

DIGITHÈQUE

Université libre de Bruxelles

Revue de l'Université de Bruxelles, 1977/2, Bruxelles : Université libre de Bruxelles, 1977.

http://digistore.bib.ulb.ac.be/2011/DL2503255_1977_2_000.pdf

Cette œuvre littéraire est soumise à la législation belge en matière de droit d'auteur.

Elle a été publiée par l'**Université Libre de Bruxelles** et numérisée par les Archives & Bibliothèques de l'ULB.

Tout titulaire de droits sur l'œuvre ou sur une partie de l'œuvre ici reproduite qui s'opposerait à sa mise en ligne est invité à prendre contact avec la Digithèque de façon à régulariser la situation (email : [bibdir\(at\)ulb.ac.be](mailto:bibdir(at)ulb.ac.be)) .

Les règles d'utilisation de la présente copie numérique de cette œuvre sont visibles sur la dernière page de ce document.

L'ensemble des documents numérisés mis à disposition par les Archives & Bibliothèques de l'ULB sont accessibles à partir du site <http://digitheque.ulb.ac.be/>

REVUE DE L'UNIVERSITÉ DE BRUXELLES

Science et Société

Avant-propos	
<i>par Jean Pierre Boon</i>	167
La fabrique de la troisième culture	
<i>par I. Stengers et S. Pahaut</i>	169
Préliminaires	
<i>par Serge Moscovici</i>	172
Remarques introductives	
<i>par I. Prigogine</i>	180
Turning Points in the Relations of Science with Society	
<i>by J. R. Ravez</i>	187
Crise de la science, crise de la société	
<i>par Jean-Jacques Salomon</i>	201
Métamorphoses de la science. Culture et science aujourd'hui	
<i>par I. Prigogine</i>	233
Science today and its Environment	
<i>by Peter Weingart</i>	263



Comité de rédaction de la Revue de l'Université

Directeur **M. Charles Delvoye**

Administrateur
Secrétaire de
rédaction **M. Jacques Sojcher**

Membres **Messieurs John Bartier, Paul Bertelson, Jean Blankoff,
J. P. Boon, Mademoiselle Lucia de Brouckère,
Monsieur Jacques Devooght, Docteur Jacques Dumont,
Messieurs Michel Hanotiau, Robert Pirson,
Pierre Rijlant, Lucien Roelants, R. Vanhauwermeiren**

Abonnements 4 numéros par an de 120 pages environ :
Abonnement — Belgique : 500 FB
Étranger : 650 FB
Prix du numéro : 165 FB
Prix du numéro double : 330 FB

Prière d'adresser les souscriptions aux

ÉDITIONS DE L'UNIVERSITÉ DE BRUXELLES

Parc Léopold, 1040 Bruxelles (Belgique)

Téléphone : 02/735.01.86

— au CCP 000-0749231-03 des Éditions de l'Université de Bruxelles ou

— à la Société Générale de Banque pour le compte 210-0377218-37 des Éditions
de l'Université de Bruxelles.

Les articles publiés n'engagent que leurs auteurs.

Les manuscrits non publiés ne seront pas renvoyés.

REVUE DE L'UNIVERSITÉ DE BRUXELLES

1977 · 2

Rédaction	Avenue des Ortolans 76 1170 Bruxelles Belgique
Administration	Parc Léopold 1040 Bruxelles Belgique

Éditions de l'Université de Bruxelles

Avant-propos

par Jean Pierre Boon

Membre du Comité de Rédaction

Au moment où notre société européenne est engagée de plein pied dans une civilisation dont la science et la technologie font partie intégrante, il importe de jauger les répercussions de cet héritage culturel. A la notion de progrès qui en est la conséquence communément admise, s'adjoint parallèlement celle de la remise en question d'un certain nombre d'idées fondamentales. L'intégration et les effets rétroactifs de l'activité scientifique dans la vie sociale, politique et économique tendent à faire éclater le carcan d'une certaine tour d'ivoire : l'interpénétration science-société débouche aujourd'hui sur la nécessité d'une prise de conscience qui déborde du cadre des problèmes purement formels.

La science a sa place dans la vie de tous les jours ; le scientifique n'échappe plus au quotidien, celui-ci subit les influences de celui-là : leurs évolutions ont partie liée. Mariage de raison, peut-être, mais dont le contrat n'est pas établi sous le régime de la séparation des biens. Et les crises pour inévitables qu'elles soient, n'en sont pas pour autant salutaires : science et société paient les tributs mutuels de leurs crises respectives.

