social, les aspects précédents ne sont pas faciles à séparer clairement de l'environnement social. En les plaçant dans ce livre, je devrai les traiter doublement, parce que le genre d'individu qu'on obtient dépend au fond du genre d'individu que la société demande. Il y aura donc beaucoup de répétitions d'un chapitre à l'autre,

mais je distinguerai deux aspects, en considérant d'une part le type individuel du scientifique en tant que tel, et d'autre part, la présence de ce type à telle ou telle époque, selon les circonstances.

Ici je rencontre la difficulté qu'un livre bien organisé peut être pédant, et qu'il n'est pas possible de discuter les deux sujets séparément. Je peux juste espérer ne pas trop ennuyer le lecteur, et j'admets que ma solution n'est pas idéale.

Une source d'inspiration pour l'invention et la découverte, particulièrement puissante depuis quatre siècles, est la modernisation de la tradition savante linguistique, historique et littéraire. Quand la Renaissance atteignit l'Europe, on prit massivement conscience de l'ouverture de nouvelles portes, et de la réouverture d'anciennes. Les documents du monde antique qui trouvèrent refuge en Italie avec leur détenteurs, après la chute de Byzance, représentaient une masse d'informations alors accessibles pour la première fois à une civilisation soumise aux affres de la croissance. Cette opportunité fut un défi pour tout homme d'esprit.

Les répercussions de cette masse factuelle, sur une Europe qui n'était déjà pas étrangère à la spéculation philosophique, engendrèrent la classe nouvelle des humanistes. Au commencement, l'érudition humaniste était seulement littéraire et classique, mais l'existence dans la société d'un corps rompu aux efforts prolongés de pensée et d'étude constitua un terrain propice à la science nouvelle.

Les humanistes ne furent pas les seuls dépositaires du savoir en Europe, ni les seuls à préparer l'ouverture vers la création scientifique. Il y eut parallèlement le courant des talmudistes juifs. Ce dernier était resté grandement séparé du précédent, à cause de préjugés mutuels et de coutumes différentes. Il est vrai que des humanistes furent en contact avec des talmudistes, mais ce contact fut sporadique et exceptionnel. Quand, sous l'influence de Moïse Mendelssohn, ce contact sporadique entre l'érudition talmudique et l'érudition occidentale devint un canal essentiel du savoir juif, la puissance et la discipline intellectuelles des Juifs contribua non seulement à la littérature, mais aussi à la science moderne. Ce n'est pas du chauvinisme juif que de remarquer que, depuis lors, l'armée du savoir scientifique a été renforcée par un nouveau contingent, valeureux et même indispensable.

Les Juifs apportent à la science occidentale de ce qui apparaît comme un morceau d'Orient sur le sol d'Occident. Les deux dernières générations ont vu une répétition du processus selon lequel le savoir et la discipline intellectuelle de l'Orient sont venus en aide à l'Occident, dans les pays orientaux mêmes. L'homme d'état-érudit confucéen et le sage indien ont tous deux reporté leur goût de l'étude et leur éducation vers la science moderne. Encore et encore, il est devenu clair que les qualités inculquées par l'étude des textes anciens s'adaptent aisément à la satisfaction de la curiosité du physicien ou du biologiste le plus moderne.

Cependant, alors que l'Orient vient en renfort de la science occidentale, l'Occident souffre d'un tarissement des sources du savoir qui ont rendu possible la science moderne. Deux guerres ont presque rayé des listes l'Allemagne, qui fut l'hôte du savoir au XIX^e siècle. Après-guerre, ni l'austérité en Angleterre ni la confusion en France n'ont été particulièrement favorables au maintien de leur tradition savante. Les deux nouvelles grandes puissances scientifiques sont présentement les États-Unis et la Russie.

Dans chacun de ces deux pays, la tradition savante européenne a dû survivre dans un climat où l'érudition, malgré toutes les faveurs qu'elle a reçues, est largement subordonnée à d'autres intérêts. Dans aucun des deux pays, l'homme de la rue ne se préoccupe de la culture classique dont toute l'érudition occidentale a émergé. Dans chacun des deux pays, l'érudition est tout d'abord considérée comme au service d'intérêts eux-mêmes distincts de l'érudition. Je ne souhaite pas minimiser les importants crédits et efforts qui ont permis à la Russie et aux États-Unis de former des savants pour le bien commun, mais dans aucun pays le travail du savant n'a été la motivation principale. En Russie, le savant peut être raisonnablement abandonné à ses travaux scientifiques, pourvu qu'il ait donné des gages de son innocuité vis-à-vis de la collectivité, mais c'est cette collectivité-état et la poursuite de ses principes socio-économiques qui doivent à la fin primer sur les exigences du savant. L'idée de la science pour la science est réduite au même niveau d'hérésie que l'idée de l'art pour l'art.

En Amérique, le savant n'a à se prosterner devant aucune idéologie, même si on n'en est pas si loin. Il se doit cependant d'acquiescer la déification de l'homme d'affaires et son interprétation de l'ordre social.

Aujourd'hui, en parcourant la littérature, je constate que les fondations nationales défiscalisées, comme Rockefeller, Carnegie, et Ford, sont accusées de faire le lit d'idées communistes, sinon du communisme. Dans le jargon actuel, cela signifie simplement qu'elles ne sont pas aveuglément soumises à l'orthodoxie politique et scientifique. On a vu en Russie comment l'atmosphère d'exigence d'orthodoxie politique bloque le développement de la culture scientifique². Ce qui arrive en Russie peut arriver ici, et la tentative générale de canaliser sommairement les courants de pensée volontaristes pourrait bien conduire à un nivellement intellectuel par le bas, et à la désertification de vastes contrées de l'esprit, insuffisamment entretenues.

Je voudrais donner un exemple du mépris de l'homme ordinaire pour le savant.

2. Wiener dénonce la pensée unique, dont un exemple fameux est l'emprise de T. Lyssenko sur la biologie soviétique (A. Sakharov, *Mémoires*, Seuil, 1990).

Il y a quelques années, quand mon père voyageait en Russie, il se trouva par hasard dans le même compartiment de train qu'un *schechter*, un boucher juif kasher. Mon père expliqua qu'il était professeur d'université. La réponse du *schechter* fut « Auch ein gutes Geschäft ! » – « C'est un bon métier aussi ! » Je crains qu'aussi bien en Russie moderne qu'en Amérique, ce jugement soit ce que le savant puisse espérer de mieux, de la part de la société.

Le point important de cette histoire est le peu de valeur accordée par le *schechter* au travail purement intellectuel. La valeur du travail intellectuel dans la société américaine n'est guère plus élevée. Pendant des années, en Europe, et dans l'Amérique européanisée, l'homme d'affaires ou le commerçant fut affublé de surnoms dédaigneux, « rat de comptoir, boutiquier, épicier »³. Il subit les piques non seulement du communisme, mais aussi des différents courants socialistes⁴.

Depuis une ou deux décennies, il pense s'être émancipé, et tenir les cartes maîtresses du développement de l'Amérique. Fut un temps, il ne faisait que demander qu'on tolère le capitaliste, réclamer la digne place qu'il méritait dans la société, en refusant d'endurer le snobisme de l'aristocrate ou le snobisme de l'intellectuel. À présent, il semble que cette exigence d'espace vital se transforme en une exigence que son mode de vie soit reconnu comme celui de la société toute entière, et que tous ceux qui ne sont pas du même avis soient soumis aux fouets et aux scorpions d'une nouvelle inquisition.

Cette nouvelle orthodoxie ne contribue pas à établir un climat favorable au dévouement et à la consécration. Le dévouement dans les affaires existe et a toujours existé, peut-être plus fortement à l'époque du petit commerce, qui avait une grande conscience professionnelle, même s'il pouvait parfois traiter le client avec une certaine mesquinerie. Bien des hommes d'affaires de la vieille génération ont préféré le suicide à la faillite, non pas tellement à cause de l'énorme effort nécessaire pour repartir de zéro, mais surtout parce que, dans leur tête, il n'y avait pas d'autre moyen de laver leur réputation entachée.

Je ne dirai pas que ce type d'intégrité a disparu en affaires, mais que, sur la balance, entre l'intégrité et l'agressivité, l'aiguille penche nettement du côté de l'agressivité. Le dévouement inculqué par l'église a quelque chose à voir là-dedans, et, pour plus d'un homme heureux en affaires, l'église est devenue une police secrète garante de l'ordre social dans tous ses détails, plutôt qu'une institution qui lui demande repentir et pénitence. Bien qu'il subsiste dans l'ordre social actuel un certain respect conventionnel pour l'homme d'église et son devoir de dé-

3. Les deux derniers sobriquets en français dans le texte !

4. Cf. le personnage de l'épicier Maigrat, dans *Germinal* de Zola.

vouement, en dehors de ce domaine restreint de tolérance, beaucoup considèrent le dévouement non seulement comme ridicule, mais comme potentiellement dangereux.

L'homme d'affaires est irrité à la rencontre d'un scientifique plus soucieux de sa science que des récompenses tangibles qu'il peut en tirer. Il a l'impression de se frotter à une forteresse de l'esprit, lisse, dure, imprenable, dans laquelle il ne voit aucune faille. Pour lui, l'homme de science ou l'homme de lettres représentent un noyau potentiel de défiance, qu'il considère comme une menace à éradiquer. Moins le free-lance lui demande d'avantages et de richesses, plus l'homme d'affaires doute de sa domination définitive.

Ainsi, le pouvoir quel qu'il soit se plaît à voir la nouvelle génération s'écarter de l'esprit de sacrifice, de la passion du savoir, et de tous ces sentiments incontrôlables. Il se réjouit de voir les docteurs montrer un intérêt croissant dans l'art de vendre leurs services et d'en tirer profit. Il éprouve une vraie satisfaction à voir les jeunes ingénieurs et scientifiques se presser dans leurs laboratoires, délaissant les universités et les établissements de recherche pure, qui s'en trouvent en sous-effectif dangereux. Ces scientifiques qui ne peuvent pas parler de projet à moins d'un million de dollars sont ses hommes, et il les encourage à fréquenter, sinon ses propres clubs, d'autres clubs un peu moins prestigieux, et à acheter, sinon des Cadillac, une marque de voiture qui porte en même temps l'image de la déférence convenable et de la vénération de l'idéal officiel.

Ce que le pouvoir ne voit pas, c'est qu'il paye cette servilité immédiate au prix de l'incapacité à long terme de fournir les développements fondamentaux dont dépend la société dans son ensemble, et enfin lui-même en particulier. Pour le scientifique affairiste, une étude vraiment profonde des lois de la nature demanderait au moins un retrait temporaire des rangs de la hiérarchie scientifique, et de nombreuses heures d'étude dans le calme, avant que n'en ressorte quoi que ce soit qui lui rapporte une attention spectaculaire.

C'est un pari qu'il ne peut se permettre. Cela le mettrait à l'écart de la très intense rivalité carriériste, dans laquelle il a été endoctriné. Si à un instant il manque ce qui est à la mode et ce que les autres font, il invite un autre grimpeur à le faire tomber de l'échelle. Ainsi, le monde de la concurrence et de la réussite personnelle ne peut continuer d'exister que grâce à une enclave, où les scientifiques laissent leurs ambitions de côté, et ne sont en concurrence que dans un effort conjoint pour percer les secrets de la nature.

Si on veut découvrir et développer le vrai scientifique, il faut commencer dès l'enfance du scientifique potentiel. Il faut donner à l'homme dont on espère le dévouement une chance de voir de quoi il s'agit. L'homme passionnément curieux

de la nature, et qui ne recule devant aucun obstacle franchissable, doit former son caractère tôt, avant d'être emporté par des valeurs matérielles plus lucratives. Les écoles doivent apprendre autre chose que la conformité, et demander autre chose que des lieux communs bien polis. Les cours de lettres modernes ou classiques et les cours de mathématiques doivent retrouver une partie du mordant et de la substance d'antan. Sinon, notre civilisation dérivera vers une médiocrité byzantine, et la science sera dirigée par des administrateurs et des exécutants, non par des hommes.

Chapitre 4

Le climat technique et l'invention

L'invention a ceci de particulier, par rapport au processus plus général de la découverte, qu'elle n'est complète qu'après avoir atteint le stade de la fabrication. Une invention est conditionnée non seulement par les idées dont elle découle, mais aussi par les matériaux et les procédés disponibles. La limitation de la réalisation de l'invention par la disponibilité des matériaux et des techniques apparaît clairement à propos des carnets de Léonard de Vinci.

Ce qui ne peut pas manquer d'impressionner quiconque étudie Léonard est le large usage du bois et du cuir dans sa technique. C'était les matériaux techniques de l'époque, alors que la métallurgie était vraiment limitée. Les techniques de fonderie et de forge étaient bien connues et tenues en haute estime, mais n'étaient pas adaptées à la production de pièces mécaniques de précision. La surface d'un objet en fonte n'est pas très précise, parce que certains métaux se dilatent en refroidissant, et d'autres se contractent. Dans le premier cas, on utilise des moules en sable, qui ne peuvent pas être très fins, et dans le second cas, il y a du retrait. De plus, la structure cristalline de la fonte a un grain peu adapté aux contraintes d'utilisation d'une pièce, la fonte étant souvent cassante. Dans les conditions plus ou moins primitives de la Renaissance, elle était loin d'être adaptée à la précision de la mécanique, par contraste avec la précision esthétique du fondeur de statues.

Le marteau du forgeron est encore moins précis que le moule du fondeur. En fait, il a l'avantage de donner au métal un grain connu, et peut être complété par une trempe et un recuit. Cependant, avant de pouvoir obtenir une surface bien définie, il faut faire appel à la technique apparentée à, mais distincte de la serrurerie, connue bien avant Léonard, mais qui ne s'est développée que bien plus tard.

L'outil original du serrurier est la lime. Avec cet outil, et avec la scie, apparentée, le serrurier peut usiner les contours compliqués de la clé, du trou de serrure,

de la gorge et du pêne, de telle sorte que les surfaces obtenues glissent l'une sur l'autre, en permettant l'ouverture de la serrure. La serrurerie a continué jusqu'à présent, et, dans l'Allemagne moderne, ou celle d'il y a une génération, ce métier était considéré comme embrassant ceux de machiniste et de fabricant d'outil. Le tourneur-fraiseur professionnel allemand suivait une formation de serrurier, travaillait comme ouvrier serrurier, et, selon son aspiration, devenait maître serrurier, en terminant par un travail sur lequel il était jugé, un chef d'œuvre, au sens technique.

Pourquoi le tourneur-fraiseur est-il affilié spirituellement au serrurier, plutôt qu'au fondeur de cloche ou au forgeron ? Parce que la serrurerie est l'ancêtre technique de l'usinage. Ce qui se faisait à la lime autrefois se fait aujourd'hui avec un outil de coupe, sur une fraiseuse, un tour, un étau-limeur, ou avec des abrasifs. Pourtant ces outils de coupe ou de meulage durent attendre la disponibilité de sources de puissance, autres que celles connues du temps de Léonard, et le travail du serrurier à la Renaissance et au Moyen Âge était réputé ardu, lent et astreignant.

Il n'était pas étonnant que l'artisan de l'époque, y compris Léonard, préférât les matériaux plus faciles et plus souples que sont le bois et le cuir. Le cuir est pratique et flexible, imperméable à l'air et à l'eau, mais il n'est aucunement adapté à un montage précis. Le bois et les autres matériaux apparentés, l'ivoire et l'os, ne sont pas méprisables. On peut les polir finement, et dans certains cas obtenir une surface suffisamment résistante pour remplacer le métal. Cependant, les essences adaptées à un tel usage sont en général tropicales, comme le tek, l'ébène, l'olivier, et il faut les travailler à la lime comme le métal pour obtenir des formes précises. À l'époque de Léonard, ces bois durs et les matériaux apparentés n'étaient guère plus faciles à travailler que les métaux.

Les bois plus ordinaires, tendres ou moyennement durs, pouvaient être précisément travaillés, à la scie, au ciseau et à la vrille, mais le prix de cette facilité était la déformabilité et la fragilité. Un matériau facile à travailler s'érode facilement, et le maintien d'une forme précise exige un remplacement fréquent. En plus, il n'est pas facile de minimiser la friction du bois et les pertes qui en résultent. En voyant un dessin de Léonard, on imagine une machine frêle et grinçante, qui fonctionnera, mais sans aucune bonne volonté, et dont les articulations seront vite érodées par le frottement et déformées jusqu'à causer l'arrêt de la machine.

J'ignore à quelle période on découvrit que la friction entre surfaces métalliques pouvait être minimisée par de l'huile ou de la graisse, mais cela fut probablement découvert assez tôt, et très probablement, à l'occasion de la conception de l'essieu. On sait maintenant, mais j'ignore depuis quand, que le bois aussi peu être lubrifié, non avec de l'huile ou de la graisse, mais du savon et de l'eau, qui font partie

des meilleurs lubrifiants du bois. En tout cas, même si beaucoup de machines de Léonard, lubrifiées au savon et à l'eau, pourraient raisonnablement fonctionner, leur piètre performance ferait pitié à tout ingénieur moderne.

Les ancêtres des machines de Léonard furent bien sûr les moulins à eau et à vent. À l'époque romaine, la roue du moulin à eau était alimentée par le bas, ce qui est très inefficace ; vers la fin du haut Moyen Âge, on connaissait la roue alimentée par le haut, assez efficace, mais inadapté aux grands débits. Le moulin à vent était encore moins au point, et ne produisait que des bribes d'énergie. Il manquait quelque chose de mieux que la technique minotière pour que le génie de Léonard pût se réaliser.

Le chemin qui finalement permit cette réalisation partit du bois pour arriver au métal fini, d'abord chez le serrurier, puis chez ses fils spirituels, l'horloger et le fabricant d'instruments scientifiques. Le constructeur médiéval d'horloges monumentales n'était rien d'autre qu'un serrurier de haut vol. Le créateur des « œufs de Nuremberg » était en fait un artisan expérimenté, avec ses limites. Il emprunta l'idée du ressort principal à la technique métallurgique de l'armurier, et accomplit ainsi un premier pas important dans le domaine du stockage de l'énergie. Ce fut aux XVII^e et XVIII^e siècles, avec l'apparition du pendule et du ressort spiral, et avec la demande d'instruments de plus en plus petits et précis pour la marine, que l'horlogerie acquit son autonomie. Les tours et les machines-outils rudimentaires utilisés pour la fabrication de ces petits instruments étaient assez petits, et consommaient suffisamment peu d'énergie pour être actionnés à la main ou au pied par l'artisan. Ces tours furent les ancêtres authentiques des machines-outils modernes, non seulement dans leur usage et dans leur conception, mais aussi parce que, comme on verra plus tard, ils servirent à construire les pièces métalliques de plus en plus grandes, que demandait la révolution industrielle.

Le XVII^e siècle scientifique eut la chance d'être l'âge d'or de l'optique. La technique de travail du verre optique est presque un terrain idéal, pour un homme tenté par la science, indépendamment de l'usage scientifique qu'on en fait. Il n'y a pas d'autre domaine où une si grande précision peut être atteinte avec aussi peu de moyens.

Bien sûr, la technique d'usinage des lentilles est antérieure au XVII^e siècle. L'Arabe Alhazen fit grandement progresser la science optique, sur laquelle repose cette technique, mais on ne sait pas s'il utilisa des lentilles usinées, dont la technique apparut chez les lunetiers de la fin du Moyen Âge et de la Renaissance. Le verre même est encore plus vieux, et en fait il a dû être découvert par un homme primitif qui fit du feu sur une plage ou dans le désert, quand les cendres et le sable se fondirent en petites masses translucides. L'utilisation du verre est très ancienne

dans l'art, mais il a fallu très longtemps pour qu'il devienne un matériau technique. Les premiers verres avaient des défauts, étaient colorés et semi-opaques, et bien que le verre devînt assez tôt un matériau concurrentiel vis-à-vis de la poterie, pour certains usages, il fallut des siècles et même des millénaires pour qu'on sache en produire des morceaux transparents, incolores, et de bonne taille, qu'on puisse retravailler. En plus, parmi les diverses techniques de travail du verre, les premières consistaient à fondre, souffler et souder, ce qui est bien différent de l'usinage particulier nécessaire à la fabrication des instruments d'optique.

La technique d'usinage par abrasion et polissage à l'hématite ou d'autres abrasifs plus fins et plus doux est bien sûr issue de la serrurerie, comme je l'ai expliqué, et fut associée à la technique voisine de construction de miroirs métalliques de précision. Elle fut le développement d'une autre technique très ancienne connue en Orient et en Grèce.

Pour usiner un miroir plan, comme tous les constructeurs amateurs de télescopes le savent, on n'a besoin d'aucun outil, sauf trois blocs de verres, de quoi les maintenir, des abrasifs, et des matériaux de polissage. Si on frotte le bloc A sur le bloc B, et s'ils s'adaptent après une suite de changements d'orientation progressifs, alors il est mathématiquement clair que la surface de contact doit être plane ou sphérique. Si on frotte le bloc A contre le bloc C, ils ne s'adaptent probablement pas, mais avec l'usure, les bosses du bloc A vont avoir tendance à disparaître, et le bloc finira donc forcément par s'aplanir. Ainsi, en usant successivement A contre B, B contre C, et C contre A, les bosses disparaissent, et les trois surfaces s'aplanissent. À la fin, si A s'adapte à B, B à C, et C à A, il faut bien que les trois surfaces soient planes. Ainsi, sans outillage, on produit un étalon de planéité, avec une tolérance inférieure à celle de l'outillage mécanique moderne.

Par la même méthode qui produit des plans, on obtient des sphères, en usant seulement deux blocs, avec un tour de main particulier. Partant des sphères, on peut encore vouloir modifier la géométrie des faces pour améliorer les propriétés de convergence ou de divergence de la lumière. Pour cela, la propagation de la lumière elle-même est le meilleur critère. On teste les faces par réfraction et par réflexion. C'est pourquoi la construction de télescopes demeure un passe-temps fréquent pour quelqu'un qui a des goûts à la fois intellectuels et manuels, mais qui n'a pas les moyens de se payer des outils perfectionnés.

Les premiers instruments astronomiques étaient des lunettes, utilisant des lentilles, et le microscope a continué d'utiliser des lentilles. Les principes généraux d'usinage des lentilles et des miroirs sont les mêmes. Les lentilles sont cependant plus difficiles à usiner que les miroirs. Elles ont deux faces au lieu d'une, leur transparence est imparfaite (ce qui limite supérieurement leur taille), et elles

demandent un matériau homogène et sans défaut. Galilée construisit une lunette, alors que Huygens construisit un télescope, dont l'élément principal était un miroir.

Un avantage du fabricant d'instruments d'optique fut de pouvoir récupérer la technique des montures métalliques, développée auparavant pour l'astrolabe et d'autres instruments astronomiques sans lentille. Cette technique était nécessaire, pour la fabrication des instruments astronomiques et des microscopes, en plus du travail du fabricant de lentilles et de miroirs. Un instrument d'optique est après tout non seulement un assemblage de lentilles ou de miroirs, mais aussi un boîtier, généralement métallique, avec les vis, les glissières et les engrenages nécessaires à son réglage. Ainsi le métier de fabricant de lentilles s'étendit vers celui de fabricant d'instruments scientifiques, qui, bien sûr, comprenait de la mécanique de précision, semblable à la serrurerie. De plus, les nouvelles découvertes en mécanique de Galilée et Huygens avait préparé une refonte complète de l'horlogerie : la technique sommaire mais ingénieuse des constructeurs d'horloges monumentales cédait à une nouvelle technique basée sur des pendules et des ressorts, combinant les travaux théoriques de Galilée et Hooke avec les méthodes empiriques précédentes¹. La fabrication d'instruments d'optique et l'horlogerie étaient en fait intimement liées depuis toujours. Aux XVIII^e siècle, ces deux techniques convergentes devaient contribuer à parts égales à une nouvelle révolution dans la navigation.

Il était naturel que les instruments d'optique, les mathématiques et la technique associées se développassent main dans la main. Historiquement, l'arrivée de ce progrès, en même temps que de nouveaux besoins en optique, inaugurerait sans surprise un nouvel âge de l'invention. La lunette de Galilée apparut juste au moment où on avait épuisé les possibilités des instruments plus sommaires de Brahe et Kepler, et le microscope de Leeuwenhoek n'aurait pas pu arriver plus tard sans causer un sérieux retard dans le progrès ininterrompu de la physiologie et de l'anatomie dans le royaume du petit.

Ainsi, le XVII^e siècle révèle un mariage très surprenant entre la science et la technique. Ce fut le temps où un philosophe comme Spinoza put renforcer son indépendance de pensée par son indépendance économique, en fabricant des lentilles². La science ou la technique seule aurait suffi à faire apparaître le XVII^e siècle comme une grande époque de découverte, mais la conjugaison des deux oblige à

1. Cf. *La mesure du temps et de l'espace au XVII^e siècle*, J. Blamont, *XVII^e siècle*, n° 213, oct. 2001.

2. Exclu de sa communauté et renié par ses parents, Spinoza tira sa subsistance de la fabrication de verres de lunettes.

reconnaître le début d'une ère nouvelle, où le progrès technique cesse d'être sporadique, et devient une part intégrale de la civilisation.

Le navire à voile est maintenant tellement mort qu'on commence presque à oublier quel magnifique moyen de transport ce fut et l'ingéniosité toute particulière qu'il demanda. Il est vrai que les améliorations structurelles du bateau et de son équipement furent progressives, et qu'il fallut des siècles pour passer de l'aviron de queue³ à la barre et au gouvernail, et pour que la barre, d'abord directement manipulée, fût actionnée par un levier ou une roue (à la fin du XVII^e siècle). Les voiles de misaine carrées et les voiles d'artimon latines des bateaux élisabéthains cédèrent la place, au fil du temps, au foc et au clin foc d'une part, et à la voile l'artimon carrée d'autre part. Mais ces améliorations de la nef et du gréement furent bien plus lentes que celles de la navigation.

Avant le XVIII^e siècle, il était facile de déterminer la latitude, mais presque impossible de déterminer la longitude. Un navire suivait la côte jusqu'à sa latitude de destination. De là, il naviguait à l'est ou à l'ouest, jusqu'à sa destination. Si le capitaine n'avait pas la chance de prévoir correctement les vents et les courants, son estime le conduisait à la côte opposée plus tôt ou plus tard que prévu, souvent avec des conséquences désastreuses pour son vaisseau. Ainsi à la fois l'Angleterre et la France, les grandes puissances maritimes, trouvèrent nécessaire, au début du XVIII^e siècle, de lancer des concours de mesure de longitude. Des prix furent attribués à plusieurs reprises dans les deux pays, mais pour des montants misérables.