Du 31 mai au 2 juin 1977 se tenait à Bruxelles, le colloque "Crise de la Science dans les Sociétés Européennes". Cette réunion était organisée sous les auspices de la Commission des Communautés Européennes et sous la présidence du Professeur Prigogine de l'Université Libre de Bruxelles. Quatre thèmes figuraient au programme :

Evolution historique des rapports science-société,
La problématique actuelle,
La crise de la science : le diagnostic interne,
Pronostic sur le comportement à court terme des milieux scientifiques.

Chacun de ces thèmes faisait l'objet d'une conférence suivie d'un débat. Ce sont les textes des quatre exposés principaux qui constituent l'essentiel de la matière du présent fascicule. Une introduction au sujet est donnée dans deux articles, l'un situant le cadre général du colloque, l'autre exposant les motivations fondamentales. L'ensemble est complété par quelques remarques en guise de conclusion.

Nous adressons nos remerciements aux auteurs des textes ainsi qu'à la Commission des Communautés Européennes qui en a autorisé la publication.

La fabrique de la troisième culture

par I. Stengers, S. Pahaut

Université Libre de Bruxelles

Au sein de la Commission des Communautés Européennes, la *DG XII* (Direction générale de la recherche, de la science et de l'éducation) tente de mettre en place les instruments d'une politique pour la mise en œuvre des connaissances.

Outre ses contacts statutaires avec les représentants des Etats membres (entre autres via le *CREST*, Comité de la recherche scientifique et technique), la *DG XII* s'est donné les moyens de prendre l'avis de personnes privées. C'est ainsi, entre autres, qu'en 1973 fut constitué le *CERD*, Comité européen pour la recherche et le développement, dont les vingt-et-un membres, choisis selon des procédures souples (de chaque pays un au moins, quatre au plus), appartiennent aux milieux industriels et académiques les plus dynamiques.

Les thèmes débattus par ce collège sont typiques d'un souci d'actualité : société à basse consommation d'énergie, prospective, études sur les *mutations sociales* souhaitables et les *équilibres naturels* désirables. Pour donner sans plus la mesure des phénomènes qui retiennent l'attention des membres du *CERD*, rappelons qu'à ce jour plus de 250 millions de personnes habitent le territoire des Neuf pays de la Communauté — soit l'ordre de grandeur des deux autres géants du monde industriel.

Dès aujourd'hui se dégage une problématique originale qui, par delà les nécessaires incitations aux innovations scientifiques et techniques, touche

au fait concret, massif et spécifiquement contemporain, de la présence de la science dans la société (1).

En 1976, un nouveau sigle voit le jour : ESIST (European Society and its Interaction with Science and Technology). Avant d'être un collège, *ESIST* devait être une suite d'événements à caractère exploratoire (études, colloques, publications) soutenus par le *CERD* et la *DG XII*. Le colloque de juin 1977 est à ce jour la seule manifestation publique de l'idée *ESIST*.

La toile de fond — crise, désenchantement, malaise — dont les teintes sombres s'enrichissent à la lumière frissante de la crise économique, les différentes mises en perspective historique, la diversité des situations sectorielles, nationales, voire régionales, sans compter le caractère global du problème, faisaient fâcheusement augurer de la seule possibilité d'une confrontation des discours en présence. Il est difficile en réalité de savoir ce qu'il en est aujourd'hui de l'«entente cordiale» entre science et société. La culture ambiante brasse, diffuse et amplifie sans relâche les aspects les plus contradictoires d'une relation en soi complexe. *Einstein on the Beach* côté jardin, côté cour Einstein sous les pavés. L'opinion ne sait trop à quoi (noms propres, disciplines, institutions, «esprit scientifique») rattacher des opinions et des sentiments de soi déjà plus qu'ambigus.

Il est vrai qu'en l'affaire, la science figure sous des espèces qu'on lui reconnaît finalement fort peu : comme ensemble de problématiques. Quand il s'agit de situer l'impact de l'accélération des progrès scientifiques dans les tissus culturels, économiques et sociaux de l'Europe, les choses ne peuvent avoir la pureté quasi-contemplative et comme un peu truquée des théorèmes, ni même la simplicité irritante des problèmes.

Il en va ainsi, par exemple, de la mise en cause de la science dite occidentale. Non plus qu'elle ne mérite (par défaut) l'honneur d'avoir créé la science, l'Europe ne peut (par excès) prétendre à l'indignité de l'avoir conçue dans le péché : cette culpabilité complaisante débouche trop aisément sur l'idée que c'est à l'Europe de donner au monde une science nouvelle, lavée de la faute occidentale. La science a part liée au désordre d'une société, la nôtre. Ce n'est pas dire qu'elle doive son existence aux avatars de cette société-là, non plus que son destin lui soit lié.

(1) On notera que cette maturation de la réflexion gestionnaire fait écho à celle du discours critique, lequel, pendant les mêmes années, est passé de la dénonciation de l'usage *instrumental* de produits particuliers de la science et de l'industrie mis au service d'une «mauvaise politique» (Bombe, défoliants ...) à l'évaluation du fait politique *global* créé par la prolifération du corps scientifique dans la société.

Une confusion égale prévaut en ce qui concerne la problématique de ce que les allemands ont appelé *Finalisierung*, et qui consiste à fixer à la science des objectifs à finalité sociale. Parce que la science n'offre plus de techniques locales mais prolifère en populations de techniques, l'idée s'effondre qu'elle sert, comme un instrument plus ou moins docile, tels idéaux assignés. Les tableaux dispersés de nos croissances chiffrent les mythes du progrès en ce double sens qu'ils quantifient leur contenu en même temps qu'ils en déguisent la signification.

Les choses ne sont pas moins foncièrement problématiques à propos de ce qu'on a appelé la « crise de crédibilité ». Un récent sondage, mené à l'initiative de la Commission des Communautés Européennes, a fait justice de la thèse selon laquelle l'opinion publique tiendrait ces derniers temps la science en piètre estime. Pour fragile que soit un mode d'enquête forcément voisin du plébiscite, il n'est pas sans pertinence que se soit déclarée une confiance massive. L'idée de la science ne semble pas requérir aujourd'hui les ressources apologétiques qui inspirèrent la *Théodicée* de Leibniz. Nous n'avons pas besoin d'une technodicée. Par contre, il est certain qu'un vent de crise souffle à l'intérieur des institutions scientifiques, dont témoignent par exemple les résultats d'une enquête menée par l'Institut für Demoskopie d'Allensbach sur *la situation de la recherche dans les universités allemandes* (*Frankfurter Rundschau*, 30-4-1977, n° 100, p. 14).

Le dossier ici présenté rassemble quelques unes des thèses confrontées. Le lecteur jugera si, comme il nous paraît, l'événement témoigne de la progressive constitution d'une troisième culture⁽²⁾. Par delà les affrontements duels, la tâche de l'heure — pour subvertir l'expression incisive de Theodore Roszak — pourrait s'énoncer « The making of a Third Culture » : soit la genèse d'une génération qui ne soit plus prise dans les faux tiraillements entre « humanités » et « sciences » mais, plus simplement, engagée dans les tensions effectives d'une histoire qui n'attendra pas, craignons-le, la fin de nos atermoiements interdisciplinaires.

(2) Au sens où Lord Snow l'appelait de ses vœux dans le *Second Look* adjoint en 1964 au célèbre texte des *Rede Lectures 1959* (*The Two Cultures and a Second Look*, C. P. Snow, Cambridge University Press, 1964).

Préliminaires

par Serge Moscovici

Nous sommes invités à discuter un sujet très profond et très compliqué en même temps. C'est pourquoi il nous faut, il me faut beaucoup d'audace pour l'aborder, parmi tant de choses dites, sous le poids de tant de choses écrites. Et comment reconnaître le pas encore dit, le pas encore écrit qui nous permettrait d'échapper au redit, au réécrit, à la répétition du commentaire, à la régression ou progression à l'infini du discours? Tout ce croise et se recroise au même carrefour (carrefour du même!) parce que, finalement, la question du rapport de la science et de la société résume toutes les questions de la science et de la société d'aujourd'hui. Nous savons qu'il y a question, que tout, à ce propos, fait question, mais nous n'avons pas formulé cette question, nous ne savons pas quelle est cette question, et, partant, il y a abondance de réponses qui flottent comme des âmes damnées à travers l'air du temps. Je nous soupçonne d'hypocrisie et nous crois voués à l'incommunication pour longtemps encore. Malgré des essais méritoires, l'épistémologie reste fidèle à sa vocation qui est de préserver la pureté de la science, d'enseigner ce qu'est la bonne science. La question qu'elle se pose est «qu'est-ce que la pensée?» libérée de toute pesanteur sociale, détachée des contraintes du politique, de l'économique et autres. Et les scientifiques, quels que soient leurs engagements dans le monde, ont beaucoup de difficulté à intégrer ces engagements dans leur recherche et leur pratique, à y inclure la vision de l'avenir de l'homme et de la société à laquelle ils adhèrent *par ailleurs*. De son côté, la sociologie reste aussi fidèle à sa vocation propre qui est de comprendre la société, de fournir des instruments d'analyse aux acteurs collectifs et une «philosophie» de la vie en commun. Dans cette