Le problème de la longitude est un problème de chronométrage, compris depuis longtemps en théorie. Deux méthodes pratiques étaient disponibles. L'une était la construction de chronomètres à ressort, suffisamment robustes et stabilisés pour supporter les mouvements d'un navire pendant des jours sans tomber en panne. L'autre était une meilleure observation de l'horloge naturelle qu'est la lune. Les deux méthodes réussirent finalement, et demandèrent d'importants perfectionnements de l'instrumentation. La montre dut atteindre une exactitude et une robustesse encore jamais imaginée, alors que les instruments astronomiques, au départ encombrants, durent évoluer vers le sextant de marine, commode et portable. En cette époque de navigation, les grandes techniques industrielles devinrent celles de l'horloger et de l'opticien, pour lesquelles on perfectionna le travail du métal et du verre.

À la fin du XVIII^e siècle, ou même avant dans certains domaines, les traditions et les outils de l'horloger et du fabricant d'instruments scientifiques atteignirent quasiment le standard de qualité moderne. On avait adapté le tour à un usage de

3. À l'origine, un « aviron » servait en effet « à virer ».

précision pour le laiton, et on avait mis au point des machines à diviser, pour graver des graduations linéaires et circulaires. Dans aucun autre domaine de travail, sauf peut-être le perçage des canons, la machine-outil ne s'était autant développée. D'ailleurs, ce ne fut pas un hasard si Watt et bien des inventeurs de l'époque furent formés à l'origine comme horlogers ou fabricants d'instruments scientifiques.

La machine à vapeur à ses débuts était lamentable. Elle fonctionnait à basse pression. En fait, le modèle de Newcomen destiné à épuiser les mines, travaillait entre le vide et une pression à peine supérieure à une atmosphère.

La machine de Newcomen n'utilisait aucune technique très évoluée. La machine de Watt la dépassa de plusieurs manières. D'abord, le système de soupape qui régula l'admission et l'échappement de vapeur sur la machine de Newcomen était vraiment primitif. Au début, un opérateur tirait une corde. Plus tard, l'ingéniosité, ou, comme on dit, la paresse d'un des opérateurs, résulta en un système simple, qui faisait que le piston tirait lui-même la corde. La machine de Watt possédait au contraire une soupape particulièrement sophistiquée.

Thermodynamiquement, la machine de Newcomen était grossièrement inefficace, dans la mesure où le même cylindre servait de chaudière et de condenseur, d'où la perte d'une grande part de l'énergie thermique. Watt inventa le condenseur séparé, mais aussi, ce qui fut également important, son moteur était conçu pour entraîner des machines tournantes, et non seulement une pompe à piston.

Ainsi, alors que la machine de Newcomen ne fut pas très exigeante vis-à-vis de la technologie de son siècle, celle de Watt la poussa à ses limites. Par exemple, l'efficacité de la machine de Watt demandait un jeu minime entre le piston et le cylindre, ce qu'on faisait de mieux à l'époque laissait encore assez de jeu pour laisser passer une pièce de six pence. Watt utilisa intensivement les engrenages et les transmissions, alors qu'il fallait usiner les dents d'engrenage à la main, une à une, et que les transmissions étaient aussi précises que le travail d'un bon forgeron le permettait. En fait, Watt avait besoin de la précision mécanique de l'horlogerie, mais à une échelle dix fois supérieure. Il fallut développer cette technique de fond en comble.

Le paradoxe auquel se trouvaient confrontés les ingénieurs de l'époque de Watt était que le mécanisme de la machine vapeur ne pouvait être construit facilement que par des outils tellement puissants, qu'il aurait fallu pour les faire fonctionner une machine à vapeur (ou peut-être un moulin à eau). En ingénierie, il y a une certaine histoire de famille, une généalogie. Les marteaux du forgeron sont forgés par les marteaux d'un forgeron précédent. Ainsi, au début de la révolution industrielle, les difficultés initiales de la construction furent attaquées de front, et brutalement, à la main. Chaque nouveau progrès facilitait le suivant,

avec plus de précision. La première machine à vapeur fut fabriquée à la main, et servit à construire les outils pour construire la génération suivante de machines à vapeur. La taille et la résistance des pièces ont ainsi progressé, au fil des générations, si bien que les machines outils d'aujourd'hui descendent du tour miniature, sur l'établi de l'horloger.

Un pays qui a pris une part particulièrement importante à l'antiquité de l'invention est la Chine. On doit à la Chine la découverte de l'imprimerie, du papier, de la poudre noire, en plus de développements majeurs dans le textile et le métal, et dans les méthodes de forage, qui sont les ancêtres directs de la technique du forage pétrolier.

Avant d'examiner ces inventions une par une, je dois dire que l'idéologie sociale chinoise était très propice à l'artisanat. La position de l'artisan en Chine était à peu près aussi élevée que plus tard dans les cités-états flamandes et italiennes de la fin du Moyen Âge et de la Renaissance. En Europe, le soldat est depuis toujours dans le haut de l'échelle sociale. En Chine, le classement confucéen donne le plus haut rang à l'homme d'état-érudit, le mandarin. Ensuite vient le fermier, comprenant tous les sous-niveaux, depuis le laboureur jusqu'au gentilhomme paysan s'occupant de sa propriété. Ensuite l'artisan, et en dessous le marchand, qui vend le travail d'autrui. Encore plus bas, divers petits métiers, et enfin le soldat. « Le soldat est en bas » dit un proverbe chinois familier, et un autre : « On ne prend pas le bon acier pour faire des clous, ni les bons hommes pour faire des soldats. » Ainsi, la hauteur de l'artisan chinois semble-t-elle un peu au dessus de la moyenne, sur l'échelle sociale chinoise.

Le conservatisme de la Chine au XIX^e siècle et au début du XX^e n'est pas une attitude durable. Il doit coïncider avec la surpopulation de la Chine, qui n'est pas beaucoup plus ancienne que la fin du XVII^e siècle. Jusqu'à la Renaissance, la Chine était supérieure à l'Europe, intellectuellement, démographiquement, et pour les conditions de vie. Cela transparaît évidemment des récits que Marco Polo fit de ce pays. En fait, même un homme de la Renaissance européenne, comme le jésuite Matteo Ricci, qui entreprit de convertir des Chinois, et trouva en Chine beaucoup de choses qui le répugnaient, dut néanmoins reconnaître qu'un nombre considérable de détails de la vie chinoise au XVI^e et XVII^e siècles étaient plus civilisés que chez lui en Europe.

En fait, la carrière même de Ricci montre que la Chine de son temps était loin du vide intellectuel, et que les problèmes intellectuels exerçaient une grande fascination sur les dirigeants chinois. Finalement, Ricci devint mandarin, comme Marco Polo, et un érudit chinois plutôt bon. Ce qui l'avait rendu cher à l'empereur et aux hauts mandarins était sa connaissance des mathématiques et de l'astronomie

occidentales, qu'il apporta en Chine, et qui dès lors entrèrent dans l'enseignement supérieur chinois. Comme exemple de ses capacités scientifiques, il dessina une carte du monde pour les Chinois, dans une projection valable, mais exagérant la superficie relative de la Chine, afin de ne pas heurter les préjugés des Chinois.

Considérons quelques inventions qui font la célébrité de la Chine en Occident. Quant à l'imprimerie et le papier, on les considère en général dans le mauvais ordre, en accordant trop d'importance à l'imprimerie, et pas assez au papier. Le problème du bon support d'écriture est aussi vieux que l'écriture elle-même. L'écriture primitive se composait d'inscriptions sur la pierre, la poterie ou les métaux, comme en Chine même. Les pays moteurs de la civilisation ont presque toujours trouvé un support d'écriture léger et portable, sur lequel conserver leur enregistrements. À Babylone, et dans les pays voisins, ce support était la terre cuite de l'Euphrate. Un système d'écriture avec un stylet cunéiforme conduisit à une riche culture, dont les écrits furent en quantité extraordinaire pour l'époque. L'Inde antique et les pays plus à l'est utilisèrent beaucoup la feuille de palme. Celle-ci, au passage, a trop de grain dans une direction particulière, de telle sorte qu'elle se fend aisément, et demande une écriture en traits plus ou moins circulaires. On trouve cette écriture à Ceylan et en Inde du sud jusqu'à aujourd'hui. Le papyrus des Égyptiens et des Gréco-romains plus tard était fabriqué à partir de couches de moelle de tige pressées. Ce support avait moins de grain, mais était encore fragile et cassant.

Le parchemin et le vélin étaient plus résistants et plus durables, mais pénalisés par un coût excessif, qui les réservait aux livres religieux, dont la calligraphie fine, lente et artistique répondait surtout au goût de perfection des prêtres et des riches, mais compromettait l'accès général à la lecture et à l'écriture.

C'est en Chine que fut découvert un support aujourd'hui presque universel, sans grain, bon marché, et disponible en abondance, et qui s'appelle le papier.

Les Chinois même aujourd'hui ont un respect particulier de l'écriture. Ils n'aiment pas jeter une inscription quelconque, et ils font même des décors muraux à partir de motifs de papier manuscrits ou imprimés. Il est naturel de supposer qu'ils aient dû subir une énorme pression émotionnelle depuis toujours, pour trouver un bon support d'écriture.

Apparemment, leur premier papier n'était pas du vrai papier, constitué de cellulose. C'était un feutre de fibres de soie, de structure analogue au papier, mais de composition chimique différente. Plus tard, les Chinois utilisèrent l'écorce de murier. Cela donna un vrai papier de cellulose, qui fut suivi d'un papier en fibre de coton. Ce papier était moins cher que le parchemin, et peut-être même aussi bon marché que le papyrus ou la feuille de palme. Il était moins solide que le

parcramin, mais plus que le papyrus ou la feuille de palme.

L'écriture chinoise au pinceau plutôt qu'à la plume était moins dure pour le support qu'un stylet aiguisé, traversant facilement. À cette manière d'écrire au pinceau, qui s'appliqua bientôt également à la peinture, était associé l'usage d'une encre plutôt visqueuse, appelée encre de Chine⁴. Le papier fut bientôt utilisé indifféremment pour l'écriture ou la peinture. Cela n'est pas étonnant, car les Chinois distinguent à peine la peinture de la calligraphie.

Grâce à un support abondant et une encre visqueuse, l'impression apparut presque automatiquement. Tous les pays utilisent des sceaux pour authentifier les documents, mais selon différents principes. Les sceaux babyloniens sont imprimés dans l'argile, ou bien gravés sur de petits cylindres roulés dans l'argile. Les sceaux occidentaux sont souvent en cire, bien que certains sceaux spéciaux, comme les bulles papales, soient imprimés sur de fines feuilles de plomb. Cependant, depuis toujours, les sceaux chinois utilisent de l'encre, dont on voit à nouveau le rôle important de la viscosité. Ces sceaux sont de petits objets en ivoire ou en pierre, servant à authentifier des documents personnels. En effet l'écriture chinoise est si strictement définie qu'une signature au pinceau ne permettrait pas d'identifier son auteur. Les banques chinoises, au moins jusqu'à ces derniers temps, demandaient que les chèques en écriture chinoise au pinceau fussent attestés non par une signature, mais par un sceau, dont la banque gardait une empreinte.

Le sceau des organismes officiels et des provinces sont souvent des objets plus élaborés de stéatite ou de jade, de plusieurs pouces carrés en surface d'impression, et gravés de lions chinois ou d'autres images respectées par les Chinois. Ainsi, ce fut tout naturellement, et tôt, que les Chinois concentrèrent sur un sceau une quantité d'information assez considérable. Dans ces conditions, évidemment, ils finirent par imprimer une page complète, avec ce qui était essentiellement un sceau, gravé dans le bois, plutôt que dans la pierre.

C'est l'origine des livres chinois en bloc, qui étaient faits comme les livres actuels de pages successives, mais avec une différence. Le papier chinois étant plus fin que le nôtre, pour éviter que l'encre le traversât, le recto et le verso d'une page, au lieu d'être imprimés de part et d'autre d'une même feuille, étaient imprimés côte à côte, puis on pliait la feuille pour constituer l'équivalent d'une page d'aujourd'hui.

Une technique chinoise, dont l'importance ne fut reconnue que récemment en Occident, est celle du forage de puits. On connaît bien le forage des puits de pétrole, et on sait que le pétrole se trouve souvent à proximité d'eau salée dans le

4. En anglais, à tord, encre d'Inde.

sous-sol. Les Chinois faisaient des puits surtout pour trouver de l'eau salée, parce que le système d'imposition de la Chine impériale reposait en grande partie sur un impôt semblable à la gabelle de la France royale. On forait en enfonçant dans le sol des tubes de bambou aiguisés. Le bambou, au passage, est un matériau mal connu en Occident, mais à sa manière tout aussi important que le bois. Comme dans nos systèmes modernes de forage, la tête de forage était enfoncée par à-coups, avec une petite rotation. Sans machine à vapeur ni autre moteur, le soulèvement et le lâcher de la colonne de forage était le fait de la seule force humaine, ce qui impliquait d'utiliser un contrepoids, de manière à récupérer le travail de soulèvement. Le contrepoids était réalisé au moyen d'une perche de bambou élastique, à laquelle était suspendue la colonne de forage.

Une invention encore plus importante attribuée à la Chine est la poudre noire, un sujet encore très intéressant aujourd'hui, parce que certains problèmes liés à son usage se répètent avec l'énergie atomique. Des sources d'énergie très concentrées mettent à rude épreuve la capacité matérielle à garantir leur sûreté. Ainsi, lorsque la poudre fut découverte, elle fut utilisée pour faire du bruit très fort, et effrayer les démons, avant d'être employée à des fins plus utiles.

Ensuite, la poudre fut utilisée à des fins militaires, pendant plusieurs siècles, sans commencer tout d'abord par les canons. Au cours de leurs expéditions à la conquête de l'Asie et de l'Europe de l'est, les Mongols s'en servirent pour ouvrir des brèches dans les fortifications.

Après cet usage presque totalement incontrôlé vint le canon, qui au début tirait des boulets grossiers, encore pour ouvrir des brèches dans les fortifications. Les premiers canons étaient assez gros, et il fallut longtemps pour mettre au point une technique de fonderie. Beaucoup étaient des faisceaux de barres, tenus ensemble par des anneaux forgés, et pouvaient exploser à n'importe quelle occasion, en blessant les artilleurs. Plus tard, la technique de fonderie des canons fut mise au point, et encore plus tard, la technique de forge et de perçage de canons encore plus robustes.

Le canon précéda le pistolet, qui ne fut en fait au début qu'un canon portable, fixé au pommeau de la selle d'un cavalier, et mis à feu avec une allumette. Les premiers canons, et tous les canons et pistolets pendant des siècles, se chargeaient par la gueule. Ce ne fut pas faute de tentatives de chargement par la culasse, mais parce que ce procédé imposait des contraintes techniquement irréalisables à l'époque. On ne parvenait pas à obturer convenablement la culasse, de manière à contenir l'explosion intérieure, et la métallurgie de l'époque n'était pas suffisamment fiable pour prévenir les fréquentes explosions accidentelles. Des canons tournants et des mitrailleuses furent proposées dès le début de l'artillerie, mais ne se révélèrent en

aucune manière réalisables, en l'état de l'art de l'époque.

La bombe atomique pose un problème analogue, et peut-être insoluble, d'une importante concentration d'énergie. C'est pour cela, et aussi parce que l'étape critique de la fission de l'atome précéda de peu une grande guerre, que la bombe atomique précéda la production contrôlée d'énergie atomique. Au moins pour les bombes à uranium et à plutonium, on sait construire parallèlement des piles atomiques, libérant leur énergie avec une intensité raisonnable. Cependant, les développements de la technique atomique sont illustrés par le cas de la bombe à hydrogène, dont l'explosion est amorcée par une bombe à fission, permettant de porter l'hydrogène à une température suffisamment élevée, comparable à la température dans le soleil, et incompatible avec un quelconque état solide.

Ainsi, il n'existe aucun matériau qui puisse contenir une telle réaction, et c'est seulement pendant la courte durée de l'explosion qu'on parvient à obtenir la pression nécessaire, avant que l'enveloppe se vaporise, ou même soit réduite à un état encore plus divisé. À présent, on n'a aucun espoir raisonnable de mettre en bouteille les génies de la bombe à hydrogène, bien que l'histoire de la poudre montre qu'on a déjà rencontré des génies apparemment incontrôlables, qu'on a finalement réussi à apprivoiser. En fait, le moteur sous le capot de chaque automobile n'est qu'un assemblage de canons utilisant de manière particulière un explosif gazeux, tout aussi puissant que la poudre. Cela n'est possible que grâce à des techniques d'usinage sophistiquées.

J'énumérerai plusieurs autres exemples pour lesquels le manque de moyens techniques et l'insuffisance générale du savoir-faire et des matériaux ont bien longtemps retardé une invention importante. Cependant, comme ces exemples sont modernes et assez compliqués, je les garde pour les chapitres suivants, dans lesquels je discuterai l'histoire du téléphone, de la radio, de la télévision, etc. d'une manière plus équilibrée.

Chapitre 5

Le climat social et l'invention

Comme je l'ai dit au chapitre premier, si on veut comprendre pourquoi certaines périodes ont porté les fruits de l'invention, sans toujours être celles qui ont vu naître les idées fondamentales préparant l'invention, alors il regarder plus loin que de la dynamique propre du processus d'invention. Je voudrais revenir plus en détail sur l'exemple des Grecs.

En Grèce, le quatrième siècle (avant J. C.) fut une des époques les plus fertiles jamais connues, pour ce qui est des idées fondamentales, mais ce ne fut pas une grande période de développement technique pour les sciences, considérées séparément des arts. Au contraire, l'époque hellénistique de la culture grecque, plus tardive, est marquée par des praticiens éminents, Héron d'Alexandrie, Archimède et Ptolémée. Héron fut l'inventeur, ou au moins le prétendu inventeur, de plusieurs des plus anciens automates connus, et il conçut, et apparemment construisit, une turbine à vapeur primitive. Archimède est le fondateur de l'hydrostatique. Selon la légende, il contribua activement à la défense de Syracuse contre les Romains, par d'ingénieuses machines. Ptolémée contribua notablement à l'astronomie et à la géographie, et semble avoir pris une part active à la détermination de la taille et de la forme de la Terre. Pourquoi ces deux périodes, l'athénienne et l'hellénistique, toutes deux appartenant au monde classique antique, furent-elles si différentes, du point de vue de l'invention ?

On peut chercher à expliquer cette différence en paraphrasant et en transformant la maxime de Platon, que dans un état idéal les rois doivent devenir philosophes, et les philosophes rois. Pour qu'une grande période d'invention puisse arriver, il faut que les artisans deviennent philosophes, ou les philosophes artisans. Il n'y avait rien ou pas grand chose dans l'esprit du IV^e siècle grec pour faciliter l'échange entre artisan et philosophe.

Sans vouloir rien retirer à la beauté de la poterie, ni en général à la perfection artistique de l'artisanat athénien, l'artisan de la grande époque athénienne ne faisait pas partie de l'élite sociale, même s'il n'était pas un esclave. Il faut probablement excepter de ce jugement le peintre ou le sculpteur, mais, hormis ce groupe très restreint, on voit bien le peu d'intérêt de l'époque pour le progrès technique à vocation scientifique.

Inversement, le philosophe grec était un citoyen, impliqué dans les affaires de l'état de de la défense, mais non un travailleur manuel. La nature même de la science grecque en témoigne. La science grecque classique consiste en spéculations indépendantes de l'action matérielle, dont le propos est plus la logique du nombre et de la quantité, que de la mesure quantitative et le calcul numérique. Les Grecs traçaient probablement leurs figures dans le sable, et leur méthodes ne furent mises en œuvre, pour ce qu'on en sait, avec aucun outil dont la précision approchât celle du compas et de la règle.

Par une combinaison inhabituelle de logique et d'intuition, les Grecs de l'époque classique furent capables de développer des concepts tels que les rapports irrationnels, les coniques, qui étaient destinées à fructifier seulement deux mille ans plus tard, et ils auraient pu converser, à travers les siècles, avec les acteurs de la science appliquée de la Renaissance et d'aujourd'hui, plus facilement qu'avec leurs propres forgerons et charpentiers.

Il y avait bien eu une époque, en Grèce d'avant la Grèce, où Dédale et les ingénieurs crétois avaient pu communiquer avec les rois et les savants, mais cela était un souvenir presque effacé, et Dédale, dans sa manière de penser, est plus proche de Watt que de Platon.

On ne peut guère exploiter les écrits crétois, mais la civilisation de plombiers de Cnossos témoigne de la légende de Dédale. Pourquoi la civilisation minoenne, dédaléenne, apparut, et pourquoi elle influença si peu l'époque classique, cela ne peut faire l'objet que de conjectures.

Ce grand épanouissement de l'état-cité, qui laissait aux citoyens le loisir de philosopher, et faisait travailler dur les esclaves et les métèques affranchis, disparut dans la catastrophe de la guerre du Péloponnèse, aussi vite qu'il était apparu. L'absorption de l'état-cité dans le super-état international de Philippe et Alexandre acheva sa disparition. Il s'ensuivit la période hellénistique, au cours de laquelle les triomphes de la civilisation grecque furent portés bien au-delà de leurs petites cités-états d'origine, vers un monde où le Grec et le Barbare se rencontrèrent presque sur un pied d'égalité. Alexandrie en Égypte fut le modèle de la cité hellénistique, mais Syracuse en Sicile n'était pas loin derrière. Dans ces nouveaux états, le Grec, l'Égyptien, le Phénicien, le Juif, le Syrien, le Sicilien et l'Italique

se rencontrèrent dans une civilisation urbaine où le grec était la langue dominante et la tradition intellectuelle des grands jours de la Grèce donnait le ton de la pensée, mais où l'isolationnisme de la Grèce dans son ensemble et de ses états-cités en particulier, avait été brisé. Dans ce nouveau monde, Alexandrie et Syracuse préfiguraient Paris et New York d'aujourd'hui. Dans cette civilisation nouvelle, l'artisan et le philosophe avaient commencé à communiquer, et une période limitée de développement scientifique et technique commença.

On a déjà dit que le système social chinois, comme l'hellénistique, favorisait un certain contact entre l'artisan et le philosophe, et constituait un climat modérément favorable à l'invention.

À la fin du Moyen-Âge en Europe, et pendant la Renaissance, le climat social devint à nouveau favorable à l'invention, un peu comme en Chine auparavant. Malgré le pouvoir des seigneurs féodaux, les villes commençaient à affirmer leur puissance, particulièrement en Italie et en Flandres. Dans ces cités, les corporations d'artisans exerçaient une autorité comparable à celle des seigneurs sur leur fief. Même avant le plein essor des villes franches, certains métiers, comme les architectes et les décorateurs de cathédrales, avaient déjà atteint de hautes positions sociales.

Au XVII^e siècle, les villes commencèrent à perdre leur indépendance, bien qu'on puisse considérer l'ascension de la Hollande, ou celle de Cromwell en Angleterre, comme deux grandes conquêtes des artisans et de la classe moyenne. Cependant, en France, qui fut peut-être la puissance dominante de la civilisation occidentale, le pouvoir central du roi et de la cour devint de plus en plus fort.

Si j'aborde ces questions historiques, ce n'est pas tant pour leur intérêt propre, que pour préparer le terrain d'une discussion des relations sociales présentes, en relation avec l'invention. Le XVIII^e siècle est une intéressante période de transition, pour la position de l'artisan, en Angleterre ou en France, et révèle déjà les influences aujourd'hui patentes. En Angleterre, un roi étranger¹ laissa la classe dirigeante whig accaparer la quasi-totalité des richesses et du pouvoir. Les bourgeois souffrirent sous ce joug pendant plus d'un demi-siècle, bien que l'aristocratie qui avait pris le contrôle de l'église, des écoles, des universités, et de l'armée fût elle-même une aristocratie bourgeoise. Par en dessous, cependant, les artisans commençaient à montrer des signes de la constitution d'un nouveau pouvoir. J'ai déjà mentionné Watt, mais il n'y eut pas que lui. La fin du XVIII^e siècle en Grande Bretagne connut de grands ingénieurs des travaux publics, tels McAdam et Tillford. Le peintre et poète Blake fut avant tout un artisan. Dans la peinture satirique de

1. Guillaume d'Orange.

Hogarth, la représentation parallèle du destin de deux apprentis, un industriel et un paresseux, illustre le genre de condition sociale que l'artisan commençait à conquérir.

La plus haute condition atteinte au XVIII^e siècle par un praticien fut probablement celle de Benjamin Franklin. Il fut non seulement un leader intellectuel en Amérique, mais aussi un hôte honoré de la France et même de l'Angleterre. En France, il fut à la fois l'instigateur et le représentant d'un nouveau ferment intellectuel, en action chez les Encyclopédistes, férus de technologie, et qui pénétra même la Cour ; le passe-temps favori de Louis XVI était la serrurerie.

Cela nous mène à l'époque de la Révolution française, dont l'attitude vis-à-vis du scientifique-technicien est partagée, en dehors des activités de bas niveau. Les hommes qui guillotinerent Lavoisier aurait répondu à ses protestations : « La République n'a pas besoin de chimistes. » Malgré cela, je doute qu'on puisse considérer que Lavoisier fut exécuté en tant que chimiste, alors que ses activités de fermier général lui auraient mille fois assuré le sort de victime de la Terreur.

Ce que la Révolution française pouvait avoir de méfiance vis-à-vis de la science fut largement dissipé par l'œuvre de Lazare Carnot, un des rares dirigeants qui survécut à la Terreur, pour mener une vie paisible et respectée sous Napoléon et la Restauration. La France se le rappelle comme l'Organisateur de la victoire. À l'époque délicate où tous les monarques européens faisaient la guerre à la Révolution française, il assura l'intendance des armées. Par exemple, il fit gratter dans toutes les vieilles caves crasseuses de Paris les efflorescences de salpêtre, un ingrédient de la poudre noire, issu de la matière animale contenue dans le sol. En fournissant une aide scientifique à un pays dans la tourmente et la détresse, Carnot se comporta comme Stevin pour la république des Provinces-Unies, deux siècles auparavant².