perspective, la science est un produit quelconque, situé entre la technique et l'idéologie, entre la production et la politique, qui permet de mieux saisir «ce qu'est la société», ou telle société, la société capitaliste, la société socialiste, etc. Ainsi sommes-nous tiraillés entre des interrogations qui ne se rejoignent pas, et nous cherchons des solutions qui se rencontrent par hasard, et même dans ce cas le font uniquement sous la pression des événements extérieurs. Que cette pression diminue, et chacun reprendra ses billes, retournera à ses chères études comme avant. Car c'est seulement contraints et forcés que les scientifiques en sont venus à justifier ce qu'ils font, aux yeux de la société, et c'est contraints et forcés que les responsables politiques, les sociologues ont abandonné leurs préoccupations habituelles pour s'intéresser à la science. Les arrière-pensées sont restées à l'arrière de la pensée, elles n'ont pas émergé au niveau de la réflexion et du discours. J'entends, le désir de retrouver la situation d'antan où la science était révérée par tous et où la société s'appuyait sur elle, comme elle s'est autrefois appuyée sur la religion, ce qui faisait que les temps modernes de Comte n'étaient pas les temps modernes de Charlot. Mais je ne vois pas comment, sans passer par les arrière-pensées, on réussira à faire communiquer une épistémologie et une sociologie, la première foisonnant d'idées intéressantes sinon forcément vraies, la seconde regorgeant d'idées vraies quoique peu intéressantes, proches de la trivialité. Ce qui nous obligerait à nous interroger sur "ce qu'est une société qui pense", comme on s'est interrogé sur ce qu'est une société qui travaille, qui échange, et ainsi de suite.

Je n'aime pas tellement l'idée de crise, je ne la trouve nullement éclairante. On parle de la crise de l'adolescence, de la crise de la croissance, de la maturité, etc. Finalement, on vit tout le temps en crise. La crise, vous le savez, c'est la vie. On est cependant, en matière de science, à un «tournant» du questionnement, dans une sorte de phase ultraparadoxale de ce tournant, au sens où l'on parle de sommeil paradoxal, en présence d'une sorte de réponse, d'activité saccadée pendant laquelle il est bien difficile de savoir quelle direction prendre, et même si l'on a choisi une direction, de prédire son futur imprévisible. Vouloir tout faire dépendre de cette possibilité de prévoir, extrapoler, en somme, me paraît être une tâche à la fois noble et vaine (la vanité n'est-elle pas un des attributs de la noblesse?) parce qu'on est toujours désespérément surpris par les solutions que l'histoire a apportées à ses problèmes. Lisez les prédictions sur l'an 2000 faites il y a deux cents ans.

Vous verrez qu'il n'y a aucun rapport entre ce qui risque de se passer vers l'an deux mille et ce qui a été écrit à ce sujet. Tant il est vrai que parler du passé et du futur est une manière de parler du présent.

Ceci étant, je vais tourner autour de l'exposé du Professeur Ravetz qui est un très bon exposé touchant à beaucoup de points intéressants. J'avoue avoir été un peu gêné par la distinction qu'il fait entre une science «lettrée» et une science «illettrée», car je ne la crois pas importante. Vous savez bien que Léonard de Vinci fut dans son temps un «homme sans lettres», tout comme Faraday dans le sien, ce dernier au sens total du terme : illettré en mathématiques, illettré en mécanique, etc. Si l'on ne confond pas «illettré» et «analphabète», alors on se dit que la *literacy*, l'universitarisation de la science ne lui a rien apporté de décisif, qu'elle marche aussi bien quand elle est illettrée. Ou, pour m'exprimer d'une autre façon, elle a même fait avant, jusqu'à la fin du XIX^e siècle, des découvertes théoriques et expérimentales aussi importantes que celles qu'elle a faites après. Son entrée dans l'orbite académique l'a un peu mieux codifiée, sans changer les choses sur le plan de l'épistémologie, de la créativité. En écoutant le Professeur Ravetz, je me suis demandé s'il fallait continuer à pousser la science dans le sens de la *literacy*, ou plutôt dans le sens de l'*illiteracy* qui, malgré tout, l'a tenue en contact plus étroit avec le reste de la société et de la connaissance. N'y voyez pas une tentation d'anarchie ou de populisme, mais d'abord un souci de racines, de vitalité, de reconstitution du corps d'une société qui pense par elle-même et pour elle-même.