L'époque de la Révolution française fut presque aussi dangereuse en Angleterre qu'en France pour les intellectuels. Peu après l'exécution de Lavoisier en tant qu'homme de l'Ancien Régime, un autre chimiste, John Priestley, d'Angleterre, fut expulsé de chez lui par la foule, pour ses sympathies envers la Révolution française, et fut contraint de s'exiler en Amérique.

J'ai déjà mentionné un savant américain majeur du XVIII^e siècle, Benjamin Franklin. Pendant la Révolution, un autre savant américain notable prit le parti britannique, et fut le corrupteur de Benedict Arnold. Ce fut Benjamin Thompson, de Woburn, Massachusetts³. Thompson s'enfuit en Angleterre pour sauver

2. Simon Stevin 1548-1620, mathématicien, ingénieur, eut l'idée de recourir à l'inondation comme moyen de défense de la Hollande.

3. Pendant la Révolution américaine, autrement dit, la guerre d'Indépendance, B. Arnold fut

sa peau, tout en conservant un certain intérêt pour son pays, puisque l'académie des sciences de Boston fût fondée par sa volonté. En Angleterre, il fonda le Royal Institute, où fut tenté un véritable rapprochement entre les aspects scientifiques et industriels de l'invention. Des savants comme Sir Humphry Davy et Michael Faraday y trouvèrent le cadre de leurs activités.

Au passage, pour illustrer l'intrication du monde scientifique d'alors, bien différente de celle d'aujourd'hui, Benjamin Thompson, après la mort de sa première femme originaire de Concord (alors Rumford) épousa la veuve de Lavoisier, sans bonheur par la suite. Thompson, malgré tout son sens de l'observation et son adresse, était passablement arriviste, et termina comme ministre de la police de l'électeur de Bavière, sous le titre de comte Rumford. Ce Yankee continua de déployer ses capacités de combinaison de l'intérêt scientifique et du savoir faire technique, dans son étude du dégagement de la chaleur par le perçage d'un canon. Les visiteurs de Munich trouveront une marque de la vie de Rumford, au jardin anglais, le grand parc de la ville, en fait fondé non par un Anglais, mais par un Yankee du Massachusetts.

Une des considérations les plus intéressantes dans la sociologie de l'invention concerne la relation entre les éléments technique et purement scientifique. Le meilleur équilibre en la matière fut sans doute réalisé dans l'œuvre de Michael Faraday et de son plus jeune collègue James Clerk Maxwell. Faraday, qui fut assistant de laboratoire du chimiste Sir Humphry Davy, développa une théorie de l'électricité basée sur un langage imagé, ou, pour ainsi dire, des figures de langage. Maxwell, qui, au contraire de Faraday, était à l'origine un mathématicien universitaire, prit les idées de Faraday, et les exprima sous une forme mathématique précise. Il établit ainsi l'identité entre la lumière et l'électricité et ouvrit la voie à l'étude des ondes par Heinrich Hertz, puis la télégraphie, et enfin la radio. Ce fut juste avant ou autour de la moitié du XIX^e siècle que la physique newtonienne commença à être accessible à l'ingénieur mécanicien, en particulier en Grande Bretagne. Il faut citer Peter Tait⁴ et William Thomson. Thomson, plus tard lord Kelvin, est un merveilleux exemple de la synthèse qui commençait à s'opérer entre la science théorique et l'industrie. En fait, il fut un des plus grands physiciens de son temps, mais aussi un industriel de premier plan, et fit fortune dans l'industrie du câble, et dans d'autres secteurs industriels à contenu scientifique.

Il est aujourd'hui impossible de penser à lord Kelvin, sans penser à lord Ray-

un officier tout d'abord indépendantiste, puis loyaliste et B. Thompson (1753-1814) fut un espion loyaliste.

4. Peter Guthrie Tait 1831-1901, mathématicien et physicien écossais.

leigh, peut-être encore meilleur scientifique, et dont le titre était de famille, au contraire de celui de lord Kelvin, anobli pour ses travaux. Les deux démontrent le prestige atteint par les scientifiques au milieu du XIX^e siècle et représentent une combinaison extraordinairement réussie de capacités théoriques et pratiques. À cette époque, le développement d'écoles d'ingénieurs devint inévitable, et même si l'Angleterre ne fut jamais vraiment au niveau du continent et de l'Amérique sur ce point, l'influence de Kelvin, Rayleigh, et d'autres, se retrouve dans le système éducatif, en Angleterre ou ailleurs. À part l'École Polytechnique en France, une école militaire à la base, la plupart des écoles d'ingénieurs dans le monde, y compris le Royal College of Science de Londres, le Massachusetts Institute of Technology, la Technische Hochschule de Berlin et celle de Zurich, datent de cette époque, vers le milieu du XIX^e siècle.

Ce fut, pour ainsi dire, l'âge des lords de la science en Angleterre. Dans les pays germaniques, la condition des scientifiques avait atteint un niveau presque aussi élevé, et quelques savants allemands eurent des carrières semblables à celles de leurs homologues anglais, combinant aptitudes théoriques et pratiques. Le premier exemple qui me vient à l'esprit est celui du physiologiste, mathématicien et physicien Hermann von Helmholtz. En fait, je devrais mentionner également l'invention du télégraphe par Carl Friedrich Gauss et Wilhelm Weber à Göttingen. Comme la plupart de ces savants allemands de haut rang furent nommés Geheimrat ou conseillers privés, on peut dire que l'âge du lord en Angleterre est aussi celui du Geheimrat.

Chapitre 6

Le climat scientifique au début du XX^e siècle

L'âge d'or de la science en Angleterre et du Geheimer Rat en Allemagne ne connut pas le moindre conflit d'intérêt entre le scientifique pur, le technicien et l'industriel. Les trois s'accordaient pour se démarquer, d'une part, de la vieille aristocratie militaire et agraire, d'autre part, de l'érudition classique traditionnelle, que l'aristocratie avait considérée comme la seule digne d'un gentilhomme. Ainsi, le développement de l'enseignement technique et la politique d'industrialisation scientifique de l'Allemagne de Weimar étaient acceptables pour tous trois.

À cela il faut ajouter que pendant la dernière partie du XIX^e siècle, période d'exploitation par excellence, les ressources accumulées en deux siècles de physique newtonienne, et la chimie qui en découlait, venaient d'être mises à la disposition de l'industrie ; de nouvelles mines, forêts et continents commencèrent à être exploités, sans souci du fait qu'ils ne dureraient pas indéfiniment, au moins dans leur nouveauté et leur abondance premières. Ainsi, le scientifique, l'inventeur et l'industriel travaillèrent de concert, sans conflit d'intérêt.

Ce fut la grande époque du brevet d'atelier : l'inventeur était considéré comme un homme mettant au point dans un atelier, le sien ou celui de son employeur, un nouveau dispositif, qui, s'il fonctionnait, était une importante découverte, et remplissait les caisses de l'industriel, sans qu'il fût besoin d'un procédé de fabrication optimal, ni de marquer les esprits par la publicité.

Le pur scientifique, si l'homme de la rue et l'industriel s'en souciaient jamais, était un homme de condition modeste et sans grande influence, une sorte de poète de l'industrie, auquel pouvait être accordée la même indulgence pitoyable qu'au poète et au peintre, et la liberté de pensée qu'il lui fallait, simplement parce qu'on

ne lui accordait aucune importance.

Dans la grande expansion américaine qui suivit la guerre de Sécession, lorsqu'on laissa à nouveau les gens s'enrichir en paix, un élément nouveau vint perturber le jeu de l'invention. Cet élément nouveau fut apporté par Thomas Alva Edison. De tous les inventeurs, il fut probablement celui qui frappa le plus l'imagination de l'Amérique, voire du monde. Au début de sa carrière, il appartenait plutôt à la catégorie des inventeurs d'atelier. Par exemple, son travail sur le télégraphe multiplex consistait davantage en un ingénieux assemblage d'éléments résultant de principes scientifiques déjà solidement établis, qu'en l'introduction de nouveaux principes. On peut en dire autant du phonographe, de l'ampoule à incandescence, qui demandèrent, en particulier pour la dernière, une recherche pédestre parmi une multitude de matériaux, plutôt qu'une quelconque idée nouvelle. Cependant, à côté de l'ampoule électrique, il découvrit ce que je présenterai plus tard comme sa plus grande contribution scientifique, celle qui ne lui rapporta pas un centime. Ce fut l'effet Edison, selon lequel, en présence d'un filament chauffé, le vide d'une ampoule électrique devient conducteur¹.

Cependant, la plus grande invention d'Edison ne fut pas scientifique mais économique. Ce fut l'invention du laboratoire de recherche industriel, dans lequel une équipe de techniciens qualifiés, en nombre modéré, était dirigée par un cerveau central, dont la fabrication d'inventions était l'occupation quotidienne. À cette époque où la responsabilité morale de l'employeur était moins clairement délimitée, et avant que les syndicats eussent gagné pas mal de terrain sur le patronat, Edison pouvait être, et était, un maître tyrannique. Il prenait grand soin que chaque invention sortant de son laboratoire fût connue du public sous le nom d'Edison, sans référence au scientifique qui en avait eu l'idée et avait été chargé du travail. Il était un maître patenté en affaires et en marketing, et il adopta comme image de marque un certain bon sens populaire, qu'il ne fut pas le dernier à exploiter.

Il fut suivi, longtemps après, par d'autres industriels et organisations industrielles, qui poussèrent beaucoup plus loin son concept de laboratoire industriel. Parmi elles, la société General Electric, le groupe Westinghouse, et les laboratoires de Bell Telephone. Mais alors l'âge d'or de l'exploration indisciplinée était pour l'essentiel achevé, et ces organisations furent à la fin contraintes d'adopter une politique plus éclairée de reconnaissance des inventeurs et des scientifiques placés sous ses ordres.

À la fin du XIX^e siècle, comme j'ai déjà dit à propos de Gibbs, débute une nouvelle ère de la science. Juste avant le tournant du siècle, on se vantait, quoique

1. Cette conductivité caractérise précisément un plasma.

plaintivement, qu'il ne resterait rien d'autre à faire aux physiciens des générations futures que de mesurer des quantités déjà connues avec deux ou trois décimales. Ces discours furent réduits en poussière, dans la bouche de ceux qui les avaient prononcés, et de leur vivant. Les innovations de Gibbs, Planck, Einstein révélèrent que la synthèse newtonienne de la science, tout comme la synthèse aristotélicienne au XVII^e siècle, était incompatible avec les résultats expérimentaux récents. Une nouvelle ère débutait, confrontant les scientifiques à de nouveaux phénomènes, dont le caractère échappait au langage ancien. Ainsi, dans la première décennie du siècle, le scientifique porté vers l'abstraction, doté d'une personnalité totalement différente de celle de l'artisan-inventeur d'antan, découvrait nombre de phénomènes totalement nouveaux, que la technologie devrait finalement prendre en compte.

En même temps, l'industrie du téléphone, fondée dans la période précédemment discutée, et qui débuta comme une invention d'atelier à la Edison, typique de l'invention américaine au XIX^e siècle, subit une série de mutations, semblables, à plus petite échelle, à celles qui touchèrent la science en général. Ces mutations sont suffisamment remarquables pour être rapportées en détail, et peuvent servir, pour le lecteur non-scientifique, d'illustration compréhensible de l'installation d'un climat intellectuel de « fin de siècle ».

C'est seulement un petit nombre de fois par siècle qu'une industrie est confrontée à une mutation vitale. Pas plus d'un quart de siècle après la première et très polémique série d'inventions qui culmina avec les brevets de Bell, l'industrie du téléphone se retrouva confrontée à une telle situation.

Au début, la nature-même du téléphone était suffisamment révolutionnaire pour éluder les questions fondamentales. Les premières expériences de l'industrie de la communication électrique utilisaient du matériel de qualité douteuse, dont le fonctionnement était quelque peu miraculeux. Ainsi, les premiers télégraphes, peu après leur conception, furent utilisés communément sur des miles ou des centaines de miles, plutôt par des techniciens que des scientifiques.

Le premier revers de quelque importance de ce comportement bestial fut l'échec du premier câble transatlantique. Aujourd'hui, on sait que ce câble aurait pu fonctionner pendant des années, s'il n'avait grillé dès le début, suite à ce qui apparaît aujourd'hui comme une tentative stupide de forcer sa capacité de communication, en augmentant la tension, ce qui ne pouvait avoir pour effet que de causer un claquage, quelque part au fond de la mer.

À part cet échec, la recherche et développement en télécommunication démarèrent favorablement, par le système de la télégraphie multiplex. Comme pour le téléphone, ce dispositif fut conçu initialement pour les commerçants et profes-

sionnels d'une même ville, et non pour concurrencer le télégraphe interurbain.

Au début du XX^e siècle, cependant, le téléphone interurbain était entré dans les mœurs, et les opérateurs commençaient à chercher de nouveaux marchés. Je dis les opérateurs, parce que, à cette époque, il n'y avait pas de lien physique entre eux, même s'ils étaient géographiquement voisins. En fait, ils partageaient seulement un ensemble de brevets, et, dans une certaine mesure, le financement de certains investisseurs. Même dans une même ville, il y avait souvent des opérateurs concurrents, et, bien que la séparation mutuelle de leurs services fût une nuisance, on n'y voyait pas davantage de mal.

Vers 1900, l'industrie du téléphone commença à faire un bilan, et à considérer les communications interurbaines, en plus de communications intra-urbaines. Dans le système téléphonique Bell, une nouvelle société, American Telephone and Telegraph, fut fondée pour exploiter ces nouvelles possibilités, que je vais présenter techniquement.

Le premier téléphone de Bell avait en commun avec les inventions contemporaines de Amos Dolbear et d'autres la limitation que l'énergie disponible à la réception n'était qu'une fraction de l'énergie de la voix introduite à l'émission. C'est pourquoi le microphone à induction électromagnétique de Bell fut utilisé pendant si peu de temps, et c'est aussi pourquoi le microphone à induction électrostatique de Dolbear ne fut pas commercialisé, avant l'époque de la radio moderne.

Par chance, la jeune industrie rencontra dès le début le microphone à charbon, instrument de nature très différente. Dans celui-ci, l'énergie est reçue par un circuit comprenant des batteries, dont le courant est modulé par la résistance variable, due à la pression d'air variable, causée par la voix, et transmise par une pile de granules de charbon. Ce système peut délivrer une énergie bien supérieure à celle délivrée à l'origine par la voix. Bref, le microphone à charbon est une résistance variable, agissant comme un puissant amplificateur. Ce fut cet effet d'amplification qui conduisit à son introduction, même si l'amplification était alors un phénomène si isolé qu'il n'était pas compris théoriquement. Ainsi, un ange gardien se pencha sur le berceau du téléphone, et laissa un cadeau dont la valeur ne fut comprise que bien plus tard.

La téléphonie locale ne souffrit pas au départ du manque de puissance, et, en fait, ce problème n'était pas le facteur critique de la téléphonie à longue distance. En accroissant la distance, bien avant que la voix devienne trop faible par dissipation d'énergie, elle devenait incompréhensible. Autrement dit, la distorsion, et non l'atténuation, était la première difficulté à surmonter dans les communications interurbaines.

Dans plusieurs pays, on avait commencé à discuter les problèmes techniques

et scientifiques liés à la distorsion, tout particulièrement en Angleterre. Tous les pays n'ont pas le même culte de l'entreprise privée que les États-Unis. À la fin des années 1880, le système téléphonique britannique fut repris par la poste. Le fonctionnaire responsable de la branche technique de la poste, énergique, mais pas trop intelligent, était l'ingénieur William Henry Preece, qui fut plus tard anobli.

Preece s'était mis en tête que les difficultés de la communication à longue distance étaient dues au fait que les circuits électriques d'alors avaient un défaut de capacité, propriété désignant la capacité à accumuler une charge électrique, croissant avec la tension appliquée. Il existe une analogie verbale entre la capacité électrostatique et la capacité de transmettre un message, et ce mauvais jeu de mot est tentant pour un esprit superficiel.

En réalité, la capacité, loin d'être l'alliée de l'ingénieur des télécommunications, est son pire ennemi. Les câbles transatlantiques, y compris les premiers qui n'avaient pas fonctionné, étaient de gigantesques bouteilles de Leyde, qu'il fallait remplir totalement, avant qu'une modification à un bout puisse être observée à l'autre bout. L'ignorance de ce phénomène causa la débâcle du premier câble transatlantique.

L'Anglais William Thomson, le futur lord Kelvin, déjà présenté, comprit qu'en raison de cette grande capacité, l'équipement de réception devait être capable de détecter une infime augmentation de tension à la sortie du câble. Il y parvint à l'aide d'un galvanomètre à siphon, sensible, qui fut la base de l'instrumentation pour le câble pendant plus d'une génération.

Thomson ne dut pas apprécier les débordements d'ignorance et d'autorité de Preece. Cependant, la mouche du coche, qui poursuivit ce malheureux Preece, ne fut pas Thomson, mais un petit électricien minable, affamé, sourd et irascible, du nom d'Oliver Heaviside, qui fréquentait les réunions de l'Institution of Electrical Engineers, et qui envoyait des notes à *The Electrician*, écrites dans un style swifzien. Elles étaient si efficaces qu'une réprimande de Heaviside était aussi brûlante qu'un coup de fouet.

Heaviside naquit pauvrement, vécut pauvrement, et mourut pauvrement ; il était sincère, courageux, et incorruptible. En plus, il savait utiliser le peu de mathématiques disponibles à l'époque pour un ingénieur électricien, avec une adresse peu orthodoxe, qui devait déconcerter toute une génération de mathématiciens.

Heaviside attaqua le problème de la distorsion à la racine. Il n'était pas le seul à avoir vu le problème, mais il était le premier à le considérer précisément et systématiquement avec un formalisme adapté à la nouvelle technologie.

Selon lui, pour éviter la distorsion dans un circuit, il fallait réaliser un équilibre délicat entre quatre quantités : la résistivité de la ligne, la fuite à la masse, la

capacité électrostatique, et une certaine quantité, semblable à une inertie, dénommée inductance. Même si un fil rectiligne a de l'inductance, un bobinage d'aimant électromagnétique en a beaucoup plus.

Heaviside (contredisant Preece) prétendit que le câble ordinaire avait trop de capacité, et non pas assez, et qu'une voie d'amélioration consistait à introduire plus d'inductance en ligne. Preece enragea ouvertement, mais cette mouche du coche, cette guêpe, ne se laissait pas impressionner. Avec l'aide de son frère, ingénieur à la poste, Heaviside, pour tester ses théories, utilisa clandestinement une ligne à longue distance de la poste, en dehors des heures de service. Cet essai ne fut pas concluant, mais les conditions de réalisation n'étaient pas suffisamment propres pour réfuter les idées auxquelles croyait Heaviside.

Ces idées furent publiées tout d'abord dans *The Electrician*. Plus tard, plusieurs de ces papiers furent réunis dans une série de livres publiés par Appleton, qui regretta cette publication, parce que les livres se vendirent mal. Une génération plus tard, l'édition originale, et au moins trois éditions piratées, devinrent un must de la bibliothèque de tout ingénieur des télécommunications. Une des éditions piratées fut imprimée en Chine.

On reconnut progressivement que Heaviside avait raison, et que la ligne sans distorsion était le premier pas vers la téléphonie à longue distance. À cette époque, cependant, dix ou quinze ans avaient passé, bien plus que le temps requis pour lancer la procédure de demande de brevet. L'invention était passée dans le domaine public, ce qui veut dire qu'elle n'eut pas d'existence commerciale, et qu'aucun droit ne pouvait en être réclamé de quelque manière. Ce fut sur la base de cette invention que la toute jeune société American Telephone and Telegraph (AT&T) entreprit de fonder la technique des lignes à longue distance. Il n'était pas possible d'acquérir des droits d'exploitation pour l'idée, qui pouvait être exploitée librement par n'importe quel entrepreneur qui le souhaitait.

Il faut rappeler que les diverses alternatives techniques à la ligne sans distorsion, développées depuis lors, n'étaient pas à la disposition des fondateurs d'AT&T. J'ai déjà dit que le microphone à charbon était essentiellement un amplificateur. Certaines des premières lignes d'AT&T l'utilisaient ainsi, en incorporant des stations de répétition, où un récepteur téléphonique était placé devant un microphone à charbon, pour compenser l'affaiblissement du signal. Cependant, ce système n'était pas satisfaisant, du point de vue de l'amplification, ni du point de vue de la fiabilité. C'était simplement ce qu'on pouvait faire de mieux alors, un bricolage intelligent et provisoire, permettant de patienter du début de la téléphonie à longue distance jusqu'à la découverte du tube à vide, performant et fiable.

Le tube à vide a une position atypique dans l'histoire de l'invention. Il émergea

d'une situation compliquée, au niveau des brevets, avec des demandes de Lee De Forest et Sir John Fleming, mais la découverte originale n'émanait ni de l'un ni de l'autre. C'était une application de l'effet Edison, dont j'ai déjà parlé². Edison découvrit que le courant pouvait passer à l'intérieur d'une ampoule électrique, entre un filament et une autre électrode, uniquement si le filament était chaud.

D'un point de vue commercial, la découverte était trop précoce. Les ondes hertziennes venaient d'être découvertes, et on était encore loin de pouvoir supposer qu'elles serviraient à la télégraphie sans fil. Ainsi l'invention d'Edison, comme le travail d'Heaviside, passa à côté d'un brevet, parce que l'état de la technique n'en permettait aucune application, et servit principalement à alimenter une procédure judiciaire ultérieure sur la télégraphie sans fil.

Pour revenir à Heaviside, il était absolument nécessaire, pour ceux qui allaient développer un réseau à longue distance, de s'approprier quelques droits, qui puissent être interprétés comme s'appliquant à la ligne sans distorsion inventée par Heaviside. Sans ces droits, ils auraient certainement été incapables de conserver l'exploitation exclusive des idées nouvelles, afin de sécuriser le pari important et risqué dans lequel ils s'étaient engagés. Ils auraient même pu se retrouver en mauvaise posture, si quelqu'un avait fait une invention fondamentale qui pût les priver de toute prétention légale à exploiter leurs idées – car cela arrive. Ce qui arriva est intéressant, à la fois techniquement et moralement, bien que je préfère laisser au lecteur le soin d'en tirer sa propre morale.

Naturellement, la compagnie téléphonique fonça dans le développement des idées de Heaviside, en regardant s'il n'y avait pas un point qui lui aurait échappé, et qui pourrait servir de base à une nouvelle demande de brevet. Pour cela, elle fit appel à un de ses hommes, Campbell, et à des scientifiques extérieurs, dont le chef de file fut Michael Idvorsky Pupin. Son livre, *From immigrant to inventor*³, fut en son temps presque la bible de l'écolier américain qui rêvait de réussir dans l'invention.

L'objet des recherches de Campbell et Pupin était de trouver en quoi le travail de Heaviside pouvait être incomplet, sinon faux. Heaviside avait développé sa théorie en premier lieu pour une ligne continûment chargée, mais il était conscient que les inductances à ajouter pour corriger la distorsion devaient presque certainement être réparties périodiquement. Il suggéra un espacement d'environ un mile, qui, en fait, n'était pas loin de la vérité.

Il ne précisa nulle part les principes de calcul du plus grand espacement admis-

2. Ch. 6, p. 50.

3. Prix Pulitzer 1924.

sible entre les bobines. À la fois Campbell et Pupin exploitèrent ce point obscur de la théorie de Heaviside, et trouvèrent que, pour un certain espacement, et pour des fréquences inférieures à un certain seuil, la ligne se comportait essentiellement comme une ligne continue. Les fréquences supérieures au seuil, en revanche, étaient bloquées par les réflexions successives sur les bobines.

Campbell était probablement en avance sur Pupin, mais comme il était déjà employé par AT& T, il semblait possible qu'un brevet à son nom n'aurait pas la même valeur probante, devant un tribunal, que le brevet d'un inventeur indépendant. C'est pourquoi AT& T paya un demi-million de dollars à Pupin pour ses divers brevets. À part l'espacement des bobines, ils contenaient diverses revendications, sur le procédé de fabrication des bobines toroïdales, déjà décrites par Heaviside.

Pupin et Campbell poursuivirent leurs travaux. Les développements ultérieurs de Campbell furent clairement les plus profonds et les plus généraux. Une possibilité astucieuse, convoitée indépendamment par les deux inventeurs, fut de convertir les désavantages de la ligne à chargement discret en avantages, à des fins diverses. Il fut prévu que, dans certains cas, l'existence d'une fréquence de coupure serait un avantage, plutôt qu'un désavantage. Ceci conduisit au développement de la théorie du filtre d'onde, qui laisse passer les messages seulement dans une certaine bande de fréquence. Pendant de nombreuses années, en effet, la théorie des filtres d'onde resta influencée par la théorie de la longue ligne chargée, dont elle était issue. Seuls des développements récents assez poussés sur le filtrage ont permis d'éliminer ces vestiges théoriques anciens.

Avec ces brevets, le système Bell avait atteint son but principal, et il restait seulement à faire le ménage. Les ingénieurs de Bell éprouvaient une hostilité considérable envers Pupin. Ils pensaient qu'il avait spolié, non seulement Heaviside, mais aussi Campbell. Cependant, le problème de Campbell était une affaire de famille, qui pouvaient être étouffée, et le fut, au moins vis-à-vis de l'extérieur.

Il restait la question plus fondamentale : que faire de Heaviside ? D'une part, il aurait pu porter une plainte, qui, aussi faible fût-elle entre ses mains, aurait pu représenter une menace sérieuse, si quelque puissant concurrent essayait de racheter ses droits. D'autre part (au moins c'est mon avis), les gens de Bell eux-mêmes, qui étaient après tout des ingénieurs, et avaient un respect considérable et justifié pour Heaviside, ne voulaient pas le laisser les mains vides. Ce qui n'était qu'une peccadille pour la compagnie, était une question de vie ou de mort, de subsistance alimentaire, pour ce pauvre Heaviside, dont la surdité croissante et le caractère difficile faisaient qu'il avait de plus en plus de mal à trouver un emploi. Les gens de Bell lui proposèrent une gratification, sans doute significative du point

de vue de l'intéressé.

Heaviside déclina la proposition platement, en refusant d'accepter un centime tant que la compagnie ne reconnaîtrait pas qu'il était le véritable et unique inventeur de la ligne chargée. Cela, la compagnie ne pouvait le faire, car la totalité de l'investissement d'un demi-million de dollars dans Pupin serait devenu inutile.

Je ne veux pas laisser penser que traiter avec Heaviside fût une partie de plaisir, même dans les circonstances les plus favorables. Comme beaucoup de sourds, il était très individualiste, et hérissé comme un porc-épic. Ceux qui essayèrent de l'aider dans les périodes difficiles ne trouvèrent pas en lui une personne prête à accepter des faveurs. J'ai parlé à B. A. Behrend, qui rendit visite à Heaviside dans sa petite maison de Torquay, pour le persuader d'accepter une distinction de l'American Institute of Electrical Engineers. Heaviside était récalcitrant. Ce fut seulement lorsqu'il comprit que Behrend, son ami, serait très blessé s'il refusait, qu'il accepta de recevoir le prix. Les représentants de la British Institution of Electrical Engineers eurent une expérience analogue.

Même si Heaviside n'était pas franchement aimable, il voyait juste. En fait, il était l'inventeur du système sur lequel tout l'avenir de Bell Telephone reposait. S'il ne pouvait obtenir la reconnaissance de ses mérites, au moins pour assurer ses vieux jours, il n'allait pas se faire complice d'un mensonge, par-dessus le marché. Il eut la triste satisfaction de causer aux dirigeants de la compagnie téléphonique plus de souci qu'ils ne pouvaient lui en causer de leur côté. Un homme qui a essentiellement renoncé au monde et accepté la pauvreté est invulnérable.

Les sociétés commerciales n'ont pas de susceptibilité propre, et il n'y a pas de place pour les sentiments chez leurs dirigeants, mais il y eut au moins un homme qui souffrit, et même gravement. Alors que Heaviside jouissait sardoniquement de son incorruptibilité, Pupin était vraiment en mauvaise posture. Il avait accepté un demi-million de dollars, qui était légalement sien, pour une invention qui n'était sienne que dans un sens très pickwickien.

Ce demi-million était déjà passé, et même si Pupin avait voulu le rendre, ce dont je doute fort, je ne vois pas comment il aurait pu le faire. Ainsi, qu'il le souhaite ou non, il devait souscrire à l'accord qui l'avait enrichi. Cependant, au fil du temps, son ego demandait de plus en plus de fortification, et dans ses livres il commença à magnifier son rôle, et à minimiser celui de Heaviside. Cela n'était pas noble, mais très, très humain. De plus, comme j'ai dit, chez Bell même, quelle que soit l'opinion des dirigeants sur le coup magistral par lequel ils avaient pris le contrôle légal de la situation, les ingénieurs n'étaient pas tendres avec Pupin. Ainsi, Pupin commençait à se sentir à l'étroit dans ses chaussures, et il n'avait pas la carrure pour supporter cette étrange combinaison de triomphe commercial

et de faillite morale, sans protester de plus en plus. En lisant entre les lignes, *From immigrant to inventor* n'est pas une classique « success story », mais une plainte infernale.

Les circonstances avaient réuni les mythes de Prométhée et du Dr Faust de Marlowe. Heaviside a pu être un Prométhée faiblard de classe moyenne inférieure, mais au moins il a conquis un morceau de feu pour l'humanité. Si les vautours de la pauvreté et le sentiment de persécution lui mangeaient le foie, il partageait avec Prométhée le sentiment d'avoir accompli un acte divin. Pupin, au contraire, avait vendu son âme dans un lot commercial. Chaque fois qu'une âme est achetée, c'est le diable qui en est le consommateur final. Même une pénitence publique ne fut pas permise à Pupin. Bien qu'il fût incapable de se taire, les mensonges et la vantardise auxquels il fut forcé doivent avoir résonné dans la cavité de son âme.

Chapitre 7

L'environnement social contemporain de l'invention : la technoscience

Au cours des deux premières décennies de ce siècle, la nouvelle physique non-newtonienne, en expansion, n'eut guère d'occasion de contaminer les sources de l'invention avant le début de la Première Guerre mondiale. La science de cette guerre fut évidemment orientée par des nécessités technologiques à court terme. En fait, la plupart des nouveautés technologiques de cette période remontent à la science du dernier quart du XIX^e siècle. Comme je l'ai indiqué, la téléphonie appelait une modernisation des mathématiques des circuits électriques. En même temps, la découverte par Maxwell de l'identité quantitative de la lumière et de l'électricité, qui avait déjà trouvé une application dans les ondes hertziennes, fut pleinement utilisée pour la télégraphie sans fil de Guglielmo Marconi.

Le tube à vide, descendant direct de l'effet Edison, commençait seulement à se développer pendant la guerre. On commençait juste à bien savoir se servir du moteur électrique, en particulier à faible puissance. La technique électrique plus fine du radar ne fut découverte que peu avant le début de la Seconde Guerre mondiale, et le nouveau phénomène de la radioactivité, et même celui un peu plus ancien des rayons X, en étaient à des applications plus ou moins rudimentaires. La Seconde Guerre mondiale, pendant laquelle les études nucléaires de la décennie précédente conduisirent à la bombe atomique, produisit la première technologie véritablement issue de la science du XX^e siècle.

Pendant toute cette période, cependant, le laboratoire de recherche s'était imposé comme le lieu de l'invention, non seulement en Amérique, mais aussi en

Europe. Les premiers laboratoires de recherche industriels apparurent en fait en Allemagne dans le secteur de la chimie. Le concept de laboratoire de recherche non seulement se répandait, mais changeait d'échelle, jusqu'à atteindre le stade de laboratoire-usine.

Plusieurs facteurs jouèrent un rôle dans la convergence du laboratoire vers l'usine. Le travail de Kammerlingh Onnes en Hollande, sur la liquéfaction des gaz, avait demandé une installation de taille sans précédent. (Je dois dire que les progrès techniques depuis Onnes permettent de reproduire ce travail à une échelle raisonnable.) Les laboratoires de Bell Telephone, Westinghouse et General Electric chez nous, ainsi que Siemens en Allemagne, avaient atteint une taille considérable, non seulement en superficie et en personnel, mais aussi en équipement. Petr Kapitsa, dans les années 1930, d'abord en Angleterre, puis dans sa Russie natale, en tant que captif semi-volontaire¹, avait réalisé des expériences sur le magnétisme, consistant à court-circuiter soudainement une lourde machinerie, et il fut l'un des premiers à approcher l'échelle d'expérimentation utilisée aux États-Unis pendant la Seconde Guerre mondiale pour le projet Manhattan et le développement de la bombe atomique.

À cette époque, on avait commencé à utiliser la science moderne avec parcimonie pour l'invention. Aux laboratoires de Bell Telephone, Clinton Davisson et Lester Germer avaient vérifié le caractère ondulatoire de l'électron, prédit par Heisenberg en 1925. Vers 1921, Sir John Cockroft et Ernest Walton avaient fait les premiers pas vers la fission de l'atome, en passant de la désintégration atomique, phénomène incontrôlable, découvert par les Curie², à un processus contrôlable. Au moment où la première bombe était prête à exploser, il était clair que l'invention du monde futur dépendrait pour une large mesure de la nouvelle science, et même de la science future.

Ce changement doit avoir consterné les industriels, dès qu'ils en prirent conscience, et même chez l'homme de la rue, pour autant qu'il lui fut permis d'en prendre conscience. L'inventeur ne serait plus l'homme d'atelier, avec lequel l'industriel avait coutume de traiter. Le pur scientifique, avec ses notions et notations incompréhensibles, ne serait plus cet individu détaché du monde et inoffensif, identifié comme tel par l'industriel. Au contraire, il était devenu le dépositaire de pouvoirs étendus et potentiellement destructeurs. S'il se mettait en tête de contrôler ces pouvoirs compris par lui-seul, il pourrait bien faire obstacle à ce que l'in-

1. Kapitsa, en rentrant dans son pays dans les années 1930, pouvait se douter qu'il aurait du mal à en ressortir. Ses relations avec le pouvoir soviétique furent pour le moins délicates.

2. Plus exactement, par par Henri Becquerel.

dustriel considérait alors comme son droit naturel, le contrôle complet des affaires publiques.

Jusqu'à l'entre-deux-guerres, la science en général n'avait guère tenté l'homme jeune et ambitieux, à quelques exceptions près. Les alchimistes fabricants d'or de la cour de l'empereur Rodolphe peuvent être considérés comme les précurseurs des scientifiques affairistes d'aujourd'hui, avec leur exigences matérielles croissantes. Cardan est dans le domaine scientifique un spécimen d'aventurier de la Renaissance, aussi typique que Cellini dans le domaine artistique. Même le grand Leibniz lorgnait du côté de l'aventure.

Cependant, c'est bien notre Yankee Ben Thomson de Woburn qui apparaît comme le précurseur presque idéal de l'aventurier scientifique, typique des grands projets modernes. Là où est la charogne, les mouches bourdonnent, et là où est l'argent, les aventuriers, ou, pour employer un mot plus coloré, les escrocs, s'affairent.

L'escroquerie de Benjamin Thomson fut d'abord de se faire bien voir par le gouvernement aristocratique anglais en Amérique, incarné par le gouverneur Wentworth du New Hampshire. Plus tard, après avoir dû fuir vers l'Angleterre, il établit sa demeure spirituelle sous le patronage de l'aristocratie Britannique, puis de l'électeur de Bavière. Depuis lors, la cote des rois et des aristocrates a baissé, et celle des milieux d'affaires a monté. Ce ne fut pas avant la période précédant le début de la Première Guerre mondiale, et l'entre-deux guerres, que la carrière scientifique devint suffisamment attractive pour ces messieurs qui font fortune de leur intelligence.

Après tout, la carrière de l'ascète présente au moins l'avantage que personne n'est tenté de profiter indûment de ses biens matériels. Cependant, on n'a pas eu besoin d'attendre longtemps dans ce siècle pour s'apercevoir que le commerce, l'industrie, l'ingénierie avaient une porte dérobée non fermée à clé, objet de tentation pour celui qui est porté vers l'expérimentation. Le rôle du scientifique dans l'industrie croissait, et commençait à fournir un ticket d'entrée dans les cercles du pouvoir, à ces messieurs qui n'avaient rien d'autre à investir que leur intelligence. J'ai déjà donné un exemple d'aventurier scientifique en la personne de Michael Idvorsky Pupin.

Je dois maintenant conclure sur la psychologie du jeune scientifique ambitieux, sans pouvoir m'appuyer sur aucun cas particulier, bien qu'il me semble que ce que j'ai à dire soit évident, à la vue de la situation globale.

Ces hommes jeunes, car ils le furent tous à un moment, semblent manquer de confiance en la capacité de l'esprit et en général douter de l'existence de ce qui pourrait s'appeler proprement un idéal. Malgré cela, ils semblent bien décidés à

faire leur chemin.

Certains débutèrent par l'approfondissement de la science pure, et, dans une certaine mesure, y réussirent. Cependant, presque tous, sans connaître la misère noire, avaient vu autour d'eux suffisamment d'éléments de pauvreté pour décider au moins qu'elle ne serait pas une calamité qu'ils accepteraient sans broncher.

Leur seul investissement était leur cerveau, et ils s'assurèrent dès le début que cet investissement leur rapporterait de bons dividendes.

Pour plusieurs d'entre eux, il y eut un moment de leur carrière où il pouvait choisir l'une ou l'autre direction – le dévouement à la science pure, ou au pouvoir, et à sa représentation matérielle, l'argent. Ils découvrirent, cependant, que Mammon est un dieu jaloux. Je soupçonne que dans plus d'un cas, les Benjamin Thompson d'aujourd'hui évaluèrent froidement leurs capacités, et en vinrent à la conclusion que le premier rang en science, avec ce que cela demande de dévouement et d'intelligence, n'était pas pour eux. Je soupçonne en outre que souvent cette évaluation était associée à un profond sentiment d'infériorité, remontant à leur jeunesse.

En tous cas, ces brillants individus firent leur bon pain du laboratoire-usine émergeant. Ils redoutaient à juste titre la valeur d'autres scientifiques et ne pouvaient pas se sentir en sécurité dans aucun groupe de savants qui ne fût pas rendu impotent par la subdivision des tâches et la rétention d'information.

Je ne veux pas dire que ce fut un reniement pleinement conscient de la science classique. La nouvelle génération croyait ce qu'elle voulait croire, que la technologie nouvelle du laboratoire à la Edison avait supplanté l'intelligence individuelle et rendu le dévouement inutile. Ils admiraient franchement la machine qui remplaçait l'homme et l'attaque en masse qui renvoyait les hommes dans l'anonymat.

Pour parvenir à leurs fins, ces prophètes de la science industrielle devaient prendre le contrôle de l'organisation de la science. Probablement justifiaient-ils leur projet comme la voie du progrès. Néanmoins, les méthodes employées ne furent pas éloignées de celles du peu recommandable Alphonse Capone.

Dans l'organisation de la science, certaines sociétés et académies, qui se partageaient les rôles de conseil technique au gouvernement en temps de crise et de distinction du mérite, avaient une certaine dignité et une certaine autorité. Dans la période de paix suivant la guerre de Sécession, ces organisations furent de moins en moins actives auprès du gouvernement et devinrent de plus en plus des sociétés de distinction et de protection des droits acquis de savants confirmés et de savants-administrateurs. Pendant la Première Guerre mondiale, et encore plus la suivante, elles ne réussirent pas à retrouver leur fonction gouvernementale, et furent supplantées par une série d'organisations ad hoc. L'existence de ces organisations

honorifiques soulève un certain nombre de questions intéressantes, à propos de l'honneur et des honneurs en science.

L'âge et la dignité même des scientifiques confirmés, et leur vieillissement avec le développement continu des académies leur enleva peu à peu leur soi-disant fonction d'encouragement de la science et des scientifiques. En raison de leur effectif limité, et croissant en tout cas moins vite que l'activité scientifique globale aux États-Unis, l'âge de la distinction reculait dans la carrière, au fil des générations.

Maintenant, un homme qui n'a pas obtenu un certain niveau de distinction vers le milieu de sa carrière a bien peu de chances que cela arrive plus tard. Il s'ensuit que ces sociétés se limitèrent de plus en plus à distinguer ceux qui avaient déjà été distingués. En d'autres termes, l'appartenance à une académie devint de plus en plus un critère secondaire de mérite. Ainsi, les sociétés honorifiques, comme l'institution des diplômes honoris causa, devinrent peu à peu l'instrument de la protection d'intérêts acquis, de la distinction de la distinction même, et cessèrent d'exercer une fonction véritablement innovante.

Parmi les intérêts acquis de la science dans ce pays, certains intérêts académiques avaient déjà reçu leur lot de distinctions, alors que les laboratoires industriels se bousculaient au portillon. Leur déficit de distinction justifiait en partie le projet d'accroître leur participation dans les académies, ce qui laissait quelques espérances aux nouveaux politiciens industriels de la science. Ceux-ci essayaient non seulement d'ouvrir la porte à une prétendue basse caste de la science, mais encore d'instrumentaliser les académies au profit de l'industrie. Je ne commenterai pas les méthodes employées à cet effet. Le processus aboutit à la glorification injustifiée d'une science lourde, chère et hautement organisée, à la façon du laboratoire industriel et au détriment du penseur individuel.

Cette période connut aussi une croissance justifiée de l'automatique. Il s'agit non seulement de la mécanisation de certaines tâches humaines et mais aussi de leur transposition à certains grands systèmes organisés mécaniquement, utilisant la chair et le sang des travailleurs au même titre que les machines.

Cette étape nouvelle, bien qu'en partie justifiée, fut menée à bien principalement par des gens dont la préférence intellectuelle et spirituelle allait vers l'assimilation de la pensée à une mécanique. Leur espoir, sans doute pas toujours inconscient, était que les machines modernes et la grande organisation permettraient de se passer de la pensée individuelle, et de se prémunir de la menace permanente représentée par le scientifique free-lance et l'homme aux besoins modestes, face à la suprématie du pouvoir en place. À cet effet, ils employèrent une bonne dose de langue de bois, qu'il me semble nécessaire d'analyser.

Un des plus grands problèmes de la science moderne est la masse de publications. On doit feuilleter les publications existantes, ce qui est devenu oppressant, simplement en raison de leur volume. D'où non seulement la réduction microphotographique des bibliothèques, mais encore le développement de techniques de recherche et d'indexation.

Ces instruments ont une valeur, mais strictement limitée. Il existe entre les disciplines des correspondances d'idées, qui ne peuvent apparaître qu'à celui qui a travaillé dans plusieurs disciplines, et qui échappent à l'indexation routinière des documentalistes, et encore plus des machines. J'ai déjà mentionné un cas de convergence entre l'épidémiologie et l'étude de la combustion gazeuse. Ainsi, des papiers d'un domaine peuvent se rapporter à un papier de l'autre domaine. Une fois ce lien établi, on peut en tenir compte dans l'indexation, mais je ne peux concevoir aucune méthode selon laquelle une personne qui n'a pas travaillé dans les deux domaines pourrait découvrir ce lien³.

La machine à indexer peut être très utile. Cependant, je crois, et je crois avec de bonnes raisons, que certains partisans de la machine s'imaginent qu'elle ne va pas simplement aider, mais prendre en charge complètement le travail de recherche de liens croisés. Je crois que les propagandistes de la recherche automatique s'efforcent, non sans succès, d'introduire cet argument fallacieux dans l'esprit du public.

On peut concevoir, et on en connaît les principes, des machines à traduire, ou à convertir la parole en écriture et inversement. Ces machines sont popularisées par ceux qui s'intéressent également à la machine à indexer. Bien des difficultés sont liées aux aspects non-mécaniques de la traduction. On connaît l'histoire du dicton allemand « Le fantôme veut, mais la viande est rare », traduction littérale de « Der Geist will es, aber der Fleisch ist schwach », qui signifie en réalité « L'esprit est volontaire, mais la chair est faible ». Comment faire en sorte qu'une machine évite ce piège stupide ?

Pour concevoir une machine qui évite non seulement cette erreur, mais aussi toutes les erreurs du même style, il faudrait un travail et une subtilité presque infinis. Comme la machine est supposée être utilisée par un traducteur scientifique exigeant, celui-ci risque à tout bout de champ une gaffe du même style que la précédente, et la frustration associée. Ce n'est pas très grave, pour une gaffe aussi ridicule, mais il y a des cas litigieux où deux traductions sont possibles, qui ne

3. La discussion s'étend aisément à l'internet d'aujourd'hui, qui ne dispose pas de liens sémantiques. Plus loin, Wiener nous avertit des conséquences intellectuelles et sociales de l'informatique.

peuvent être départagées par un examen superficiel. Quelle en est la conséquence sur l'efficacité et sur le champ d'application de la machine à traduire ?

La réponse est qu'une telle machine peut grandement réduire le travail d'un traducteur et linguiste expert, dans une langue qu'il connaît imparfaitement. Si une difficulté surgit, une lumière rouge s'allumera dans son esprit, et alors il devra travailler comme un traducteur normal, sans l'aide malencontreuse de la machine. S'il est vraiment un linguiste de première classe, rompu à une multitude de langues, il devinera ce qui ne va pas, même dans une langue qu'il connaît très peu. Pour un tel homme, la machine à traduire permet un gain de temps considérable.

Au contraire, entre les mains d'un homme sans formation linguistique, la machine est pire qu'inutile – elle est positivement dangereuse. La traduction imbécile d'un document diplomatique peut facilement déclencher une guerre.

Dans les mains du traducteur expert, la machine ne peut permettre une accélération que pour autant qu'il puisse lui même aller plus vite. S'il travaille déjà à plein régime intellectuel, la machine ne lui est d'aucun secours. Pour égaler la vitesse de traduction d'une machine à traduire, il faut faire travailler un traducteur très fort, plutôt qu'un traducteur qui utilise la machine comme béquille. Ainsi, la conséquence de l'automatisation de ce genre de travail intellectuel serait de diminuer le nombre de cerveaux de première classe nécessaires, mais d'accroître grandement la pression s'exerçant sur eux.

Ce qui est vrai pour les machines à indexer et à traduire s'étend (avec quelques adaptations) aux machines à calculer. Pour résister à l'accélération apportée par machine, le calculateur⁴ doit être encore meilleur mathématicien. C'est seulement lorsque les meilleurs outils sont mis entre les mains des meilleurs esprits que le gâchis peut être évité. Ne pas tenir compte de cette règle conduit à ce que je peux appeler un gâchis criminel.

J'ai eu vent de projets demandant quelques cents mille dollars de fonds gouvernementaux, dans le but de construire un équipement d'enregistrement à cinquante voies en parallèle. Il n'est pas facile de compresser cinquante suites de données sans en perdre la plus grande partie. Cela demande des connaissances mathématiques de haut niveau.

Un homme qui émet une telle requête, sans même le bagage mathématique d'un étudiant de maîtrise, est soit stupide soit criminellement indifférent vis-à-vis de l'utilisation de l'argent public. À mon avis, cet homme, s'il n'est pas excusé par sa stupidité ou son ignorance, est coupable d'une tentative d'escroquerie envers les États-Unis, et à défaut d'être puni, il devrait être mis au ban par tout scientifique

4. Dans les années cinquante, « calculateur » désignait normalement un humain.

qui se respecte.

Quoi qu'il en soit, la tendance actuelle à la mécanisation de l'esprit humain a ses limites. Quand le travail accompli par l'homme est bien défini, il n'est guère difficile de lui trouver un substitut purement mécanique ou une organisation mécanique dont les hommes sont des rouages.

Au contraire, la capacité de l'esprit humain à élaborer de nouveaux concepts est un phénomène à chaque fois renouvelé. Espérer obtenir des avancées significatives par la multiplication d'activités humaines de bas niveau et par la combinaison aléatoire d'idées connues, sans qu'un esprit supérieur y mette de l'ordre, cela équivaut au paradoxe du singe et de la machine à écrire, déjà présent sous une forme simplifiée dans *le Voyage à Laputa* de Swift.

En admettant que si le singe tape suffisamment longtemps au hasard, il finira par écrire n'importe quel ouvrage de la littérature, il reste deux difficultés : d'abord, que le temps nécessaire excédera la durée de vie supposée de l'univers, et ensuite, que, lorsque le singe aura écrit, par exemple, Shakespeare et la Bible, il restera encore à les extraire d'une masse énorme de non-sens.

Cet amas de sens et de non-sens, le non-sens étant majoritaire, contiendra Shakespeare et la Bible, comme un bloc de marbre brut contient une œuvre d'art. En d'autres termes, le travail du singe, à l'instar du travail de nombreux scientifiques dans les grands laboratoires modernes, n'a de valeur que dans les mains d'un esprit supérieur, qui en fait n'en aura aucun besoin. Il fera mieux d'oublier cette accumulation de singeries, et de travailler directement aux problèmes qui se posent à lui.

Chapitre 8

L'environnement social contemporain de l'invention : la technoscience, suite

Mon opinion transpire de ce que j'ai dit précédemment : l'évolution actuelle, d'une recherche individualiste vers une recherche industrielle contrôlée, est mise en œuvre par des dirigeants empreints d'une défiance envers l'individu, qui se réduit souvent à une défiance envers l'humain. Je voudrais donner quelques exemples de cette tendance anti-humaine, avant d'en exposer les conséquences présentes et potentielles.

Le grand laboratoire d'aujourd'hui, qu'il soit une division d'entreprise ou une agence gouvernementale, aux États-Unis ou en Russie soviétique, que son but affiché (ou effectif) soit l'accumulation de dividendes ou les exigences de la bureaucratie, est généralement dédié à l'accomplissement de tâches spécifiques. Cette tâche est mise à plat, suivant un certain organigramme, en sous-tâches, chacune dans le domaine de compétence d'un expert. Ces experts sont employés principalement pour leur compétence dans des domaines particuliers, en dehors desquels ils ne sont pas encouragés à exercer même leur curiosité. Cela afin d'éviter toute perte de temps, car, dans un grand projet, le temps vaut cher, et le moindre défaut d'organisation non seulement retardera le travailleur individuel, mais aussi mettra l'organisation entière en délicatesse.

De plus, le secret entretenu par une telle organisation, en interne et en externe, est principalement motivée par la crainte. Pour un gouvernement, il s'agit de la crainte de la trahison, et de la fuite de technologie militaire, au profit d'un ennemi effectif ou potentiel. Pour une entreprise industrielle, l'ennemi, jouant le rôle du

gouvernement étranger, est la concurrence.

À côté de cette crainte externe, il y a une crainte interne plus immédiate. La mentalité de lutte à mort qui prévaut entre firmes prévaut également entre cadres et employés d'une même société. Pour un chef qui doit, par la nature de son travail, faire travailler des subordonnés de haut niveau intellectuel, cette crainte est intense. Il ne peut s'en prémunir qu'en s'entourant de subordonnés de niveau intellectuel juste suffisant pour la tâche à accomplir, aidés par un maximum de matériel inhumain et non-concurrentiel, et en ne leur communiquant pas les informations qui pourraient leur permettre d'avoir une vue d'ensemble du travail, voire de se placer sur un pied d'égalité.

Dans certains cas, cette technique de subdivision du travail est efficace, en dépit de l'attitude profondément cynique qu'elle implique. En temps de guerre, pour lancer un grand projet, quand la plus grande partie des idées est déjà acquise, et quand les principales difficultés relèvent de l'effort de masse et du développement technique, c'est ainsi qu'il faut travailler. Cependant, le grand projet est, je crois, limité dans son champ d'application. Quoi qu'en pensent les partisans du machinisme matériel et humain, il ne constitue pas la structure de base de toute recherche et invention future.

Tout d'abord, il présuppose que l'activité inventive suive un schéma établi à l'avance, très généralement, en vue de la solution d'un problème spécifique ou d'un ensemble de problèmes préétablis. La procédure habituelle consiste à confier la résolution ce problème à une équipe de scientifiques spécialistes des domaines associés. D'après ce que j'ai dit, cela constitue une vision réductrice du processus d'invention.

Quand on en est au stade où il est possible de dire qui doit faire quoi, et avec quelles compétences, alors le travail est déjà bien avancé. Les étapes primitives de la découverte scientifique interviennent alors même qu'il est impossible d'identifier le problème à résoudre. Elles sont incompatibles avec les grands projets industriels et la maîtrise comptable, qui en est devenue un élément si important, voire dominant.