En l'écoutant, je me suis aussi demandé si nous devons continuer à considérer la science comme un solide, un bloc, s'il ne fallait pas plutôt y voir un liquide, un fluide soumis à des vagues, à l'instar des arts. Il y a une science maniériste, si je puis m'exprimer ainsi, puis une science classique, une science baroque, une science romantique, une science abstraite (cubiste). Chacune d'elles a entretenu un rapport subtil avec la sensibilité, la langue ou l'art de son temps. Qui ne voit le rapport entre la perspective et la mécanique, entre la chimie et la peinture, la mystique et la littérature? On peut briser cette notion de science en tant que bloc homogène, bâtisse qui a commencé à s'édifier au dix-septième siècle et que nous construisons toujours, que nous construirons jusqu'au jour du jugement dernier. Cette notion nous rend prisonniers d'un style de recherche, d'une métaphysique, d'un rapport au monde.

Mais je vais aller un peu plus loin. Je me suis posé la question de savoir si nous avons été suffisamment attentifs au rapport entre la science

et la division, la transformation du rural et de l'urbain. La science dite occidentale est née dans les civilisations urbaines, c'est un fait, et on peut avancer l'hypothèse que les tournants ou la « crise » de la science ont toujours quelque lien avec les tournants ou la « crise » de l'urbain. A preuve la Grèce, le douzième siècle, la Renaissance et probablement notre époque. Il faudrait encore le comprendre, savoir le comment et le pourquoi. Toute analyse dans ce sens, si elle a quelque intérêt, doit tenir compte des deux éléments qui associent la science à l'urbain. D'abord la guerre, qui a le triste mérite de suspendre le calcul économique, d'enfoncer les barrières mentales ou sociales, d'être une folie attentive aux inventions les plus folles. Ceci a été vrai pour les ingénieurs de la Renaissance autant que pour les scientifiques d'il y a trente ou quarante ans. Ensuite le spectacle. Je pourrais reprendre toute l'histoire des sciences pour vous montrer que toutes les découvertes germinales se sont inscrites dans l'univers du spectacle avant de s'inscrire dans celui de la production. On a retrouvé dans le théâtre du monde ce qu'on a commencé par créer pour le théâtre tout court. Qu'il s'agisse de la mécanique, de la physique ou de la chimie, c'est scrupuleusement exact. Bien sûr, la domination compte, bien sûr les classes sociales comptent, mais il est important de savoir où et à propos de quoi elles comptent. D'où l'hypothèse que je viens de vous proposer.

* * *

Le Professeur Ravetz touche quelque part un mot du monde enchanté et du monde désenchanté, et il arrête leur présence au dix-huitième siècle. Là, je vais marquer un désaccord. Le physicien Pauli a soutenu quelque part la thèse de l'existence de deux types de pensée qui coïncident, à mon avis, avec deux types de science, une science enchantée et une science désenchantée, de l'enchantement et du désenchantement du monde. Leur dualité et leur antinomie sont fortement enracinées dans notre civilisation et dans notre histoire. L'erreur a été de croire dans le triomphe de l'une sur l'autre, d'un progrès de la connaissance qui soit en même temps un progrès de l'unification et même, en termes psychanalytiques, un refoulement. De quoi d'autre traite en définitive Husserl quand il décrit la crise de la science européenne ? Je me permets d'insister sur des parallélismes et des antagonismes. On retrouve toujours une science désenchantée (la mécanique, la physique) créée autour des « instruments », de la maîtrise des matières « mortes », épurée par les mathématiques de tout élément imaginaire, intuitif. Et, en face, des sciences