Cela signifie que le grand laboratoire industriel n'est pas l'endroit du travail exploratoire, qu'on ferait mieux de laisser au scientifique indépendant, ou au laboratoire universitaire. Même si ces derniers prennent très au sérieux leur responsabilité sociale, ils ne sont pas empêtrés par la nécessité de chiffrer au jour le jour l'avancement de leur tâche.

À côté de l'avancement général de la science sur tous les fronts, et l'accumulation des idées, jusqu'à ce qu'elle soient prêtes à fructifier, il existe une technique très spéciale d'invention, qui peut être utilisée dans les grands laboratoires, et qui

est utilisée en effet, dans une certaine mesure, bien qu'elle s'écarte passablement de la procédure habituelle de poursuite d'objectifs hautement spécifiques.

Cette technique peut s'appeler le processus inverse de l'invention. On maîtrise quelquefois de nouveaux outils constructibles ou intellectuels, qui promettent des développements dans une direction ou dans une autre. La question est : laquelle ? Découvrir le potentiel de nouveaux outils est un travail d'invention ou de découverte, au même titre que la recherche d'outils à des fins spécifiques.

Ce n'est pas l'exception, mais la règle, que de nouveaux outils soient sous-évalués ou au moins mal évalués dans un premier temps. À l'époque du début du moteur électrique, l'usage envisagé était la transmission de l'énergie d'une centrale de production, vers des usines qui, jusqu'alors, tiraient leur propre énergie de machines à vapeur ou de turbines hydrauliques. Le moteur servait de force motrice principale. À la disparition de la machine à vapeur et de la roue à eau, il était naturel de réutiliser l'investissement déjà fait en poulies, courroies et arbres, en équipant l'usine existante d'un moteur unique ; le seul changement fut l'achat de l'énergie sous forme électrique à une société de service, à la place de charbon et de droits d'eau.

Les ingénieurs et les industriels mirent un temps considérable à voir que cet usage de l'énergie électrique n'était pas conditionné par le moteur électrique même, mais plutôt par le stade de développement économique et technique de ces usines, ayant considérablement investi dans les transmissions mécaniques, et dans le développement de machines adaptées.

Dans ces conditions, la découverte que les machines pouvaient être mues chacune par son propre moteur, éventuellement de faible puissance, fut une véritable invention, qui ne fut pas une réponse à la question « Comment puis-je faire tourner telle ou telle usine plus efficacement ? » mais « Quel est l'impact et le meilleur usage du moteur électrique ? » Le moteur de faible puissance apparut au moins quarante ou cinquante ans après le début de l'électrification industrielle. Aucune raison n'empêchait une réalisation plus précoce, par un ingénieur assez curieux pour tirer toutes les conséquences de l'invention du moteur électrique. Je pense que la prise de conscience des possibilités du moteur électrique n'est pas le fait d'un seul homme, mais un phénomène collectif, qui se produisit indépendamment en plusieurs lieux.

Le présent exemple montre que l'importance socio-économique de l'invention inverse est comparable à celle de l'invention directe. Les conséquences sociales de la découverte du moteur de faible puissance se sont révélées énormes. Tout d'abord, la disparition d'un métier, celui des constructeurs de moulins. Ce n'était pas une mince affaire que de mettre au point de longues lignes d'arbres, avec des

poules et des courroies, que l'on puisse correctement lubrifier, et dont on puisse modifier l'alignement par des joints universels et des attelages parallèles.

Un atelier ainsi conçu ne pouvait être reconfiguré. L'usine était contrainte dans un lit de Procuste, qui allait de pair avec un conservatisme généralisé. C'était un lieu dangereux, où les courroies et les poules pouvaient happer et broyer l'ouvrier imprudent. C'était un endroit sale, où des gouttes d'huile étaient projetées partout, depuis des dispositifs de lubrification inaccessibles, presque jusqu'au plafond. C'était une vaste caverne, difficile à chauffer et à éclairer, où la lueur des ampoules électriques nues dissimulait autant qu'elle montrait. Bref, c'était un des cercles les plus cruels de l'enfer de la révolution industrielle.

Grâce au moteur électrique de faible puissance, intégré à la structure de chaque outil mécanique, la nécessité de cette situation disparut subitement. Les courroies pouvaient être raccourcies ou même remplacées par des boîtes de transmission protégées par un capot. La disposition des machines au sol n'était plus soumise à une contrainte d'alignement.

Les machines pouvaient être propres, au moins pour les projections d'huile, et devinrent aussi faciles à éclairer que des bureaux. L'éclairage put être adapté aux besoins visuels du travailleur, et, lorsque la lampe à vapeur de mercure et plus tard le tube fluorescent furent disponibles, on put les disposer précisément aux endroits les plus commodes. Le bâtiment d'usine cessa d'être une grotte ouverte à tous vents, dont les murs étaient percés de toutes parts pour le passage des arbres et des courroies, et devint un espace fermé, facile à chauffer et à ventiler. Tout cela fut une réponse non à la question « Comment construire une usine ? » mais en fait à la question plus profonde « Quel usage raisonnable peut-on faire du moteur électrique à faible puissance dans les usines ? »

Les conséquences socio-économiques du moteur électrique à faible puissance vont plus loin. Chaque garage de campagne peut s'acheter des outils électriques. Chaque menuisier amateur peut avoir son atelier dans sa cave. Les moteurs sont devenus si petits qu'ils peuvent s'adapter à des outils semi-portables, comme les tronçonneuses, et même des outils complètement portables, comme les scies à main et les perceuses. En fait, les raisons mêmes qui ont justifié initialement le système de l'usine ont disparu, et, en quelque sorte, on est sur le point de revenir, par certains aspects, à une industrie disséminée.

En fait, si la place logique de l'invention et l'usage du moteur électrique s'étaient produits cinquante ou cent ans plus tôt, on peut douter que l'industrie disséminée, avec ses avantages et ses inconvénients, eût disparu aussi complètement. Elle pourrait maintenant réapparaître dans certains domaines.

Il est possible que les pays d'industrialisation récente ne subissent pas un

exode rural aussi poussé que l'Angleterre et l'Amérique en leur temps, et il est possible que cela atténue pour eux quelques unes des cruelles conséquences de l'industrialisation moderne.

L'utilisation du moteur électrique à faible puissance, même s'il s'agit d'une invention inverse, est en fait une idée qui doit apparaître naturellement chez l'entrepreneur, et cette idée se prête aux conditions de l'organisation de masse de l'invention hiérarchisée. Cependant, on voit mal comment cela aurait pu se produire, avec la série d'inventions constituant l'électronique moderne. Que le tube à vide, utilisé tout d'abord pour la communication sans fil, dût se révéler utile à l'informatique et à l'automatique, cela de fut pas une simple supputation venue de l'extérieur, mais le résultat d'une compréhension scientifique et technique de la nature du système.

Une fois cette compréhension acquise, les nombreux problèmes de détail qu'elle avait soulevés furent soumis à une attaque en masse, encore en cours. Cependant, l'idée originale que le tube à vide pourrait remplir ces fonctions est justement le résultat de cette sorte de rêverie éveillée sans but, qui n'est guère encouragée dans le modèle intriqué et hautement organisé de la recherche de masse. C'est précisément parce que certains laboratoires n'ont pas surfé la vague du futur jusqu'au récif que ces innovations ont pu voir le jour.

Le tube à vide fut une invention beaucoup plus profonde que ce que les premiers utilisateurs imaginaient. Comme je l'ai dit, sa fonction première fut d'assister la communication sans fil. C'est seulement dans les vingt dernières années que l'utilisation du tube à vide pour l'amplification a permis de dissocier deux problèmes techniques qui avaient toujours été considérés comme un seul, pour permettre de les associer de nouveau, sur une base plus saine.

Ces problèmes sont celui du transfert de l'énergie et celui du transfert du signal et de l'information. Grâce au tube à vide, un signal arbitrairement faible, à condition de pouvoir être distingué clairement du bruit de fond (c'est à dire la partie du signal qui ne transmet pas l'information recherchée), peut être utilisé pour commander un système de puissance quelconque.

Par exemple, le microscope classique ne transmet à l'œil qu'une partie de la lumière utilisée pour éclairer l'objet observé, alors que le nouveau microscope-télévision à balayage permet d'augmenter la luminosité de l'image autant qu'on veut. Le principe de la rétroaction, qui est à la base de l'automatique industrielle, n'est praticable que parce que des signaux extrêmement faibles produits par le fonctionnement anormal d'une machine peuvent être amplifiés au point de déclencher un processus de correction efficace.

Quand on voit les conséquence de la séparation du signal effectif et de la

puissance effective, cela est clair et presque trivial, mais le découvrir dans les propriétés du tube à vide même n'était pas une découverte triviale. Il est facile de faire tenir sur une extrémité l'œuf de Christophe Colomb, une fois que Colomb a donné la solution. Il suffit pour cela d'un cerveau, et non de mille demi-cerveaux grippés.

Le gros problème avec la recherche hautement organisée, avec la prédéfinition des fonctions de chaque scientifique, est que c'est une usine à gaz, qui ne peut être facilement adaptée aux nécessités changeantes du monde des idées. La grande organisation qui s'est engagée dans un projet à plusieurs millions de dollars – la technoscience – n'est pas facilement réorientée ; pas plus que les meilleurs administrateurs de grands projets ne sont les plus fertiles initiateurs d'idées nouvelles. Cette technoscience n'est probablement pas une bonne sage-femme ou une bonne nurse pour les idées nouvelles.

Les idées nouvelles germent dans la tête du scientifique individuel, et elle apparaissent de préférence là où sont réunies de nombreuses têtes bien faites, et surtout là où l'intelligence est appréciée. Il n'y a guère d'invention dans une population de misérables coolies. D'autre part, là où on raille les crânes d'œufs, beaucoup d'œufs intellectuels n'éclore pas, ou ne seront même pas pondus. Les McCarthy ou les McCarran ne peuvent pas continuer indéfiniment à dévaster les milieux intellectuels, sans qu'on finisse par se demander si les effets secondaires de cette politique honteuse ne sont pas pires que le mal. Il est vrai que les scientifiques les meilleurs et les plus dévoués sont probablement mus par des intérêts et des curiosités si bien ancrées qu'il est difficile de les détourner de leur orientation naturelle, mais, malgré cela, l'effet statistique général d'une politique anti-intellectuelle serait de réduire le nombre d'intellectuels et d'idées nouvelles.

Il ne suffit pas que les idées nouvelles soient dans la tête des gens, si ceux-ci ne sont pas en mesure de communiquer. D'une part, les journaux, et, autrefois, les académies, ont permis aux hommes de se réunir pour partager et développer leurs idées par fertilisation croisée. D'autre part, une politique de secret, ou, ce qui revient au même, une politique de subdivision fine de l'activité intellectuelle, ne laisse raisonnablement aucune chance de naître à l'innovation. Je me demande ce que l'humanité a perdu, parce que Léonard de Vinci avait l'habitude de rédiger ses carnets dans une écriture secrète. Ses carnets prirent la poussière pendant des siècles, jusqu'à ce que la plupart de ses idées aient été redécouvertes depuis longtemps.

Même en admettant un certain secret autour de l'invention, la question du niveau de secret est extrêmement difficile à résoudre. Elle est cependant très actuelle. Considérons par exemple la bombe atomique. Ici, je m'exprime en tant

que membre du public scientifique général, sans information spécifique sur la bombe atomique, et n'en désirant pas davantage. L'histoire des idées conduisant à la bombe atomique remonte d'une part aux travaux des Curie au début du siècle, précédés par Becquerel ; d'autre part, à l'identification de la matière et de l'énergie par Einstein, sur la base d'un raisonnement dimensionnel hautement abstrait.

Alors que le siècle était déjà bien avancé, voilà ce qu'on savait : que le radium et des métaux similaires paraissaient subir une suite de transmutations d'un élément vers l'autre, de manière aléatoire ; que cette suite de transmutations s'accompagnait de rayonnement, d'au moins trois sortes ; que la matière et l'énergie étaient des quantités de même nature, mais reliées par une transformation telle que si la matière pouvait être intégralement convertie en énergie, la masse d'un presse-papier suffirait largement à propulser un paquebot d'un côté à l'autre de l'Atlantique.

Une fois ces idées admises, le terrain était prêt pour la poursuite des recherches sur la transmutation de la matière en une autre matière ou en énergie. On ne pouvait s'attendre à ce que les scientifiques se contentassent bien longtemps d'une transmutation aléatoire et incontrôlée. Peu à peu, la communauté scientifique comprit que les atomes étaient composés de deux parties : un brouillard périphérique d'électrons en rotation, plutôt léger, et un noyau central de masse bien plus grande, et donc d'énergie bien plus grande. Il devint clair également que le phénomène connu de la radioactivité concernait le noyau, et non les électrons, qui étaient responsables des propriétés chimiques ordinaires, mais pouvaient aller avec différentes configurations nucléaires.

En fait, il devint clair que les masses atomiques des éléments connus n'étaient absolument pas fixées, et que chaque élément pouvait regrouper plusieurs isotopes, identiques en tout point pour la chimie, mais différant par leur masse atomique, à cause de leur structure nucléaire. Quand ce phénomène d'isotopie fut découvert, il devint clair encore que les isotopes, malgré leur similitude chimique, pouvaient avoir des propriétés radioactives totalement différentes.

Les premières expériences conduisant le plus directement à la bombe atomique sont les expériences de transmutation artificielle, visant à stimuler la transmutation, au lieu d'attendre qu'elle se produise spontanément et par hasard. Pour obtenir un tel effet, on pensait, et cela reste valable, qu'il fallait soumettre le noyau à une perturbation énergétique de concentration exceptionnelle, ou, ce qui revient au même, à une température très élevée.

Le premier essai concluant de transmutation artificielle fut celui de Cockroft et Walton, en 1921, au laboratoire Cavendish de Cambridge en Angleterre. C'était une expérience assez lourde, mais bien moins que les projets pléthoriques dont les

physiciens d'aujourd'hui parlent si complaisamment. Je me rappelle l'avoir vue. Le grand tube à vide dans lequel l'expérience avait lieu était loin d'être un chef-d'œuvre de verrier. Il se composait de cylindres de verre de seulement un ou deux pieds de haut, empilés l'un sur l'autre, de telle sorte qu'entre deux se trouvait une plaque de verre, de la taille d'un grand carreau de fenêtre, percé d'un trou circulaire, probablement avec un simple coupe-verre. Toutes ces pièces étaient maintenues et étanchées, non par des soudures réalisées par un maître verrier, mais grâce à un certain mastic noir, renommé pour sa faible pression de vapeur saturante, connu sous le nom de ciment de Dekautinski. Je ne suis pas bien placé pour évaluer le coût des parties internes et plus essentielles du montage, mais tout cela ne semblait pas en mesure de mettre à mal les ressources d'une université américaine, même petite.

Rien dans ce travail n'était secret, et il n'y avait aucune raison pour cela. Cependant, on connaissait déjà l'importance des aspects énergétiques dans les réactions nucléaires contrôlées, en particulier, grâce à la relation d'Einstein entre la masse et l'énergie, qui ouvrait la voie, pour le meilleur ou pour le pire, d'une nouvelle et importante source d'énergie. Quand les recherches de Lise Meitner, juste avant la Seconde Guerre mondiale, eurent clairement indiqué la manière d'exploiter ces nouvelles possibilités, la mèche était déjà allumée et aucun secret atomique fondamental n'était plus possible. Le seul secret qu'on pouvait encore imposer était le secret militaire, limité et provisoire, portant sur la mise en œuvre et les détails de construction, de nature relativement éphémère.

Un des points essentiels de toute politique de secret limité, qui n'a de sens que dans le contexte de la guerre ou de la concurrence économique, est que le secret doit être finalisé. Un second point, lié au précédent, est que cette politique doit pouvoir être mise en œuvre effectivement, parce qu'il ne faut pas à essayer de faire ce qu'on sait impossible.

Pour le premier point, la finalité de toute politique de secret devrait être d'assurer quelque avantage dans un conflit. Pour cela, il faut considérer non seulement l'efficacité du secret contre l'adversaire, mais aussi au détriment de son propre camp. Toute restriction de la liberté de l'information finit, tôt ou tard, par se retourner contre son instigateur. La raison en est qu'en période d'invention et de créativité, on ne peut déterminer à l'avance les canaux précis par lesquels l'information peut contribuer à l'invention, à la découverte, et au changement des mentalités.

Canaliser et classifier l'information est sans doute une nécessité en temps de crise, lorsqu'il importe plus d'utiliser les informations déjà disponibles, que d'en accumuler de nouvelles, qui pourraient servir dix ans plus tard. Cette situation

justifie qu'on se détourne de l'effort créatif fondamental, en direction d'une recherche hautement organisée, plus immédiate mais moins créative. Ces mesures relèvent d'une d'urgence strictement délimitée dans le temps, et non d'une urgence permanente. Elles relèvent du sprint, non du marathon.

En sprint, on ne s'attend pas à ce que le coureur conserve un bilan équilibré entre l'oxygène inhalé et l'oxygène consommé¹. Pendant la course, il peut puiser sur ses réserves d'oxygène. Cela n'est pas le cas en course de fond, où même s'il ne maintient pas son équilibre alimentaire et hydrique, ni même son équilibre en oxygène, il doit au moins tendre vers un rythme respiratoire efficace tout au long de la course. En effet, ses seules réserves d'oxygène ne lui permettraient pas de courir plus que quelques centaines de mètres.

À l'urgence à court terme des guerres du passé, on pouvait répondre par un moratoire sur les recherches fondamentales, et la mobilisation rapide des énergies en vue de l'application des travaux de recherche précédents. Un tel moratoire cesse d'être avantageux, et même possible, si la lutte s'étale sur des décennies ou des siècles. Il faut faire attention que les méthodes utilisées pour stimuler l'activité à court terme n'épuisent pas les réserves créatives dont nous dépendons à long terme. En fait, on peut dire, humainement parlant, que si la circulation de l'information est aménagée de manière à éviter toute fuite même mineure, alors le système est trop étriqué pour permettre un sain développement technique intérieur, et qu'il vaut mieux le changer en vue du long terme.

Idem pour l'ajustement du niveau de secret et d'intégrité interne de l'information. Le détail de cet ajustement est difficile à discuter, parce que les éléments nécessaires à la discussion sont dissimulés justement par cette même politique de secret.

On peut discuter plus en détail non l'opportunité du secret en vue de priver l'adversaire de certains avantages, mais la possibilité du secret en général et le niveau de contrainte nécessaire au maintien d'un secret total. J'ai déjà dit qu'au moment où une invention devient commercialement viable, les idées fondamentales en sont déjà largement connues.

Ce que j'ai dit à propos des applications industrielles s'applique également aux applications militaires. Mis à part les fuites venant de notre côté, nous devons nous attendre à un certain taux de redécouverte de nos propres outils et techniques par nos adversaires effectifs ou potentiels.

Sans conteste, cette croissance parallèle, bien qu'extrêmement importante, n'explique pas totalement le développement des techniques atomiques par les

1. On dit que le sprint est un effort anaérobie.

Russes, par exemple. Certains faits d'espionnage bien documentés leur ont certainement donné un bon coup de pouce. Cependant, l'avantage initial que l'homme de la rue, et, je le soupçonne, aussi le Pentagone, pensent être le résultat de nos inventions, est en grande partie illusoire.

La plupart de nos inventions étaient également mures ailleurs. En protégeant parfaitement nos secrets, nous aurions peut-être pu convertir une avance de cinq ans en une avance de dix ans ; ou peut-être, mais j'en doute fortement, de vingt ans ; mais certainement pas d'un demi-siècle.

Maintenant, au moins en partie par l'espionnage, les Russes ont réduit notre avance à guère plus de cinq ans. Ce qui intéresse l'homme de la rue, c'est le vol du secret de la bombe atomique. La chose importante à réaliser est que ce mot de « vol » exprime moralement un point de vue unilatéral, que nous ne pouvons pas attendre d'une personne ne partageant pas a priori nos intérêts.

Si la Russie avait eu sur nous l'avantage initial que nous avons eu sur elle pour l'armement nucléaire, nous aurions fait tout ce qui était en notre pouvoir pour infiltrer nos propres Fuchs et Rosenberg dans leur laboratoires, et si notre gouvernement ne l'avait pas fait, nous lui aurions reproché sa négligence. Jusqu'à ce que les affaires internationales deviennent généralement orientées vers la coopération plutôt que vers la confrontation – et ce jour, quoique hautement désirable, n'est pas encore levé – aucune nation ne peut se permettre de rester inactive alors qu'une autre développe une arme menaçant son indépendance d'action.

Cela est clair, pour ceux qui ouvrent les yeux, et bien qu'il soit parfaitement raisonnable de pendre un espion s'il est pris, il est tout à fait déraisonnable d'espérer la disparition des espions, ou que l'autre camp, quel qu'il soit, cesse de les employer. Certains de ces gens se rencontrent parmi les aventuriers que chaque guerre ou conflit envoie s'échouer sur les rivages de l'histoire, et que chaque camp utilise, renie, puis élimine.

Il y en aura d'autres qui, par un enthousiasme qui ressemble à du patriotisme en un sens particulier, et qui peut être un dévouement à ce qu'ils considèrent comme un principe supra-national, prennent le risque extrême de l'espionnage et même en deviennent les kamikazes. Nous pouvons le déplorer, et il faut certainement combattre le feu par le feu, mais il n'est pas réaliste d'épuiser son bon droit moral en général contre un ennemi qui entreprend de telles actions, comme il n'est pas réaliste de gaspiller notre indignation morale contre les kamikazes, ni d'espérer que nos sentiments dissuaderont l'ennemi de les employer, et nous dispenseront d'avoir à équiper nos porte-avions de puissantes batteries anti-aériennes et d'avions de combat.

Certains secrets tomberont entre les mains de l'ennemi, et une politique qui

n'en tient pas compte est irréaliste et ne contribue pas à notre sûreté. Nous ne devons attendre du secret que ce qu'il peut raisonnablement nous apporter. De plus, nous devons ajuster le niveau de secret sur la base d'un examen objectif à la fois de ses avantages et de ses inconvénients.

Je ne crois pas que nous ayons réalisé l'examen objectif nécessaire de la possibilité et de l'opportunité du secret, et je sais que même si une vision raisonnable peut exister quelque part au Pentagone, elle n'existe pas chez l'homme de la rue ou chez les journalistes en général.

La tendance générale est de croire que l'invention n'existe que pour la gratification individuelle que son exploitation procure, ou pour son usage concurrentiel par différents groupes ou même des pays entiers, comme source de pouvoir et de domination. L'invention est conçue comme un moyen de soumettre la volonté d'autrui à la sienne propre. Si cela était le seul usage de l'invention, ou seulement son usage principal, le problème du secret, malgré ses difficultés, serait néanmoins assez simple. La vraie difficulté est le fait que l'invention satisfait aussi un besoin humain fondamental non-concurrentiel, et que la même invention satisfera des besoins différents à des époques différentes.

À une époque où des idées nouvelles sont en lutte dans les esprits, il est souvent possible de voir ce que donne cette idée de découverte en tant que propriété individuelle ou outil de la grandeur nationale. De nombreuses inventions et découvertes sont par nature aussi imposantes qu'un éléphant et aussi dangereuses qu'un lion, mais ni un éléphant ni un lion n'est particulièrement impressionnant à l'état de fœtus. C'est précisément pendant cette période de gestation qu'une invention peut être en principe contrôlée et constitue en réalité un accident rare et improbable. Car c'est un paradoxe de la théorie des probabilités que ce qui arrive est en fait toujours hautement improbable malgré sa réalité concrète.

Votre existence ou la mienne signifie qu'un certain ovule parmi cinq cent quit-tant les ovaires, parmi un nombre encore beaucoup plus grand d'ovules ou de cellules formées, doit être fertilisé par un seul spermatozoïde parmi des millions. Pas d'autre ovule ni d'autre spermatozoïde n'aurait donné précisément cette combinaison de caractères génétiques intervenant dans la conception d'un individu. Cependant, lorsque l'individu est là, avec tous ces traits innés et acquis, il représente un fait bien réel et important, susceptible de laisser une empreinte sur le monde pour longtemps.

De même, les événements conduisant à la conception et à la parturition d'une idée nouvelle peuvent être si hautement improbables et imprédictibles qu'un accident anodin pourrait avoir empêché ce concours de circonstances. En tout cas, elle apparaîtra probablement à un certain instant chez un certain individu, d'une ma-

nière bien trop fortuite pour pouvoir faire l'objet d'une spéculation raisonnable. Les employeurs n'investissent pas dans des embryons, et les capitalistes ne sont pas davantage capables d'investir dans des idées embryonnaires.

Ainsi, c'est précisément au moment où une idée est contrôlable, ne serait-ce que par l'avortement, que le fait de la contrôler ne présente aucun intérêt prédictible pour quiconque. Plus tard, quand l'idée a atteint une enfance viable ou même une jeunesse vigoureuse, il n'est pas trivial de faire comme si elle n'avait pas existé. À ce stade, rien moins qu'un meurtre spirituel ne pourra la toucher, et, comme d'autres meurtres, les meurtres spirituels laissent des traces.

Le problème est qu'au moment où une idée est mûre pour une exploitation économique ou militaire, elle aura impressionné beaucoup de gens et il ne semble pas possible de l'éliminer. Cela veut dire que des idées qui peuvent justifier un investissement économique doivent avoir déjà été identifiées par de nombreuses traces éparpillées dans la collectivité. Alors, le phénomène d'invention multiple n'est pas une vague possibilité, mais une probabilité bien définie.

De plus, au stade tardif auquel une invention devient intéressante du point de vue économique ou militaire, le secret de son existence est déjà bien mince. Les idées sont là, et, bien qu'une certaine perspicacité soit encore nécessaire pour en démontrer l'utilité, il est très peu probable que plusieurs décennies ou même plusieurs années s'écoulent sans que l'occasion fasse le larron, parmi tous les individus de toutes les couches de la société ayant plus ou moins été exposés aux idées nouvelles.

Malheureusement, les liens entre scientifiques et intellectuels des différents pays se sont quelque peu relâchés récemment. Un rideau de fer existe, qui est sensé représenter une barrière à double sens. Mais c'est une barrière assez perméable aux livres et aux revues, si bien que l'avancement des connaissances, par exemple, en physique, ne soit pas radicalement différent de part et d'autre.

À moins d'aller jusqu'à une restriction radicale de la publication et des relations scientifiques, couvrant non seulement les instruments militaires et économiques actuels, mais aussi toutes les idées naissantes, quel que soit leur domaine nominal d'application, le rideau de fer restera une membrane très perméable. Le coût d'une étanchéité intellectuelle totale, dans tous les domaines, et à tous les stades de l'invention, comprend le coût secondaire, mais non-trivial, du ralentissement ou de l'abolition du développement intellectuel de part et d'autre. Finalement, elle implique l'abolition ou la restriction poussée de tout progrès scientifique. À moins d'en arriver là, le secret est un piège et une tromperie.

Un lieu commun de l'histoire est que les meilleurs généraux sont toujours ceux qui font la dernière guerre, et les moins bons ceux qui font l'avant-dernière. Ce

qui est vrai en matière d'armement mécanique et explosif est aussi vrai en matière d'armement intellectuel et politique. L'existence prolongée de notre pays ou même de l'humanité dépend d'une prise de conscience rapide et complète de l'organisation des idées, de la part des dirigeants, en matière militaire, diplomatique, et dans tous les secteurs de la vie.

Il ne suffit pas de parler de secret et de sécurité, ou même de les exiger. Il faut avoir une idée réaliste de ce qui peut être obtenu, et de ce qu'on souhaite, et une politique bien pensée pour y parvenir. Cette idée et cette politique sont encore pour le futur. Ce qui appartient au présent immédiat, c'est le préjudice que le secret, accompagné de la pensée déshumanisée et de l'organisation rigide et surdimensionnée, fait subir aux intellectuels.

En cet âge de Ragnarök², en cette époque où les hivers succèdent aux hivers dans l'esprit humain, sans étés intermédiaires, le véritable scientifique créatif, instigateur d'idées, doit se rappeler d'honorer sa mission dans la vie. Car il existe à présent une opposition fondamentale entre l'esprit du scientifique créatif libre, instigateur d'idées, et celui du scientifique qui travaille dans une organisation travaillant essentiellement à l'exploitation commerciale d'idées déjà introduites ou sur les étapes finales de l'acte de création et de découverte, qui peuvent être réduites à une activité machinale, à traiter comme une entreprise commerciale. Naturellement, les deux sortes de scientifiques peuvent vivre ensemble pacifiquement, mais il est difficile d'imaginer que leurs valeurs concordent. Il me semble que leur coexistence peut dérapier de temps en temps vers une sourde opposition.

Pour le scientifique indépendant, la glorification de la grande institution par ceux qui en font partie ressemble à la tentative du renard ayant perdu sa queue dans un piège de lancer la mode des queues courtes. Un des reproches les plus fréquents à l'encontre du scientifique indépendant, venant à la fois des renards qui ont déjà sacrifié leur queue, ainsi que des gestionnaires de la science, est que le scientifique individuel indépendant serait indiscipliné. Indiscipliné, il l'est si l'indiscipline est comprise comme une liberté vis-à-vis de la contrainte et de la punition externe. Par ailleurs, il doit être un homme profondément discipliné, pour pouvoir saisir les indices vagues et informes des idées qui sont tout ce qui l'occupe, et les traduire sous une forme pertinente et manipulable. On ne pénètre pas le royaume du chaos, et on n'y fait pas régner l'ordre, sans une puissante motivation intérieure pour l'ordre, et on n'accepte pas impunément des idées contradictoires, et impossibles à organiser. Ainsi, quand le scientifique créatif trouve que ses intuitions sont en fait fausses, et que l'ordre qu'il espérait découvrir n'est rien d'autre qu'un feu-

2. L'apocalypse en Europe du nord, comprenant en particulier un hiver de trois ans.

follet, un aspect de sa discipline intellectuelle est de se détourner de ce feu-follet, et de quitter le marécage pour la terre ferme.

Cet aspect de la discipline est à la fois réel et évident, mais n'est pas toute la discipline nécessaire à un scientifique. Comme pendant exact de cette solide vision d'ensemble qui l'amène à se détourner des idées intenable, prouvées comme telles, il doit exister cet autre aspect de la discipline, qui le conduit à cultiver une idée, jusqu'à ce que sa vacuité ou sa fausseté soit pleinement établie.

L'histoire de l'œuvre mathématique du jésuite Geronimo Saccheri démontre la nécessité de ne pas rejeter trop vite les idées paradoxales. Les postulats d'Euclide et la géométrie euclidienne, conservés pendant deux mille ans, étaient le produit d'un mode de pensée spéculative qui réapparut au XVIII^e siècle, pour s'attaquer de nouveau à ses difficultés propres. Comme un axiome mathématique était sensé être une vérité indubitable, sauf à se contredire, on chercha de nouveau à prouver que les axiomes de la géométrie étaient de cette nature. Parmi ces axiomes, celui dont on avait le plus de mal à démontrer le caractère irremplaçable était le postulat des parallèles, selon lequel, pour une droite dans un plan, par tout point n'appartenant pas à cette droite, il passe exactement une droite ne coupant pas la première.

Pour démontrer cela, nous devons trouver une bonne raison pour éliminer chacun des deux postulats alternatifs : l'existence soit de plusieurs droites, soit d'aucune, possédant la propriété précédente. Afin de montrer que chacun de ces postulats alternatifs conduisait le navire de la géométrie sur les récifs, Saccheri commença à en tirer les conséquences. Ses résultats étaient grotesques, mais, bien qu'il les considérât comme inacceptables, ils ne conduisaient à aucune contradiction manifeste.

Plus tard, des mathématiciens comme János Bolyai et Nikolai Lobatchevski poursuivirent le raisonnement de Saccheri, avec une conclusion différente. En fait, ils purent montrer que chacun des deux nouveaux postulats alternatifs ne conduisait pas à une contradiction, mais à une géométrie autre que celle d'Euclide, appelée depuis géométrie non-euclidienne. Éliminer les hypothèses non-euclidiennes seulement en raison de leur bizarrerie, sans trouver le moyen d'en tirer une contradiction, aurait été un signe d'incompétence intellectuelle, sinon de couardise. Ainsi, il aurait été indiscipliné d'abandonner l'étude des nouvelles géométries, simplement parce qu'elles demandaient un réglage inhabituel de l'imagination.

Dans mon propre travail, je n'ai pas été confronté à un tel problème quasi-moral une fois, mais plusieurs. Par exemple, dans la géométrie du mouvement brownien, je fus obligé d'utiliser dans une théorie physique la notion de courbe

continue nulle part différentiable. Ces courbes étaient connues depuis longtemps en mathématiques, mais on les considérait comme des pièces de musée, totalement en dehors de cette partie physiquement significative des mathématiques qu'il semblait convenable d'appliquer. Pour tirer quelque chose de mes idées, je dus développer ce concept de courbe dans un contexte véritablement physique. Refuser de le faire m'aurait non seulement privé d'une part essentielle de mes résultats scientifiques ultérieurs, mais aussi serait apparu comme un abaissement de ma position intellectuelle. La discipline consiste non seulement à abandonner ce qui doit l'être, mais encore à ne pas abandonner ce qui mérite encore de l'attention.

C'est ainsi que je vois le problème du soutien à l'invention. Certains lecteurs peuvent penser à tort que je crois à la notion générale de progrès en science. Que la science se renforce et s'améliore en tous points n'est pas une de mes marottes. Néanmoins, dans la mesure où la science a laissé des enregistrements écrits, et dans la mesure où la masse de ces enregistrements ne cesse de croître d'année en année, l'étendue à parcourir par le scientifique s'accroît, qu'il le veuille ou non. La science est un processus irréversible, à moins de brûler les livres ou d'affaiblir de quelque autre manière la position du scientifique. On ne peut pas impunément se comporter comme si la masse de la littérature et de la pensée qui représente les succès et les interrogations des âges passés n'existait pas. Pour le meilleur et pour le pire, on commence là où on est, et le bon vieux temps est aussi mort que le fantôme de Marley³.

C'est une situation qui se présente aussi bien en science qu'en art, bien que certains veuillent remonter le temps. Supposons que, par un coup de baguette magique, un magicien ramène Newton dans une assemblée de scientifiques contemporains. Je ne parle pas du Newton idéal, qui n'a existé que pour figurer au fronton des bâtiments, mais du vrai Newton, dans la force de l'âge, à l'époque de ses meilleurs travaux. Bien sûr, il ne serait pas tout de suite familier des recherches actuelles. La première chose que je le vois faire est de mettre la main sur les livres de Gibbs, Einstein et Heisenberg, et de les étudier consciencieusement. Il se pourrait qu'il y trouve des erreurs, et qu'il les rejette.

Ce qui est sûr, qu'il les rejette ou non, c'est qu'il ne les ignorerait pas, et qu'une partie de son travail éclairerait le leur. Un homme qui a la franchise et le courage de dire « Si j'ai pu voir plus loin [que d'autres], c'est en me dressant sur les épaules de géants. »⁴ n'hésiterait pas un instant à grimper encore plus haut sur les épaules des géants modernes.

3. Cf. Charles Dickens, *A Christmas Carol*.

4. Ch. 3, p. 13.

Si Euripide revenait sur Terre avec toute sa puissance créative et sa conscience de la culpabilité et de la faute, il lui faudrait seulement quelques jours pour s'apercevoir que ses cadets se sont intéressés aux mêmes problèmes avec succès. Il ne lui faudrait pas longtemps pour découvrir avec le plus grand intérêt les travaux de Freud, qu'il les accepte ou qu'il les rejette. En tout cas, une pièce d'Euripide écrite plus d'un an après sa réincarnation pourrait éviter le jargon freudien, mais certainement pas ignorer la théorie freudienne.

Si Léonard de Vinci revenait parmi nous pour visiter les musées et voir comment les époques intermédiaires ont tenté d'épuiser la plupart des possibilités de représentation artistique picturale quasi-photographique, je soupçonne qu'il serait lassé comme d'autres grands artistes par ces traditions qui ont perduré au point de devenir des clichés. Je n'irai pas jusqu'à imaginer comment il s'essaierait à de nouvelles techniques de peinture et d'exposition, mais je suis convaincu qu'il finirait par exploiter quelques méthodes non orthodoxes et par être le saint patron de quelque école avant-gardiste.

Cela mène à une question artistique très intéressante, celle du métier de l'historien, du traducteur, de l'antiquaire, et du pasticheur. Le traducteur de Dante doit parler comme Dante, et ne doit utiliser aucune idée qui aurait été étrangère à Dante. Cependant, de ce fait, il ne peut être Dante, car Dante n'aurait pas négligé une idée nouvelle qu'il aurait eue, même si, en fait, il n'utilisait que des idées inspirées par son milieu et déclinées selon ses propres thèmes. En tout cas, il n'était nullement forcé de limiter ses idées à celle d'un Dante préexistant. Ralph Adam Cram se sentit obligé de construire des immeubles modernes selon les techniques et les concepts religieux de l'architecte de la cathédrale de Chartres. Ce faisant, M. Cram travaillait dans des conditions qui n'auraient jamais été acceptées par l'architecte de la cathédrale de Chartres. Ce dernier n'aurait pas négligé de nouvelles techniques ou de nouvelles formes marquantes dont il aurait pu prendre connaissance. Il était médiéval, mais non médiévaliste. C'est en considérant une tradition morte comme un objet parfait que le médiévaliste de la dernière heure est victime d'une crampe intellectuelle.

Chapitre 9

Les risques non calculables et l'environnement économique de l'invention

Une expression très en vogue dans les cercles politiques aujourd'hui est le « risque calculé ». Elle sert de fondement à l'industrie des assurances. Un individu donné peu mourir demain ou dans cinquante ans, sans qu'on puisse en être sûr.

Cependant, un grand nombre d'individus peuvent être répartis en catégories après un examen médical, une étude de longévité de leurs ancêtres, une étude de leur travail etc. et pour chaque catégorie on peut établir à partir d'un grand nombre de cas des statistiques, qui doivent permettre d'estimer assez précisément la probabilité de survie dans chaque catégorie, selon le délai.

Ce travail d'examen et de classification statistique combine les compétences du médecin-conseil de l'assurance et de l'actuaire, et fournit une excellente estimation des risques, de telle sorte qu'une compagnie d'assurances dont la clientèle est suffisamment diversifiée peut être raisonnablement sûre de ne pas être mise en faillite par une simple fluctuation aléatoire ou une catastrophe ordinaire, à moins d'une pandémie de peste.

On entend maintenant que les États-Unis, en utilisant la bombe atomique à Hiroshima, coururent un risque calculé. Qui furent, je le demande, les actuaires qui déterminèrent ce risque ? Recourir à la bombe atomique demandait d'estimer non seulement sa puissance dévastatrice, mais aussi l'impact émotionnel sur les Japonais et, de plus, sur tous les représentants d'une race non-européenne, qui étaient sûrs que les États-Unis l'emploieraient différemment contre des Jaunes et des Noirs.

De plus, recourir à la bombe atomique demandait de s'interroger sur d'éventuelles représailles ultérieures contre le pays avait pris cette décision. La technique de construction de cette bombe ou d'engins plus puissants était encore rudimentaire, comme la réalisation ultérieure de la bombe à hydrogène l'a montré. Il fallait que notre réglementation du secret, à propos de la bombe et contre nos ennemis, fût plus stricte et plus durable que jamais par le passé, et réfrénât, chez nos ennemis potentiels, une exigence impérative de la liberté de déterminer leur propre politique nationale dans le futur. Où, je le demande, étaient les données d'actuariat nécessaires à peser tout cela ? La bombe atomique, dans ses implications militaires, sociales, et politiques, illustre bien le fait qu'une véritable découverte s'accompagne toujours d'éléments de risque non calculable.

L'actuariat n'est possible qu'à partir d'un échantillonnage suffisamment large, de telle sorte que l'erreur puisse être estimée. Cela n'est jamais possible au début d'un nouvel ordre des choses. Il s'ensuit qu'il n'y a dans ce dernier cas ni risque calculé ni risque calculable, et aucune analyse mathématique ne peut compenser l'absence de connaissance statistique. « Risque calculé » est souvent un attrape-nigaud à bon compte, qui sert à berner les gens.

Il y a quelques années, le professeur von Neumann et moi-même fumes confrontés à un cas extrêmement intéressant, illustrant la question du risque calculable. Je travaillais depuis quelques années sur la théorie de la prédiction, et j'avais mis au point des méthodes utilisables sur des séries numériques, comme les cours de bourse. Je répugnais à exploiter cela quasiment comme un service de pronostic. Je savais la confiance aveugle que de nombreux clients d'un tel service accorderaient à la compétence du statisticien, et je savais qu'au moment même où l'aide de la statistique était sollicitée, certains facteurs dynamiques de l'économie étaient en train de changer rapidement. Pour cela, je ne pouvais envisager avec une conscience tranquille la commercialisation proposée de mes propres idées.

Je reçus alors la visite dans mon bureau de l'héritier d'une grande famille industrielle. Il voulait absolument que je poursuivisse dans la voie de la prédiction des cours de bourse. Son idée était qu'une amélioration même de un pour-cent dans la prédiction influencerait sur l'investissement de tant de milliards de dollars qu'elle deviendrait un facteur majeur de la vie économique¹.

Quand nous présentâmes tout cela à von Neumann, il donna une opinion à laquelle j'adhérai complètement. Pour qu'une amélioration de la prédiction boursière ait une valeur commerciale, il ne suffit pas qu'elle serve à orienter des millions de dollars sans contrôle. Il faut encore que les utilisateurs puissent mesurer

1. La théorie de Wiener est couramment utilisée aujourd'hui en finance.

son efficacité.

Le problème est qu'il y a dans la prédiction boursière plusieurs facteurs dont nous n'avons pas pleinement conscience, et qui peuvent affecter la qualité de la prédiction de plusieurs pour-cents. Donc, une amélioration apparente de un pour-cent pourrait être due à des facteurs économiques secondaires favorables, et ne pourrait être attribuée avec certitude à la méthode. Même s'il y avait une réelle amélioration de la prédiction, je ne vois pas comment la mesurer en un temps raisonnable par une étude statistique d'ampleur raisonnable.

Pour valider une méthode d'estimation statistique de réduction d'un risque calculable, il faut que l'amélioration soit clairement calculable et même directement visible. Autrement dit, tout processus de régulation de l'investissement doit être contrôlable. Comme tous les dispositifs de ce genre, il profite énormément d'une rétroaction, permettant d'exploiter les résultats passés pour prédire l'avenir. Une politique ne possédant pas ce caractère est trop fragile pour être acceptable, et risque de conduire ses adeptes à la ruine.

Cette remarque est cruciale, en relation avec la question du risque calculé dans l'invention. Le stade le plus critique dans l'invention, comme cela a été dit, est le changement de climat intellectuel, qui produit et est produit par une idée nouvelle. Il peut être d'une valeur inestimable pour la collectivité, mais, par la nature des choses, il ne se prête pas à l'actuariat.

C'est seulement plus tard, lorsque l'idée progresse dans la collectivité, et que les uns et les autres s'informent de ses potentialités, que le travail d'actuariat, même théorique, devient possible. À un stade plus précoce, on peut gagner à suivre une nouvelle direction, mais avec une incertitude si grande que cela représente un investissement abominable. L'industriel terre-à-terre doit se convaincre qu'une idée sera payante, non pour quelqu'un et quelque part, mais pour lui, et dans un délai suffisamment court pour ne pas grever son bilan.

Ainsi, l'industriel doit se tenir à l'écart du premier stade, séminal, de l'invention ou de la découverte, et doit attendre le stade tardif, où ce qui n'est pas fait par un homme sera presque certainement fait par un autre. Il attend son heure, cherchant sinon un grand coup, un gain assez précisément estimable. Il couvre son pari ; et s'il compromet la possibilité distante et inestimable de gains fabuleux, il convertit aussi une folle spéculation en une affaire contrôlable.

Une des grandes difficultés de la politique dans un domaine quelconque est l'impossibilité de naviguer à l'estime pendant très longtemps. L'estime seule, sans observation des astres, sans aide de la sonde, et sans regarder la côte, conduit un jour ou l'autre sur les récifs. Le sextant, le radio-compas, et la sonde sont des appareils de rétro-action, permettant de comparer une position prévue à une position

effective, ou au moins une quantité reliée. De même une direction d'entreprise ou un gouvernement ne peuvent proposer ou appliquer une politique efficacement sans mesurer périodiquement des indicateurs d'efficacité. Tout cela semble raisonnablement simple, et doit servir de règle pour une politique à court ou moyen terme.

Le problème avec cette façon de faire est que son efficacité décroît avec l'échelle de temps caractéristique de la politique. Pour gérer une forêt tropicale, qui peut mettre mille ans à pousser, on ne peut arriver à rien sans considérer au moins la possibilité d'un feu, de changements de souveraineté nationale, et même d'une humanité future dont les besoins diffèrent sensiblement des besoins actuels.

Le problème de la prédiction des événements aléatoires rares longtemps à l'avance est une difficulté mathématique, et, malgré la contribution d'Emil J. Gumbel à ce sujet, je ne pense pas que cela soit un problème résolu. En nouvelle Angleterre, le plus grand risque couru par un barrage est presque certainement, à l'échelle annuelle, un excès de pluie. À l'échelle séculaire, probablement un cyclone venu des Antilles, ou un tremblement de terre. Les événements aléatoires à court et long termes ne sont pas de la même nature, et l'extrapolation à long terme de l'expérience acquise par le contrôle à court terme peut échouer. Cependant, par une meilleure connaissance de l'histoire et de la géologie, par l'observation des varves² de vase lacustre, et d'autres essais de ce genre, il doit être quand même possible d'apprendre à concevoir des stratégies de construction d'un barrage, valables à long terme.

En résumé, toute entreprise durable doit être régulée, en regard de ses résultats, ce qui s'identifie, du point de vue de l'information, à ce qu'on appelle rétro-action pour les machines. La théorie du comportement économique et politique, maintenant en vogue aux États-Unis, et qui a reçu une sanction quasi-officielle, repose essentiellement sur la vision d'une rétro-action particulière, qu'on nous propose comme suffisante pour tous les phénomènes sociaux.

Cette rétro-action est la rétro-action économique de l'entreprise privée. Les indicateurs utilisés pour juger du succès d'une entreprise sont financiers, ou équivalents, et l'évaluation par ces indicateurs des individus et des sociétés est sensée assurer la régulation de toute activité. Autrement dit, le bilan économique d'une activité, tenant compte des achats et des ventes, des intérêts du capital, de l'amortissement, de l'entretien et de la dépréciation, est sensé représenter complètement le degré de succès ou d'échec de cette activité.

En examinant les succès de l'économie de marché d'un point de vue histo-

2. Strates saisonnières, de couleur variable.

rique, on voit que cette comptabilité, cette mesure du succès, n'a de signification qu'à court terme. La génération présente ne se fait pas d'illusion sur la stabilité monétaire. Elle a connu une importante dévaluation, dont l'impact est plus que monétaire. Ce qui est moins évident est que cette dévaluation, représentant les pertes causées par les guerres, les famines, et autres fléaux, est une présupposition du système capitaliste lui-même.

Soit une pièce de monnaie romaine de l'époque du Christ, valant 1 \$, placée au modeste taux d'intérêt de 2 %, avec capitalisation. À combien se monte ce placement aujourd'hui³ ? L'ordre de grandeur est un million de milliards de dollars. Manifestement, cela est dénué de sens, car aucune banque n'a pu opérer aussi durablement. Les intérêts perçus sont la contrepartie des destructions successives des biens et des fortunes. N'importe quel système social vraiment stable, exempt de catastrophes, proposerait un taux d'intérêt si bas que personne n'aurait avantage à investir sur une période comparable à la durée de sa vie. Donc, les taux d'intérêt en vigueur dans le système capitaliste sont possibles seulement parce que les entreprises sont à court terme et incapables par nature de prendre en compte les intérêts séculaires de l'espèce humaine.

Quant aux machines, on constate toujours que leur bon fonctionnement dépend d'un certain nombre de rétroactions, sur des échelles de temps très disparates. Pour la commodité de l'exposé, je vais considérer deux échelles de temps, une courte, celle d'une rétroaction immédiate, une longue, celle d'une rétroaction séculaire. En voici un exemple simple tiré de l'ingénierie.

Abattre un avion avec un canon antiaérien est essentiellement un problème statistique. Il est impossible de faire mouche à tous les coups, mais on peut chercher à y parvenir avec la plus grande probabilité, ou au moins en causant le plus de dégâts possibles. Pour cela, on enregistre le mouvement de l'avion dans les secondes ou fractions de secondes qui précèdent, et à partir de ces données, on calcule la meilleure direction de tir, maximisant la probabilité d'impact. Cependant, les données de vol en temps réel ne sont pas les seules utiles.

Pour mettre au point une politique de tir, on a besoin d'une certaine connaissance statistique du mouvement des avions, ce qui demande d'avoir réalisé de longues observations du modèle d'avion visé, alors qu'il était engagé dans des activités de même nature que les présentes. Pour cela, il faut au minimum un enregistrement de quelques minutes à quelques heures, mais il vaut encore mieux une compilation d'enregistrements de vol sur des jours, des semaines ou des mois.

3. Ce point de vue est aussi celui d'Albert Jacquard dans *L'équation du nénuphar*, 1998, Calmann-Lévy.

Il serait possible de proposer une méthode de calcul automatisable, permettant le traitement statistique de ces données, et l'élaboration d'une politique de tir contrôlé par rétroaction à court terme. Cette méthode utilise une rétroaction séculaire.

Quant à la politique humaine, dont l'échelle de temps courte est annuelle, ou peut-être quinquennale ou décennale, l'échelle de temps longue est celle de l'histoire, qui repose, comme dans le cas du tir antiaérien, sur les souvenirs et les enregistrements, qui sont ceux de l'humanité. Évidemment, la mémoire d'une firme ou d'un individu est trop courte et trop étroite pour prendre en compte ces facteurs. Alors, comment faire ?

Malgré la prétention de certains fanatiques du système capitaliste, que le marché est capable de résoudre tous les problèmes d'administration, le monde des affaires lui-même n'en prétend pas autant.

Dans le très important secteur des assurances, l'assureur entreprend de couvrir les risques de l'assuré, et d'en tirer profit. On exagérerait à peine en disant que diriger une entreprise quelconque se ramène à couvrir en interne les risques inhérents à la direction de l'entreprise.

Or, comme je l'ai mentionné précédemment, alors que les compagnies d'assurances couvrent une grande variété de risques, pour lesquelles des tables d'actuariat sont disponibles – c'est-à-dire, des risques calculés ou calculables –, elles écartent certains types de risques. En lisant les lignes écrites en petit sur les polices d'assurance (ou certains autres contrats comme les billets de bateau ou d'avion), on voit que sont exclus « les actes de Dieu et les faits de guerre », si exceptionnels qu'ils échappent à l'actuariat⁴.

La tornade qui a dévasté Worcester (Massachusetts) fut une catastrophe de ce genre, qui, bien que grave, n'était même pas de taille à ébranler le système des assurances. Cependant, le secours aux victimes et aux familles ne fut pas apporté, à la base, par une compagnie d'assurance ou une quelconque organisation commerciale, mais par la Croix-Rouge.

La Croix-Rouge et d'autres organisations d'aide aux victimes de catastrophes reposent sur des engagements qui dépassent le système capitaliste : la religion, l'église, et en général les sentiments humanitaires, qui sont généralement à plus long terme qu'une entreprise commerciale. Le système capitaliste auquel nous adhérons, avec ses prises de décision et ses rétroactions, est profondément altéré et tempéré par l'existence parallèle d'institutions charitables et religieuses, et

4. Aujourd'hui, dans la liste des exclusions systématiques, les actes de Dieu ont cédé leur place aux effets des rayonnements ionisants !

d'autres œuvres sociales, qui n'ont pas le profit pour motivation première.

Si le monde des affaires ne peut pas gérer les catastrophes rares et imprédictibles, il ne peut pas davantage gérer ces événements rares et inhabituels, qui contribuent au bien de l'humanité. J'ai dit que la religion et l'église s'occupent de risques et de politique à long terme, à défaut d'éternité. C'est donc le vocabulaire religieux qui permet de discuter ces bénéfices à long terme et inattendus. L'église les appelle *actes de la Grâce divine*⁵.

Toute découverte intellectuelle est un acte de la Grâce divine, même si la réciproque n'est pas vraie.