enchantées (la biologie, l'éthologie, la chimie) qui sont nées des reliefs de la cuisine, autour des processus propres à la matière «vivante», baignant dans une atmosphère d'intuitions, d'êtres imaginaires, etc. Bachelard en était fasciné sans trop les aimer, car il les voyait pleines d'obstacles épistémologiques, inassimilables et intolérables à la raison. Je n'ai pas rencontré beaucoup de gens qui se soient demandé ce qu'il y voyait qui le fascinait tant et en même temps lui était intolérable, mais cherchez la femme et vous trouverez peut-être une réponse. Il y a une évidence: la science désenchantée est une science qui déssexualise, tandis que la science enchantée conserve toute une série de concepts fortement sexualisés, l'instrument étant affaire d'homme et de prédateur, la cuisine affaire de femme et de fourrageuse. Je ne vous donne que des indications succinctes que chacun, j'en suis sûr, peut compléter pour son propre compte. Si l'on suit ces indications, on voit que cette science enchantée se prolonge jusqu'à la fin du XIX^e siècle, en y incluant Faraday, Oersted et beaucoup d'autres. Pour ma part, je suis prêt à en trouver des réminiscences dans l'éthologie, l'écologie, et même dans certains aspects de la pensée physique d'un Niels Bohr. Chacun de ces types de science a son épistémologie. La tension dans laquelle on se trouve aujourd'hui pourrait alors se résumer ainsi: il y a échec de l'épistémologie du désenchantement du monde, mais l'autre épistémologie, qui remonte périodiquement à la surface, ne réussit pas à s'imposer, à modeler la science à son image.

Quelle est la signification politique, sociale, qu'il est possible de leur associer? Permettez-moi un petit détour. Dans son livre sur le Père Mersenne, Lenoble commence par décrire la science intellectuelle du XVI^e siècle. Il la voit dominée par trois courants: l'aristotélisme, le naturalisme et le mécanisme. Une partie de l'Eglise s'était rendu compte que l'aristotélisme était perdu et choisit de s'allier avec le mécanisme, ce qui correspondait du reste à un vœu de Descartes. Pourquoi donc cette alliance? Parce que le mécanisme, cartésien, ne mettait pas en question la conception hiérarchique du monde et de la société. Le naturalisme, en revanche, la refusait, tout comme il refusait la notion même de loi, naturelle ou sociale, car il y voyait la figure par excellence de la domination. Il était donc très dangereux. Que Bruno ait été brûlé et Galilée condamné mais finalement épargné, voilà qui exprime concrètement, entre autres, ce choix capital pour tout ce qui s'est passé il y a trois siècles. Leibniz est, à mon avis, un des premiers à avoir voulu réconcilier le mécanisme et le naturalisme, ce qui explique à la fois ses

écrits sur la force, sur l'harmonie pré-établie, l'art combinatoire, etc. Je reviens à mon propos en notant que l'épistémologie de l'enchantement, naturaliste, a un rapport avec une contestation radicale de l'ordre social, on le voit à travers sa reprise par les hérésies protestantes, le romantisme, voire certains éléments du marxisme, l'autre épistémologie ayant plutôt des rapports avec la nécessité de découvrir les lois d'un ordre, de les justifier et de les imposer à tous. Ses différents courants sont, pour ainsi dire, des catholicismes, et notamment le courant qui part d'Auguste Comte et nous submerge encore aujourd'hui. Alors, quand nous mettons en cause le positivisme, il convient de savoir si nous mettons en cause le type de pensée et de science qui lui correspond, ou seulement la version qu'il représente d'une épistémologie à laquelle nous continuons à adhérer. Ceci n'a pas été dit clairement. Et on ne peut pas le dire tant qu'on élude le problème sous-jacent, en parlant un peu rapidement de *magical science*.

* * *

Je suis frappé par l'absence de la France dans votre tableau de la bureaucratisation de la science. Il est vrai que les universités allemandes ont contribué puissamment à cette œuvre décisive. En un sens, nous sommes tous des scientifiques allemands, du moins au vingtième siècle. Mais rendons à César, je veux dire à Napoléon, ce qui est à César. La bureaucratisation *cum* étatisation est œuvre française. En bref, l'Ecole polytechnique a été le modèle dont se sont inspirées les universités allemandes, à ceci près que, au lieu de s'associer exclusivement avec l'Etat, elles se sont davantage associées avec l'industrie. Les grands créateurs de l'industrie scientifique sont quand même les chimistes qui se sont transformés d'apothicaires en capitalistes. Qu'ont-ils fait d'autre que de suivre à la lettre le programme baconien ?

Certes, vous avez raison d'insister sur le malaise qu'engendre la science bureaucratique, et M. Schuster a raison de nous rassurer en constatant que ce malaise ne touche qu'une frange du public. Le malaise, il faut le voir là où il est, à l'intérieur de la science. Il a fallu ou il a suffi d'un siècle d'«académisation» pour découvrir que la science est autoritaire, intolérante, conformisante. Les historiens ont beaucoup écrit sur le procès instruit par l'Eglise contre Galilée. Mais parlons un peu du procès instruit contre Boltzmann, Cantor, et bien d'autres qui ont connu une fin moins tragique. On écrit sur les Lyssenko intronisés par Staline, il n'en manque pourtant pas qui ont été intronisés par l'institution

académique et sur lesquels on n'écrit rien. Qui veut la liberté de la science ne veut pas forcément la liberté dans la science. Ne me rétorquez pas, comme on rétorque à propos de la police : ce sont des bavures. N'importe, je crois qu'on a récemment découvert l'opposition entre l'idéologie et la philosophie de la science, et sa pratique.

Ce n'est pas une découverte isolée. Il y a aussi celle de l'industrialisation de la recherche. Les scientifiques sont partis sur une fusée pour devenir l'élite du monde. Et voilà qu'ils se retrouvent les O.S. de l'appareil d'Etat ou du complexe militaro-industriel. Eh bien, le discours scientifique réel change. En haut, c'est le discours du consensus unanime, de la communauté, du paradigme auquel chacun doit obéir, s'il ne veut pas être exclu de la communauté, le discours du scientifique «normal» qui imite et ne pense à rien, et ce n'est pas pour rien que la description par Kuhn des révolutions scientifiques a si bien pris, malgré son peu de rapport à la réalité historique. En bas, c'est le discours de la parcellisation, de la monotonie, de l'anonymat, etc. sur la recherche en miettes, qu'on retrouve chez n'importe quel O.S. Ces deux discours sont tenus en même temps, par les mêmes individus, puisque le scientifique est malgré tout un O.S. d'élite et participe de l'élite des O.S. Pourquoi ne les confronte-t-il pas ? Pourquoi ne tire-t-il pas la conséquence de l'un ou de l'autre ? Pourquoi croit-il qu'il peut changer la société sans changer la science et vice versa ? C'est là un de ces mystères dont la solution nous demeure cachée tant que nous ne remarquons pas qu'elle est là, sous nos yeux. A savoir que, jusqu'ici, la science a révolutionné le monde, mais que désormais elle le gère.

Puis il y a le malaise de la stagflation. A ce propos, nous parlons de crise de la croissance, au lieu de voir qu'il y a crise de la non-croissance. Eh oui, on a tellement cru en une croissance exponentielle, continue, que le fait qu'il en aille différemment nous jette dans le désarroi. Qui ne reconnaît dans ce qui se passe une situation de pseudo-progrès, dont les symptômes sont l'accroissement du nombre d'articles, la multiplication des revues, la longueur accrue des accélérateurs, pendant qu'il y a un peu partout une accalmie intellectuelle relative, une résistance à ce qui pourrait changer les conceptions dominantes. Bref, inflation en surface, stagnation en profondeur. S'il y a malaise à l'intérieur de la science, cela est dû en grande partie à la crise de non-croissance, et s'il y avait vraiment une «reprise», tout le climat serait autre. Je ne pense pas qu'il faille rejeter sur le public ce qui tient à la science elle-même. Elle ne se porte pas très bien. Qui nous dit que nous n'assisterons pas un jour

prochain à la découverte d'une forme cognitive et pratique entièrement différente, remplissant les mêmes fonctions ainsi que des fonctions nouvelles? Après tout, si l'on se place du point de vue historique, tout est mortel, la science et ses institutions comme le reste. Je ne suis pas de ceux qui crient «à mort la science!» mais je ne serais pas surpris d'entendre dire «la science est morte», et si de ce fait quelqu'un me traite d'irrationaliste, d'anti-scientifique, d'anarchiste, je ne répliquerai rien.

* * *

Nous sommes ici les hôtes d'une organisation intergouvernementale, donc politique. Je suis convaincu que les gouvernements, et pas seulement le public ou les scientifiques, ont une grave responsabilité dans la situation actuelle. Depuis environ dix ans, ils semblent avoir découvert que la science coûte cher, qu'elle n'est pas la clef de la puissance économique, ainsi que l'a clairement montré l'exemple japonais. Alors, sous des prétextes divers, l'un après l'autre ils se sont mis à laisser tomber les universités, la recherche, les scientifiques, comme un industriel se débarrasse des usines, des outillages dont il n'a plus bon usage. De là à conclure à la «clochardisation» de l'université, des étudiants, de la recherche, dont la portée va bien au-delà de la frange contestataire sur laquelle sont fixés tous les regards, il n'y a qu'un pas à faire.