D'après les remarques précédentes sur la rétroaction, on ne peut se protéger des catastrophes de classe divine que par une politique à terme séculaire, dont la validité ne peut être vérifiée dans la durée d'une vie humaine, ou d'une entreprise commerciale ordinaire. C'est seulement grâce à l'histoire qu'on peut se faire une opinion sur ces risques, en cherchant quelle politique a le mieux servi, par le passé, les intérêts de l'humanité dans des circonstances analogues, et en se demandant en quoi les conditions actuelles pourraient modifier le jugement.

L'acceptation d'une rétroaction secondaire, comme, par exemple, la nécessité d'une action humanitaire après une tornade ou une inondation, parce qu'une telle attitude, dans l'ensemble, a historiquement conduit à de bons résultats, et parce qu'on continue à agir ainsi à la lumière de l'histoire, s'appelle, dans le vocabulaire religieux, un *acte de foi*.

La thèse que je soutiens dans tout ce livre est que la persistance d'une atmosphère dans laquelle la science fondamentale puisse se développer au point de répondre non seulement aux espoirs, mais aussi aux besoins, dépend de la foi de la collectivité en ce que le travail intellectuel mérite d'être encouragé, et de ce que les institutions dont la vocation est de pérenniser cette atmosphère soient reconnues d'intérêt public.

Elle implique aussi ce que j'ai déjà dit sur le dévouement en sciences, c'est-à-dire la nécessité de la conscience professionnelle. L'environnement dans lequel le scientifique peut d'épanouir se trouve essentiellement dans des institutions conçues pour traverser les âges. Ici, le lien entre les universités et l'église est significatif, non seulement en raison du rôle de l'église dans le progrès scientifique, mais aussi parce que les universités, comme l'église à laquelle elles sont liées, sont des institutions qui perdurent.

Nos fondations scientifiques modernes pourraient avec le temps approcher la

5. Par exemple (*Encyclopaedia Universalis*), l'imprimerie fut pour Luther lui-même « le plus grand et le plus extrême acte de la Grâce divine par lequel se propage l'influence de l'Évangile ».

pérennité des universités, et, même si aucune en particulier n'y parvient, il reste encore la pérennité de l'esprit qui anime les fondations scientifiques et du sentiment que les citoyens les plus riches ont la responsabilité morale d'établir, de maintenir et de rétablir des fondations. En tout cas, c'est ainsi que se manifeste la responsabilité naturelle du maintien de la fertilité scientifique au niveau le plus haut et le plus profond.

La nécessité de foyers à long terme de l'intelligence étant acquise, indépendamment de leur mode de gestion, on peut les maintenir en vie à l'aide de critères secondaires de rétroaction. L'utilité d'une idée et la fertilité d'un inventeur à long terme n'ont pas d'indicateur direct et immédiat, mais il y a certains critères internes, qui ont une certaine valeur indicative. Un bon travail scientifique, susceptible de conduire à des découvertes importantes, est une combinaison de logique, d'imagination et d'esprit d'aventure. Cela permet souvent de distinguer le concept prometteur de la suggestion banale, bien des générations avant qu'on puisse en tirer les fruits.

En parlant de la nécessité d'une rétroaction à long terme et de la foi qu'elle implique, je voudrais signaler que la foi elle-même est soumise à une critique rétroactive à long terme. Une foi ossifiée et poursuivie aveuglément pendant longtemps, sans tenir compte de la réalité, est une idolâtrie. Une idolâtrie peut être politique ou économique, aussi bien que religieuse, et les Chinois antiques étaient bien conscients de l'idolâtrie politique.

La notion de souverain de droit divin se rencontre partout dans le monde, et en particulier en Chine, mais l'interprétation du droit divin par les Chinois est particulièrement moderne. Selon Mencius, et en fait Confucius, la loi est d'inspiration divine, appliquée par délégation du ciel. Cependant, si le peuple persiste à être malheureux, cela indique que non seulement l'empereur, mais aussi peut-être la dynastie, a perdu la confiance du ciel, et mérite la déchéance. Cela peut être interprété comme la reconnaissance par les Chinois antiques d'un principe de rétroaction, appliqué à la foi même.

La difficulté principale d'une stratégie à long terme est cependant que ses bénéfices sont destinés à nos lointains descendants, ou ceux qui prendront leur place, plutôt que nous-mêmes. Nous pouvons être non seulement ignorants de leur intérêt, mais aussi indifférents à leur existence, et nous ne pouvons exiger d'une telle stratégie les signes d'efficacité exigibles d'une politique à court terme. Pour les sociétés commerciales, cette difficulté est évidente, puisque les sociétés centenaires sont rares, et les millénaires pratiquement inexistantes. Dans une banque, un investissement en vue d'un objectif plus que séculaire sera considéré comme insensé, même par l'auditeur financier le plus accommodant.

Pourtant, si on veut que la course continue, et je crois que peu de gens y sont totalement indifférents, une part de la réflexion politique doit se tourner vers le long terme. Mais alors, comment mener une politique à long terme, dont la validité puisse être confirmée de quelque manière ?

Ce n'est pas un nouveau problème social, parce que la survie d'une communauté agraire dépend depuis toujours du maintien de systèmes d'irrigation et de la fertilité. Les servitudes associées à la maintenance de ces biens à long terme ont été acceptées par toute société soi-disant civilisée, à un degré quelconque, ce qui représente un certain acte de foi, quant aux retombées à long terme. Comme dit sur son lit de mort le fermier de *Northern Farmer, Old Style* de Tennyson :

Parson's a bean loikewise, an' a sittin' 'ere o' my bed.
'The Amoighty's a taakin o' you to issen, may friend,' a said,
An' a towd ma sins, an' 's toithe were due, an' I gied it in hond ;
I done my duty boy 'um, as I done it boy the lond.

Le pasteur est venu aussi, et il est assis ici sur mon lit.
« Le Tout-puissant t'appelle, mon ami » dit-il,
Et je me confessai, et la dîme étant due, je la lui glissai dans la main ;
j'ai accompli mon devoir envers lui, comme je l'ai fait envers la terre.

Cela est à comparer à la conception plus matérialiste du fermier de *Northern Farmer, New Style* :

Dosn't you 'ear my erse's legs, as they canters away ?
Proputty, proputty, proputty - that's what I 'ears 'em say.
Proputty, proputty, proputty - Sam, thou's an ass for they pains ;
Theer's moor sensi i' one o' 'is legs, nor in all they brains.

N'entends-tu pas les pattes de mon cheval, s'éloignant au petit galop,
Propriété, propriété, propriété - c'est ce que je les entends dire.
Propriété, propriété, propriété - Sam, tu es un âne pour ton malheur ;
Il y a plus de sens dans une de ses pattes, que dans toute ta cervelle.

Comme on l'a vu et revu, c'est une nécessité première que de préserver la fertilité de la pensée autant que la fertilité de la terre. Les deux influent sur les générations à venir, et peuvent être protégées seulement par celui qui se sent responsable vis-à-vis d'un futur lointain, sinon vis-à-vis de l'éternité.

Cette responsabilité ne peut bénéficier directement à ceux qui l'exercent, en aucun sens, ni même à personne de leur entourage ou qui puisse être considéré comme un parent proche. À moins que la société ne soutienne quelque institution,

ou au moins un mode de comportement traditionnel, respectueux d'un futur lointain, les préoccupations à long terme, concernant l'avenir de l'espèce humaine, sont à la charge de tous, autant dire de personne⁶.

De simples règles conventionnelles sont à la fois trop et pas assez pour définir les valeurs scientifiques, qui ne sont ni triviales ni impossibles à connaître. Elle sont soumises à une comparaison critique intelligente (même restreinte), à la fois extérieure et intérieure au milieu scientifique, et dans le for intérieur de chaque scientifique.

C'est pourquoi le scientifique doit avoir une conscience, du dévouement, et cette motivation intérieure qui ne lui permettra jamais d'être satisfait par moins que le mieux qu'il puisse faire, avec les moyens dont il dispose. Ce sens du devoir peut être très éloigné de toute religion formelle, mais la substance de la religion s'y trouve. « La lettre tue, mais l'esprit vivifie. »⁷

6. C'est tout le problème de la tragédie des communs, problème classique de la théorie des jeux.

7. *Nouveau Testament Épitres de Paul II Cor. 3.6.*

Chapitre 10

Les brevets et l'invention : le système américain des brevets

La manière primitive de contrôler l'exploitation d'une invention consiste à la garder secrète, ou à vendre ce secret à son maître ou à un autre artisan. Le brevet fut à l'origine un moyen de combattre ce secret. L'inventeur, à l'origine un artisan, acceptait de rendre son invention publique, dans l'intérêt général de son métier, en échange d'une exclusivité temporaire et limitée, accordée par le gouvernement, et cessible à un éventuel acquéreur, selon le degré d'originalité et de mérite de l'invention.

À l'origine, le brevet garantissait à l'inventeur des droits négociables. Avec l'avènement du laboratoire industriel, l'inventeur individuel free-lance, travaillant dans son atelier, a été largement supplanté par l'inventeur salarié, souvent bien payé, mais forcé de céder chaque invention à son employeur, pour une somme forfaitaire. Ainsi, le problème des brevets est devenu plutôt celui de l'employeur que celui de l'inventeur. L'entrepreneur a besoin du système des brevets pour protéger son investissement dans une technologie nouvelle par un monopole temporaire. Un brevet permet aussi d'éviter de se faire exclure d'un secteur d'activité par des brevets concurrents.

Certains défenseurs du système des brevets vont jusqu'à le justifier uniquement par la protection de l'entreprise, à l'exclusion de l'inventeur individuel. Ce qui est certain, pour le moins, c'est que beaucoup de brevets d'atelier, souvent minimes, insignifiants et frustrants, encombrant l'activité d'invention, sans contribuer notablement aux idées ni aux techniques.

La législation sur l'invention devrait prendre en compte la réalité de l'activité d'invention et la manière dont les inventions sont produites. En fait, dans un

monde aussi dépendant du processus continu d'invention que le nôtre, on pourrait s'attendre à ce que l'étude des circonstances de l'invention soit une préoccupation centrale de l'homme moderne.

Dans une certaine mesure, cela est vrai. La législation sur les brevets représente un code sophistiqué, régissant les droits de propriété sur une invention, et une jurisprudence abondante est consacrée à la définition et à la reconnaissance de l'invention. Pourtant c'est l'intérêt même pour l'invention en tant que bien qui explique sa mauvaise connaissance en tant que processus.

Tout se passe comme dans le milieu des courses de chevaux. Théoriquement, les chevaux de course visent à améliorer la race, en permettant de la tester. En réalité, le champ de course est le dernier endroit à visiter pour étudier la génétique d'*equus caballus*. Tout d'abord, une grande partie des chevaux de course sont hongres, c'est-à-dire délibérément stérilisés et écartés de la reproduction. Ensuite, le muscle chevalin a cessé de correspondre étroitement aux besoins de l'espèce humaine, et le muscle chevalin qui sert encore à tirer des voitures, à parcourir la campagne ou à d'autres usages socialement significatifs n'a qu'un lointain rapport avec ces élégants comptoirs de jeu qu'on peut voir à Hialeah et Aqueduct.

Je ne nie pas qu'une certaine connaissance de la génétique du cheval puisse se trouver, partielle et déformée, sur les champs de course, et davantage dans les haras, mais il s'agit de génétique du cheval, non en tant que tel, mais en tant que roulette sur pattes. Ces machines de jeu n'ont qu'une infime relation même avec le cheval de cavalerie, qui représente un usage sophistiqué de l'animal comme arme de guerre. Aujourd'hui, avec la cavalerie mécanisée, toute la question de l'amélioration des races de chevaux est bien éloignée des questions militaires. En fait, elle est aussi éloignée d'une utilité pratique que l'élevage des dalmatiens, qui accompagnaient autrefois les véhicules de pompiers à cheval.

Le rapport avec l'invention est que les aspects légaux de l'invention et des brevets sont devenus principalement un ensemble de règles du jeu à grande échelle de l'industrie moderne. La législation sur les brevets et le processus d'instauration d'un monopole sur une innovation peuvent être considérés comme des vestiges d'une volonté de récompenser les talents anonymes à l'œuvre dans les ateliers. Cependant, les partisans les plus actifs et les plus sensibilisés du système des brevets actuel ont réalisé que l'époque de l'inventeur d'atelier était largement révolue, et que le processus d'invention a évolué économiquement, du travail sporadique de l'artisan besogneux, vers le fonctionnement de grandes équipes de recherche, entretenues par le gouvernement ou des industries spécifiques. L'inventeur a été réduite au rôle du cheval de course, dans ce vaste jeu que constituent l'industrie et les projets à grande échelle modernes.

Petit à petit, ce nouveau point de vue a filtré de l'industrie vers l'avocat spécialiste des brevets, et de celui-ci vers les juges, si bien que la doctrine existante en matière d'invention est aussi adaptée au processus intellectuel d'invention que les règles du Jockey Club à l'amélioration effective du cheval en général.

Cet usage de l'invention comme un jeton dans le jeu de l'investissement et de la spéculation est un motif supplémentaire d'invention, qui s'ajoute aux divers motifs précédents.

Le climat de l'invention varie de siècle en siècle, de décennie en décennie, et même d'année en année. Il est de nature très variée. Parfois, le motif de l'innovation est la découverte d'un nouveau dispositif technique, comme la machine à vapeur, ou le moteur électrique, dont l'importance et les conséquences sociales demandent à être évaluées. Une autre fois, l'innovation se fait sentir sur le plan philosophique, peut-être comme un changement dans la méthodologie de la pensée pure.

D'autres fois encore, une science particulière, comme la physique, commence à déborder de son cadre traditionnel, et il s'agit alors de trouver un nouveau contenant, dans lequel transvaser le vin vieux, plutôt que de le verser par terre.

Quelle que soit la source des idées qui font les nouvelles époques et la région où elles commencent à modifier le contrôle de la pensée et de l'action, elles représentent beaucoup plus qu'une innovation dans le seul domaine qui leur a donné le jour. Elles filtrent vers d'autres domaines, par les canaux les plus divers et les plus saugrenus. Un individu travaillant dans un domaine non encore touché par les idées nouvelles, mais se posant des questions à titre personnel, peut devenir un aficionado d'une discipline en mutation. Même si le scientifique n'a pas cet intérêt erratique et général, il a pu être éduqué en partie selon des préceptes novateurs. L'étincelle de la pensée nouvelle peut être une lecture occasionnelle, technique ou populaire, ou même, c'est à marquer d'une pierre, une histoire de science-fiction.

Quelles que soient les voies de l'innovation, les ferments intellectuels, comme les ferments biologiques, sont infectieux. En fait, il est impossible d'être exposé à une idée nouvelle, et de retrouver comme si de rien n'était sa virginité intellectuelle. Ainsi, chaque génération voit quelque domaine auparavant lointain et hermétique non seulement se développer dans le sens d'une amélioration de structure interne et de présentation, mais aussi devenir une source de développement secondaire pour d'autres questions d'actualité, et pour le climat intellectuel en général.

Pour donner un exemple court mais de poids, il est encore possible d'écrire un roman non freudien, mais il n'est plus possible d'écrire un roman dont on puisse affirmer qu'il serait inchangé dans la forme et dans le fond, si le monde

de Freud n'avait jamais existé¹. Dans toutes les productions de l'intelligence et de l'art, dans toutes les ramifications culturelles, goûter le fruit de l'arbre de la connaissance est un acte irréversible.

Le fait fondamental de la croissance scientifique et technique est donc de vivre dans un monde dont le climat intellectuel évolue, et que le caviar spirituel d'une génération devienne le yaourt et le petit-lait de la suivante. Cela ne signifie pas que les idées nouvelles soient appréciées à leur début par un public très large d'intellectuels progressistes. Cela signifie qu'elles sont là pour qu'on les apprécie, et qu'une infection est en cours, devant se transformer en un temps limité en une sorte de réaction en chaîne parmi ceux qui n'ont pas été intellectuellement immunisés².

En d'autres termes, le virus de l'idée nouvelle est là, et tôt ou tard il n'y aura pas seulement un foyer mais plusieurs. En fait, peut-être seulement les personnes particulièrement sensibles seront touchées par les idées nouvelles, mais cette sensibilité n'est pas si rare. Autrement dit, lorsqu'on voit un champignon sortir la tête de l'humus, il y en a sûrement encore beaucoup d'autres prêts à sortir, et, en cherchant bien, on finira par en trouver.

L'innovation intellectuelle, qu'elle prenne la forme de la découverte ou de l'invention, ou du développement de nouveaux goûts esthétiques ou de nouvelles formes artistiques, n'est ni omniprésente ni totalement sporadique. Lorsqu'une invention comme le téléphone apparaît, si on regarde dans la littérature technique, on trouve un peu partout des articles et des demandes de brevets concernant d'autres dispositifs, qu'on pourrait appeler téléphones sans trop de fantaisie.

Dans les branches d'activité intellectuelle dont la récompense est purement intellectuelle, ne prenant pas la forme d'une invention commercialisable, convertible en espèces sonnantes et trébuchantes, c'est une affaire de magnanimité ordinaire que de s'attendre à retrouver chaque idée nouvelle en plusieurs endroits de la littérature, à divers degrés de perfection.

Cependant, quand il s'agit d'une entreprise commerciale de vente d'un brevet ou d'exploitation d'une invention, l'éthique pacifique et magnanime ne tient plus, c'est chacun pour soi, et que le diable emporte les traînants. Dans ces circonstances, on ne remarque pas seulement la paille dans l'œil de l'autre, même s'il y a une poutre dans le sien propre³, mais on cultive soigneusement ce défaut chez l'autre, même là où il n'existe pas tout d'abord.

1. Ch. 8, p. 82.

2. Ch. 3, p. 22.

3. Évangile, saint Luc 6, 39-45.

On connaît bien le personnage de l'inventeur manqué, le pauvre type qui raconte partout que si les avocats avaient été un plus honnêtes envers lui, il aurait fait fortune pour l'invention du téléphone, ou du phonographe, ou de la radio. Quand cet individu devient un prétexte pour le nationalisme de son pays, on rit de ses prétentions, comme on rit des prétentions des Russes sur toutes les inventions d'Edison, Pupin ou Steinmetz⁴. Pourtant, ceux qui connaissent l'histoire de l'invention ne rient pas si fort, parce que l'histoire brute des inventions achevées qui ont été consolidées par un brevet et une exploitation commerciale représente seulement la partie émergée de l'iceberg de l'invention.

Pour établir un brevet, il faut investir une somme considérable en conseil technique et légal, et si on fait partie de ceux peu nombreux qui non seulement ont inventé, mais aussi réussi leur carrière dans l'invention, il faut être capable d'ajouter à une documentation originale bien présentée la volonté de défendre son intérêt, ce qui coûte cher en vérité. Dans tous les systèmes des brevets, la protection conférée par un brevet non homologué est incomplète, mais dans notre système plus que dans aucun autre, un brevet n'est rien d'autre qu'un ticket pour engager une procédure judiciaire.

Notre troupe de jeunes inventeurs semble souffrir de l'illusion que la possession d'un brevet donne une présomption raisonnable de la possession de droits ayant une valeur commerciale. Rien n'est moins vrai. Le degré de présomption conféré par l'existence d'un certificat de demande de brevet est mince dans le meilleur des cas, et ne pèse pratiquement rien face à des intérêts établis et puissants, qui peuvent se payer les meilleurs avocats, et épuiser les petits ayant une bonne idée valable, jusqu'à ce qu'ils la laissent choir sous son poids.

On a vu comment fonctionnait notre système des brevets à l'occasion de la fable morale de Heaviside et Pupin⁵. On voit mal comment des juges sans formation d'ingénieur auraient pu arbitrer une affaire d'une telle complexité technique, dans un domaine dont ils ne connaissaient rien.

Je ne veux pas mettre en doute un instant la sincérité des juges qui ont confirmé les brevets de Pupin, mais je dois protester énergiquement contre un système qui conduit à ce que des décisions aussi délicates soient laissées à des personnes sans connaissances techniques. Il est encore plus grave que les juges traitant les affaires de brevets n'aient pas une connaissance intime du véritable processus d'invention et de découverte.

Je veux bien admettre que l'objectif majeur de la loi n'est pas la justice idéale,

4. Charles Proteus Steinmetz 1865-1923, inventeur du courant alternatif.

5. Ch. 6.

mais une répartition des droits, en particulier de propriété, qui évite une contestation ultérieure et qui permette de trancher de manière non équivoque et irrévocable, en accord ou non avec les principes idéaux de justice. Cependant, quand une loi est basée sur une théorie de la réalité, en désaccord avec les faits, il est difficile voire impossible de régler des querelles de manière impartiale. La pression du pouvoir, des riches, et leur capacité à engager les meilleurs avocats détermine presque certainement l'issue d'un procès.

C'est une doléance presque universelle des avocats spécialistes des brevets de devoir plaider devant des juges sans compétence technique, ni aucun moyen de découvrir ce qui s'est réellement passé. Il est bien possible que cette difficulté soit dans la nature des choses, et que la compétence technique des juges éliminerait un facteur d'injustice, mais en introduirait d'autres tout aussi graves. Néanmoins, un juge sans connaissances techniques et scientifiques doit se reposer sur des experts pour se faire une opinion, et les experts qui interviennent dans une affaire de brevet, comme dans d'autres affaires, sont des témoins *ex parte* engagés par une partie ou l'autre, qui doivent conjuguer les fonctions incompatibles de l'expertise et de la plaidoirie.

On a suggéré, à une certaine époque, que, dans une affaire de brevet, en plus des experts des parties, le juge pourrait faire intervenir encore d'autres experts en tant que *amici curiae* (amis du tribunal). Il y a beaucoup à dire de cette procédure, malgré ses sévères désavantages et limitations.

Les honoraires versés par l'état sont très modestes, et sans comparaison avec la récompense qu'un expert peut recevoir pour un témoignage en faveur d'une puissante firme détentrice de droits substantiels. Dans ces circonstances, il est très tentant pour une firme de recourir au clientélisme pour verrouiller le marché des experts d'élite.

De plus, lorsqu'on a recours au témoignage d'un expert judiciaire dans des conditions telles que les catégories légales sont très éloignées des catégories de fait, il devient honnêtement impossible de prouver qu'une opinion n'est pas sincère, et d'établir un parjure. Mon opinion est que l'expertise dans les affaires de brevets comme dans bien d'autres est traversée par l'essence du parjure, au moins dans la mesure où les témoins se trouvent fréquemment en situation de défendre des points de vue *ex parte* qui ne reflètent pas leur opinion propre, ou, au moins, ne reflètent pas l'opinion qui pourrait être la leur s'ils se sentaient libres d'examiner le problème objectivement.

Cependant, ce parjure d'opinion est presque impossible à établir devant un tribunal au point de constituer un risque réel pour l'homme qui exprime une opinion achetée, conforme à des consignes. De plus, un expert judiciaire qui laisse échap-

per des éléments défavorables à la partie qui l'emploie découvrira à ses dépens que le marché du témoignage en faveur des puissants lui sera fermé.

Aussi longtemps que les juges et les témoins, et même le public en général, demeureront ignorants de la réalité du processus de découverte, et aussi longtemps que le grand tribunal de la rue ne fera que refléter cette ignorance, la procédure des brevets conservera la coloration contestable qu'elle porte à présent. Cela est vrai, que cette ignorance soit véritable ou feinte, guidée par l'intérêt financier supérieur du témoignage unilatéral, qui rend le juge et le témoin également réticents à regarder les choses en face.

Si on me demandait de proposer des méthodes et des mesures positivement destinées à améliorer la loi sur les brevets, je dois avouer que je serais mis à rude épreuve. J'ai parlé de l'intérêt d'experts engagés par le tribunal plutôt que par les parties dans une demande ou une contestation de brevet. Je pense que cet usage devrait être encouragé, mais serait loin de résoudre entièrement le problème.

Je me méfie des experts en tant que tels, et bien que l'état puisse trouver des experts légaux compétents, il y aurait une tendance considérable à ce qu'un travail aussi immatériel attire l'homme conventionnel et complaisant. De plus, aussi longtemps que les expertises sensibles seront confiées aux experts des grandes compagnies, les plaignants les plus faibles et le tribunal devront se contenter de prendre leurs experts dans le dessous du panier.

Ce problème me semble incontournable, même s'il peut être atténué. En fait, j'aimerais que tout expert tire son autorité du tribunal même, agisse en tant que juge, et que sa rémunération soit fixée par le tribunal. Je n'en fais pas une panacée, mais cela permettrait au départ d'assurer à l'expertise une base plus digne que la présente.

Le problème particulier des experts *ex parte*, dont souffre le système des brevets dans ce pays, n'est pas sans relation avec la faible valeur probante d'un brevet aux États-Unis. Par rapport au brevet allemand, au moins dans les périodes d'activité normale avant la Première Guerre mondiale, et dans une certaine mesure, entre les deux guerres mondiales, le brevet américain était peu onéreux mais d'une faible valeur probante.

Le bureau des brevets allemand, comme la plupart de ses homologues européens, insistait sur un examen préalable poussé, par des vérificateurs spécialisés, à la charge du demandeur. Le brevet allemand avait d'autres caractéristiques plus sévères que l'américain, comme le refus d'établir des brevets formels, ce qui se traduisait par le fait qu'un brevet non exploité industriellement perdait sa valeur.

Ainsi, un brevet allemand était à prendre très au sérieux en vérité, et bénéficiait d'une forte présomption de validité devant les tribunaux allemands. Inversement,

le brevet américain, en particulier ces dernières années, était considéré plutôt légèrement, et de très peu de valeur en tant que preuve de l'authenticité d'une invention. Le système américain, en fait un peu déclinant, consistait à édifier une barrière en papier faite de brevets, pour protéger les intérêts d'une firme dans un domaine où elle souhaitait travailler, et à embarrasser la concurrence sans véritable intention d'exploiter les brevets. Ce système a contribué au grand nombre de brevets pris aux États-Unis, et diminué la valeur probante de chacun.

En conséquence, un brevet américain ne permet d'établir une activité sur des bases sûres, qu'après un minimum de procédure judiciaire. Il s'ensuit un transfert de l'autorité, en matière de brevets, des vérificateurs, qui sont des agents de l'administration, vers les juges. Les vérificateurs en Allemagne sont principalement des experts qui ne peuvent agir *ex parte*, dont les jugements considérés comme très fiables ont des conséquences identiques à ce qu'on pourrait attendre d'experts judiciaires nommés par le tribunal, dans des affaires de brevet.

Le système des experts vérificateurs dont les avis ont une grande valeur probante place l'autorité première en matière de brevets là où elle doit être, entre les mains de personnes compétentes, connaissant l'ingénierie et la législation. Le juge fédéral moyen connaît très peu la question des brevets, et uniquement par hasard. Il me semble donc que le système allemand est fondamentalement meilleur, et plus apte à reconnaître les évolutions techniques. Un vérificateur hautement qualifié identifiera à la source une évolution technique, alors que les juges généralistes ont trop peu d'expérience de telles affaires pour pouvoir se faire une opinion de l'état de l'art.

Je pense que le système des brevets à l'européenne est intrinsèquement meilleur. Est-il meilleur en pratique, et les pressions variées qui s'exerceraient sur les autorités en charge des brevets à tous niveaux finiraient-elles par le rattraper, pour le replacer au niveau du système judiciaire ? Je ne sais. Il me manque une connaissance beaucoup plus détaillée, non seulement de la théorie mais aussi de la pratique de la justice et de l'administration.

La question de la différence entre invention et découverte d'une loi de la nature demande un complément de législation, et surtout une nouvelle approche de la part de l'administration des brevets. Un travail bricolé et incomplet peut avoir l'air d'une invention, alors qu'une étude plus achevée montrerait qu'il s'agit essentiellement d'une loi de la nature. Donc, il n'est pas forcément payant pour un inventeur de comprendre à fond son invention, car il peut perdre des droits sur une invention limitée, en découvrant qu'elle est une simple manifestation d'une loi de la nature plus générale. Cela est pour moi intolérable : que le manque de rigueur et la bêtise soit récompensée, alors que la compréhension profonde est pénalisée.

Quand au découvreur d'une loi de la nature au sens strict, il est manifestement impossible et injuste de lui accorder une exclusivité à long terme, sur une idée qui va affecter la science dans son ensemble. Personne ne mérite un tel pouvoir, qui de plus ne profiterait à personne. Cependant, je conçois qu'un gouvernement éclairé récompense les auteurs de découvertes fondamentales.

Dans le chapitre suivant, je discuterai cela en détail. Je ne sais pas si ces récompenses doivent prendre la forme de prix ou de primes, en aussi petit nombre que les prix, ou même, dans certains cas, de pensions, mais je ne considère pas comme impossible qu'un système puisse être mis au point, pour accroître l'attrait ou au moins la sécurité d'une carrière scientifique à vie.

Toutes ces améliorations techniques, cependant, passent à côté du vrai problème : que les avocats et les juges en général, et en particulier ceux en charge des affaires de propriété industrielle et intellectuelle, soient mieux formés, non seulement à propos ses détails techniques, mais aussi du processus effectif de l'invention et de la découverte. Je doute que cela puisse être obtenu simplement par un changement procédural. Cela doit venir d'une compréhension collective meilleure et plus large de l'invention et de la découverte. Si je n'y ai pas contribué par ce livre, alors, c'est sûr, j'ai manqué mon objectif.

Chapitre 11

Buts et problèmes

Depuis la Seconde Guerre mondiale, la politique a changé radicalement, pas seulement en science. On a vécu une période de grands projets, d'éclipse partielle de l'individu, et l'émergence de l'attaque en masse en tant que standard du travail scientifique. On a vu croître les universités et les autres organisations scientifiques classiques, jusqu'à l'épuisement de leur ressources, nécessitant de nouveaux appel au public.

Ce public a adopté une mentalité d'urgence, acceptant de sacrifier son intérêt à long terme et ses idéaux humanistes, pour combattre les dangers du moment, en particulier, en s'engageant dans une lutte pour la suprématie mondiale entre les États-Unis et la Russie Soviétique. Comme les États-Unis, la Russie est une nation agressive, dont la philosophie est moins conditionnée par la stabilité que par un progrès continu vers un but à atteindre.

Cependant, notre lutte contre la Russie Soviétique et le bloc communiste, qui a déjà dépassé la lutte médiévale indécise entre la chrétienté et l'islam, est seulement une parmi plusieurs que la génération présente doit mener. Le capitalisme militant – et tout le capitalisme n'est pas militant – est une idéologie qui s'écarte autant de la tradition du XIX^e siècle que le communisme, surtout quand il se combine à un pseudo-égalitarisme, proclamant, non seulement que les hommes sont égaux en droits et en devoirs, mais qu'ils sont interchangeables sur le plan des qualités.

Les querelles et les controverses dans lesquelles nous sommes engagés durent depuis des décennies. Aussi chroniques soient elles, elles captent notre attention et notre préoccupation d'une manière aiguë, qui n'a pas encore atteint un équilibre à long terme. Dans cette phase de conflits à court terme, elles ont détourné notre attention des problèmes à long terme, si bien qu'une grande partie de l'opinion publique en est à peine consciente. J'ai affirmé, et partiellement démontré, que les

problèmes à long terme appellent une rétroaction sociale à long terme, ou, si on veut, une forme de comptabilité assurant que le futur de l'humanité ne soit pas bradé.

J'ai déjà remarqué que dans une course qui demande un effort intense, et même maximum, de courte durée, l'athlète peut ignorer impunément ses besoins à long terme. Le sprinter peut abîmer son cœur s'il est en mauvaise condition, mais il ne mourra pas de faim sur le champ. Il ne mourra même pas d'asphyxie, car une quantité considérable d'oxygène est stockée en combinaison avec l'hémoglobine dans le sang et les tissus. Il ne peut épuiser ses réserves dans un sprint court.

Mais il n'y a pas que des courses de sprint. Un marathonien ne peut continuer à courir s'il consomme plus d'oxygène qu'il en absorbe. Il doit atteindre un quasi-équilibre, et le maintenir pendant toute la durée de la course. La légende de Phidippides devenant fou et mourant à la fin de sa course de Marathon à Athènes montre bien ce qui peut arriver dans une telle situation. De même, une nation, ou l'espèce humaine, qui doit faire face à une période d'urgence prolongée, ne peut certainement pas ignorer la satisfaction continue de ses besoins à long terme.

Maintenant, une grande guerre ne dure habituellement pas plus de quelques cinq années, et même la guerre froide actuelle n'a pas encore passé la décennie. Cependant, alors que notre président nous dit que l'urgence de la guerre froide et la menace d'une nouvelle guerre chaude doit durer quelques quarante ans, nous ne pouvons nous satisfaire de répondre à ces menaces par des mesures dépendant seulement de la consommation des ressources accumulées.

D'ici quarante ans, nos inventions majeures seront probablement basées sur des idées scientifiques même pas encore imaginées. Le taux relatif de renouvellement de la science fondamentale, par la Russie et par nous-mêmes, est une meilleure mesure de notre capacité à soutenir la compétition avec la Russie dans les prochaines quarante années que ne l'est notre niveau technique actuel, basé sur des concepts scientifiques déjà bien maîtrisés. Il semble bien que la Russie consacre plus de réflexion que nous au maintien du niveau scientifique à long terme. Si nous n'y prenons pas garde, cela peut annuler notre avantage technique et notre capacité démontrée à fournir un effort massif sur un objectif précis.

La Russie peut être notre principal adversaire effectif ou potentiel pour de nombreuses années, peut-être même plus que les quarante dont parle le président Eisenhower. Cependant, notre ennemi majeur à long terme ne sera pas la Russie, mais quelque une des menaces permanentes que sont la faim, la soif, l'ignorance, la surpopulation, voire les nouveaux dangers de pollution par les substances dérivées de l'ère atomique. Ainsi, nous devons nous engager dans un marathon plutôt que dans un sprint. Nous ne pouvons pas gagner ce marathon sans posséder un sens

de l'avenir fondé sur un sens de l'histoire.

Ce livre est donc un appel pour que même dans cette période troublée nous regardions vers l'avenir et préservions nos valeurs séculaires. Je ne dirai pas que notre effort actuel est insuffisant, parce qu'il est déjà presque maximum. Mais il n'est pas adapté à la résolution des problèmes qui vont continuer à se poser. Nous ne pouvons traverser les épreuves prolongées qui s'annoncent simplement avec de l'adrénaline.

Je voudrais reprendre certaines considérations plus ou moins explicites dans les chapitres précédents. Nous avons déjà identifié cet élément clé de l'histoire de l'invention et de la découverte, que les inventions extraordinaires ne sont souvent rien d'autre que la concrétisation d'un changement de climat intellectuel, souvent plusieurs décennies avant l'application industrielle. À ce stade préindustriel, l'introduction d'idées nouvelles est contingente, et l'absence d'un ou deux individus dans la chaîne de pensée y conduisant, sans bloquer définitivement l'innovation, peut la retarder de plus d'une génération.

D'autre part, le stade tardif de l'invention, qui résulte souvent du développement de la culture scientifique, et de la réflexion pluri-disciplinaire, jusqu'à ce que les idées nouvelles puissent être valorisées, a tendance à être un phénomène répétitif et non sporadique, se produisant chez plusieurs individus, presque en même temps, dans plusieurs domaines et dans plusieurs pays. Dans ce dernier chapitre, je voudrais discuter les mesures favorables à l'épanouissement de cette activité humaine multiforme, à ses divers stades.

Quand la seconde période de l'invention est bien entamée, et quand les idées surgissent de toutes parts, il devient petit à petit possible d'évaluer les répercussions sur l'activité humaine en général, en particulier la technique manufacturière et l'ingénierie. Les questions de propriété industrielle obligent à employer les services de l'avocat spécialiste des brevets. Dans le développement de l'invention, hormis la phase des brevets, on peut envisager un programme de développement et d'exploitation dont le risque soit globalement calculable.

Avec un tel risque calculable en vue, une organisation commerciale, ou une organisation pseudo-commerciale, comme on en trouve dans les services de l'État, peut facilement faire des profits en faisant travailler sur cette idée un groupe nombreux et hiérarchisé d'ingénieurs et de scientifiques, chacun assigné à une tâche spécifique. Si ce développement était complètement sans risque, il serait probablement aussi sans gain. L'organisation que je décris assume un certain risque, presque comme une entreprise commerciale ordinaire, où les idées nouvelles ne jouent pas nécessairement un rôle essentiel.

L'attaque en masse, clé de voûte du développement, de la recherche et de

l'ingénierie des grandes organisations, a conquis à la fois les faveurs du public, des entreprises et du gouvernement, à l'exclusion de toute autre conception de la découverte ou de l'invention. J'ai dit et je redis que cette conception ne peut s'appliquer à la totalité du processus de découverte, et est inapplicable en particulier au début, dans les phases les plus vitales du développement.

Alors, l'invention et la découverte ne sont pas des risques calculables. D'abord, l'esprit vraiment inventif doit prendre des risques. Une longue liste de travaux sans faux départ ne dénote probablement pas l'infailibilité de leur auteur, mais simplement qu'il n'a pas voulu pousser ses idées aussi loin qu'elles le méritent. Le joueur de baseball qui ne rate jamais est celui qui ne va pas chercher les balles difficiles, et laisse plutôt un coéquipier rater à sa place.

De plus, les inventions et les découvertes importantes ont besoin de temps pour mûrir. Très souvent, leur exploitation économique demeure impossible, jusqu'à ce que d'autres idées encore à découvrir rendent possible ce qui était auparavant inaccessible. On ne peut pas garder une invention au frais bien longtemps et en même temps l'exploiter commercialement. Garder une découverte secrète signifie refuser aux autres, volontairement ou non, les avantages conceptuels de la découverte. Après une période restreinte – d'autant plus que l'invention est fondamentale – la publier revient à l'offrir au public. Comme on l'a vu avec Heaviside, cela empêche qui que ce soit d'obtenir un monopole. C'est pourquoi la probabilité qu'une invention vraiment fondamentale procure un avantage commercial à une ou plusieurs personnes est en vérité infime. Il n'est simplement pas rentable de miser sur elle, parce qu'il n'existe aucun moyen d'assurer que ce pain jeté à l'eau revienne à qui l'a semé.

Notre système économique accepte de grands risques calculés, mais non de petits risques non calculés ou non calculables. Cela est à rapprocher du fait que la collectivité a intérêt à prendre des risques qui échappent aux lois de la rentabilité ordinaire, par le fait de quelques individus. Qui doit porter les idées nouvelles de la conception à la parturition ?

Dans la société telle qu'elle est, certaines institutions scientifiques, telles les universités et certaines fondations, ont un but non-lucratif. De plus, certains individus en petit nombre, mais très importants, ne sont que modérément sensibles à la motivation du profit. Quand l'industrie accapare le rôle important de ces institutions et de ces individus, il s'ensuit une distorsion très subtile, mais significative, de leur fonctionnement.

Certaines industries et sociétés entretiennent en fait des scientifiques et des sciences hautement individualistes. Dans une certaine mesure, la raison en est que des mêmes individus et des mêmes sciences, qui contribuent à la collecti-

vité au sens large et à l'environnement profitant à une firme, on peut soutirer des développements spécifiques. Ce double emploi comporte aussi le risque qu'ils s'embourbent dans ces développements, et cessent de contribuer à la science en général.

Ces quelques individus et sciences peuvent aussi profiter marginalement à l'industrie, en termes d'image et de publicité. L'association de Charles Steinmetz avec la société General Electric produisit des inventions très importantes et immédiatement utilisables, mais aussi l'idée que quelque chose d'important sur le plan scientifique était en train de se produire chez General Electric. Cela n'était pas sans valeur pour leur publicitaires et pour leur image.

Le cas de Steinmetz était cependant très spécial. En plus de sa grande compétence, son infirmité et son caractère individualiste, plus ou moins liée à son infirmité, le rendaient pittoresque. Mais un Steinmetz est une occasion unique, et les sociétés qui ont tenté de fabriquer des personnalités créatives à partir d'une nature moins pittoresque, pour leurs besoins publicitaires, ont été bien loin de rencontrer un semblable succès.

Une industrie peut protéger une ou deux personnes de cette espèce, mais non un groupe suffisamment grand et cohérent pour assurer à elle-même et à la collectivité le renouvellement des idées qui doit permettre de prévenir l'assèchement du puits de la science.

D'autres problèmes se posent à une firme qui veut employer un scientifique individualiste, en particulier s'il doit travailler dans les mêmes locaux que des ingénieurs plus conventionnels. Il est dans la nature du scientifique individualiste d'obtenir la récompense de son caractère plutôt en liberté qu'en argent. S'il n'est pas ainsi fait au départ, il trouvera plutôt son bonheur dans le laboratoire de développement, et même dans la force de vente.

Pourtant, cette liberté qu'il a sera aussi une épine dans le pied des scientifiques plus conventionnels qui travaillent au même endroit, et encore plus une épine dans le pied des employés à vocation purement industrielle. À moins d'être un homme très éminent, le scientifique non conventionnel sera honni. Même l'homme éminent ne parvient à sa situation qu'en passant par des stades où il n'est pas éminent.

Ainsi, pour bien faire et pour être honnête, la collectivité a intérêt à ce que la recherche fondamentale dispose d'un foyer d'accueil, souvent une institution où son amour de la liberté et le respect qu'il attend de ses collègues ne soit pas un privilège, mais une part intégrale de son environnement de travail.

En rapprochant l'utilité particulière de la recherche fondamentale et l'indétermination du bénéficiaire réel de ses services, peut-être pas son employeur mais un tiers, qui s'en aperçoit bien plus tard, on comprend que le laboratoire commercial

ne puisse jamais devenir le foyer exclusif de la science.

L'époque actuelle favorise le gros laboratoire et l'homme sensible à la motivation du profit. De plus, elle favorise l'homme qui rencontre ses collègues de travail au club de loisir ou autour d'une table de bridge. Le vrai scientifique de premier plan est par nature un homme trop occupé pour se soucier d'argent ou de signes ordinaires de richesse, tels que popularisés par Thorstein Veblen¹.

Il est vrai que le professeur d'université doit combattre le conservatisme et le conformisme social ambiants de l'université, mais ces entraves à sa liberté, quoique réelles, sont certainement moins grandes que celles du salarié de l'industrie. Une personnalité trop forte pour le laboratoire universitaire sera presque toujours trop forte pour le laboratoire industriel.

Il y a d'autres moyens de tuer un chat que de le couvrir de beurre, mais, après tout, ce moyen-là est très efficace. Il y a d'autres moyens de paralyser intellectuellement un scientifique que de lui donner un million de dollars de budget et d'espérer des résultats financiers en proportion, mais c'est aussi une bonne manière de le paralyser. Pour l'homme capable et consciencieux, la responsabilité d'une grosse somme d'argent est toujours un fardeau, sauf s'il est terriblement motivé pour cela. Si je n'ai rien d'autre que mon salaire, je ne me sens pas particulièrement honteux que mon idée nouvelle fasse long feu et de passer un an ou deux sans succès. Si on me versait ce genre de salaire qui était jusqu'à récemment réservé à la royauté et aux chefs d'entreprises, je commencerais bientôt à m'inquiéter de ma stérilité. Il se peut bien que d'autres s'en inquiètent aussi, à commencer par mon chef. En tout cas, il me serait difficile, personnellement, d'accepter un salaire fabuleux sans exiger de moi-même une performance fabuleuse.

Le free-lance ne trouve sa place facilement dans aucune niche d'un système purement capitaliste. Dans une certaine mesure, cela n'a rien à voir avec le capitalisme, parce qu'il ne s'adapterait pas mieux à une quelconque grande organisation communiste ou socialiste, conduite par la tradition industrielle ou par la discipline étatique à budgéter ce qui ne peut pas l'être, en argent ou en effort national. Le scientifique affairiste, l'homme qui joue des millions de dollars en une fois, est toujours l'esclave de sa situation, que l'argent vienne d'une industrie privée ou d'un monopole d'état.

Je fais de ce livre un appel en faveur du vrai scientifique, qui veut cependant vivre modestement, et qui, en fait, ne peut jouer son rôle qu'en vivant ainsi. Je ne prétends pas que le système capitaliste ou le grand capital ou l'État tout-puissant

1. Thorstein Veblen 1857-1929, économiste et sociologue, observateur de la société américaine.

soit universellement invalide. Je prétends simplement qu'ils ne satisfont pas la totalité des besoins de la société en invention et en découverte. Ils ont en commun de proposer une localisation de l'activité scientifique et de la responsabilité scientifique qui n'est pas nécessairement dans l'intérêt du peuple, de la collectivité au sens large, ou même, à long terme, du capitalisme ou de l'étatisme.

La motivation du profit peut être importante, mais il doit y en avoir d'autres. La collectivité doit cultiver un groupe qui ne soit pas subordonné au profit, ni dans ses relations avec l'extérieur, ni en interne. On a besoin du free-lance dans les arts et dans les sciences, et le free-lance trouve naturellement sa place dans des institutions conçues au départ pour lui fournir un cadre adapté. Pour les étapes vraiment vitales de l'invention de la découverte, le petit laboratoire et la fondation bien conduite, comme la fondation Guggenheim, s'adaptant aux besoins du scientifique individuel, sont irremplaçables.

La protection de la découverte et la possibilité d'une carrière décente pour le découvreur et l'inventeur doivent être assurées par des méthodes qui ne se limitent pas à donner à l'inventeur, son employeur ou ses héritiers ou ayant-droits, des droits de propriété permanents sur ses idées. Cela est particulièrement vrai si on considère, comme souvent aujourd'hui, que les droits de libre entreprise et de propriété privée impliquent le droit implicite, pour un propriétaire, de gaspiller, de détruire ou de supprimer son bien ou son droit.

Dans l'histoire en général, comme le Pr Karl Deutsch me l'a signalé, relativement peu d'époques ont considéré la propriété privée et les actifs à long terme comme absolus et admis le droit du propriétaire à gaspiller et à détruire les produits agricoles, autant que de les conserver et d'en jouir. Une de ces périodes fut celle de la Rome impériale et une autre celle de l'expansion coloniale, commençant avec les conquistadors, et en voie d'achèvement aujourd'hui. Le professeur Deutsch m'a fait remarquer que ces périodes de propriété illimitée de la terre furent également des périodes d'esclavage, c'est-à-dire, de propriété illimitée des être humains.

La plupart des époques d'esclavage, y compris celle des serfs au Moyen-Âge, ont limité les droits du maître sur l'esclave. Le servage attachait le serf à la glèbe, et l'assimilait à la glèbe pour ce qui est de la propriété. Au moins en théorie, un seigneur n'avait pas davantage le droit de dégrader physiquement ses serfs que sa terre. Ce qui l'empêchait d'exercer une propriété absolue était sa responsabilité devant son suzerain.

L'ergastule romain et le camp d'esclaves de la plantation du sud ; la mine d'argent mexicaine du XVI^e siècle et la mine de diamants d'Afrique du Sud : tous appartiennent à une tradition plus dure et plus dévastatrice que celle du système

féodal.

Derrière ce que j'appellerai l'attitude du planteur, qui permet de tuer ses esclaves au travail, et de récolter le produit de la fertilité de la terre, sans se préoccuper de sa préservation pour les générations futures, se trouve la négation directe de l'attitude d'Albert Schweitzer, c'est-à-dire le respect de la vie. Traiter les êtres humains comme des marchandises est évidemment un manque de respect pour la vie ; mais déboiser sans replanter, gâcher la terre, ou stériliser la terre de l'intelligence humaine est aussi un manque de respect pour la vie. C'est parce que Schweitzer a compris la généralité de ces dégradations, et l'a clairement dénoncée, qu'il a accédé au rang de prophète moderne.

Ainsi, une idée vraiment fondamentale ne peut être véritablement possédée, mais seulement servie, dans l'intérêt général. Comment ce service peut-il être facilité au mieux par des mesures honnêtes vis-à-vis de la collectivité et de l'intelligence créative ? Sans espérer régler de sérieux problèmes politiques en une ou deux phrases, je voudrais suggérer un ou deux facteurs peut-être significatifs.

Pour que l'invention puisse remplir son rôle social, elle doit être reconnue. Il ne suffit pas que quelqu'un découvre une idée nouvelle, ni même que cette idée soit archivée de manière à être consultable par tous. L'information n'est pas simplement une mesure de ce qui se dit, mais plutôt une proportion entre ce qui se dit et ce qui pourrait être dit.

Le plus beau livre du monde peut bien exister dans une bibliothèque. Si aucun système n'existe pour diriger l'attention du lecteur vers ce livre plutôt qu'un autre, alors ce livre est de peu de valeur, inversement proportionnelle à la taille de la bibliothèque. Autrement dit, une découverte intellectuelle est sous-estimée, en l'absence d'un système permettant de la reconnaître.

Le monde doit être plein de Miltons muets et anonymes, qui ne peuvent jouer le rôle d'un Milton tant qu'ils restent muets et anonymes, ou même aussi longtemps que personne ne les écoute, précisément parce qu'ils sont anonymes.

C'est pourquoi, bien plus que pour une quelconque titillation que la reconnaissance procure au créateur, il importe que les esprits les plus inventifs soient formellement reconnus. Il n'existe aucun intellectuel de premier plan qui n'ait d'idée assez précise de la valeur de son travail. La fausse modestie n'est pas une vertu cardinale.

Inversement, une gemme de la plus grande pureté ne vaut pas grand chose au fond d'un gouffre insondable de l'océan. Ce n'est pas pour le créatif même que la reconnaissance compte : c'est pour les autres scientifiques et pour ceux qui pourraient réutiliser son travail. Le principal point fort d'un système de récompense et de reconnaissance pour le scientifique est de guider la recherche et de faciliter la

réutilisation du travail scientifique.

Il n'est ni désirable ni possible de donner au découvreur d'une idée scientifique flambant neuve le monopole de son exploitation commerciale pendant une durée quelconque. D'une part, il y a des idées dont les conséquences sont telles qu'aucun homme n'en mérite le bénéfice exclusif. Je le dis, non seulement dans l'intérêt de ceux qui pourraient se retrouver soumis à une telle autorité de la part du scientifique, mais tout autant dans l'intérêt du scientifique même. Se maintenir dans une situation de grand ponton, même avec la plus grande modestie intérieure, est un fardeau et une cause d'isolement. On ne peut pas en dire moins de l'homme de lettres, qui est tenu d'être à l'affût de la nouveauté.

D'autre part, la valeur d'un travail scientifique ne se révèle pleinement que par sa réutilisation répétée, et par sa libre circulation dans les esprits. Ici, tout secret ou toute exclusivité aura pour conséquence naturelle de détourner les gens d'un domaine de travail déjà verrouillé. Ainsi, les conséquences intrinsèques d'une découverte seront retardées. De plus, un effet secondaire sera de retarder la reconnaissance pleine et entière qu'un découvreur mérite pour son œuvre.

Comme une récompense en propriété pure n'est pas adéquate, il devrait y avoir, à mon avis, quelque autre système de récompense du travail scientifique dont l'application pratique est lointaine et contingente. Ce système devrait tendre vers la sélection directe (sans intermédiaire) des individus réellement créatifs. Son but devrait être de faciliter leur travail en leur fournissant un environnement favorable, qu'il n'est pas raisonnable de proportionner aux retombées commerciales de leurs découvertes. Ici, je mets la découverte et l'invention dans le même sac, parce qu'il n'est question d'aucun droit de propriété exclusive. La découverte est une contribution aussi grande que l'invention à l'avenir de la science et de la technique.

Sous quelle forme cette reconnaissance devrait-elle être accordée, et par qui, je ne peux l'affirmer dogmatiquement. Il y a plusieurs possibilités. À côté du prix, qui représente une récompense en nombre limité, incompatible avec la croissance universelle probable de l'activité scientifique, j'imagine la prime, selon laquelle la récompense dépend plus du mérite absolu du travail accompli que du classement dans une compétition encadrée. Je pense aussi à la pension, qui pourrait être accordée pour améliorer immédiatement le niveau de vie du bénéficiaire, ou pour assurer ses vieux jours. Je m'abstiens de recommander un moyen plutôt que l'autre, ou de me prononcer sur le choix des organismes qui devraient assumer cette importante responsabilité sociale.

À tout le moins, toute récompense d'un travail scientifique devrait avoir pour objectif davantage l'intérêt général que l'intérêt particulier. Elle devrait être su-

bordonnée à la publication intégrale et libre des idées découvertes. La vérité ne rend libre que si elle est librement accessible.

Index

Freud, 82, 96

Heaviside, iv, vii, 53, 55, 106

Platon, 8, 43, 44