Last but not least, il y a aussi la bombe, et le goulag. Que l'on m'excuse de le rappeler, mais, nous avons deux formes de société qui sont basées sur la science, la capitaliste et la socialiste. A des titres différents, je le veux bien, mais sur la science quand même. Qui peut encore croire, comme Condorcet, qu'il suffit de connaître les lois physiques ou mathématiques et que le progrès de la morale, de la société, de l'homme, s'ensuivra? On veut tantôt nous faire oublier le rapport de la science à la bombe et au gouag, tantôt nous tranquilliser en nous certifiant que ce ne sont là que des accidents de parcours, transitoires, auxquels elle portera remède. Vraiment, aujourd'hui la science est devenue le valium du peuple. Mais tout le monde n'en prend pas. Beaucoup acceptent l'incertitude et l'angoisse de leur temps. Alors ils découvrent que la bonne physique, la bonne biologie ou la bonne économie ne font pas la bonne société. D'où le désenchantement par rapport à la science, et qui est notre problème. Voilà mon commentaire sur les différents rapports, et maintenant je vous donne la parole.

Remarques introductives (1)

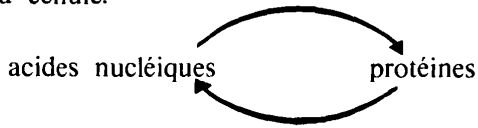
par I. Prigogine

Université Libre de Bruxelles

Je suis très heureux que cette conférence puisse avoir lieu dans le cadre des Communautés Européennes. Tout le monde sait que la science a joué un rôle essentiel dans la formation, au cours des siècles, d'une culture européenne commune. Il est fascinant de parcourir la liste des professeurs des premières universités, comme Bologne, Cracovie au Oxford : la plupart des pays européens sont représentés. Aujourd'hui encore, certains des problèmes auxquels nous sommes confrontés en Europe nous sont assez spécifiques ; ils se différencient par exemple de problèmes des Etats Unis, comme ceux liés au rôle de super-puissance. Si nous avons dû aborder dans ce colloque les problèmes spécifiques aux Etats Unis, ceux des pays socialistes, ceux des pays en voie de développement, nous aurions abouti à une dilution du sujet. Cependant, nous devons certainement garder à l'esprit que l'Europe n'est pas seule, que, dans ce monde à interactions fortes, tout ce que nous pouvons faire aura des répercussions ailleurs et réagira sur nous en retour.

Très évidemment, les relations entre la science et la société sont aujourd'hui à ce point fortes et intriquées qu'aucun modèle qui considérerait isolément ces deux éléments ne serait réaliste. Nous ne pouvons pas assimiler la science à un simple moyen de réaliser une politique sociale, ni la société à un simple milieu qui devrait fournir les ressources nécessaires pour que s'accomplisse une croissance autonome de la science. Nous traitons donc de deux unités qui interagissent fortement. C'est là, notons-le, un type d'étude appartenant à un champ de recherche qui s'étend rapidement. En chimie et en biologie, des exemples sont désormais

bien connus comme, par exemple, celui de l'interaction entre les acides nucléiques et les protéines, qui joue un rôle essentiel dans le fonctionnement de la cellule.



Les acides nucléiques contiennent le programme pour former les protéines, et les protéines, assurant les catalyses et régulations enzymatiques, sont à la base du fonctionnement métabolique qui mène, entre autres, à la réplication des acides nucléiques. De manière générale, nous avons là une situation caractéristique des processus catalytiques au sein desquels certains produits chimiques (ici, les acides nucléiques) sont à la fois le point de départ et le point d'aboutissement d'une série de transformations chimiques.

Il se trouve que j'ai étudié, au cours de ces dernières années, les intéressants phénomènes d'auto-organisation qui sont associés aux processus catalytiques⁽²⁾. Dans les systèmes où se produisent ces phénomènes d'organisation spontanée, nous constatons un jeu complexe entre la fonction (l'ensemble des processus élémentaires de transformation des constituants) et la structure globale (l'organisation spatio-temporelle que génèrent ces processus). L'évolution de tels systèmes est déterminée à la fois par des fluctuations, que dans certains cas, pour prendre une image sociologique, nous appellerons des innovations, et par la réponse déterministe que l'ensemble du système donne à ces fluctuations.

Pour qui s'attache à ce qu'on pourrait appeler une «théorie du changement», l'évolution socio-culturelle présente un intérêt tout particulier. L'évolution biologique se produit selon une échelle de temps «darwinienne», c'est-à-dire lente, tandis que l'évolution socio-culturelle possède des caractéristiques «lamarckiennes» puisque nous pouvons transmettre à notre descendance des acquisitions culturelles. Ces caractéristiques «lamarckiennes» sont précisément celles qui ont amené l'évolution culturelle à prendre la vitesse énorme qui est la sienne au cours des derniers siècles.

En lisent les travaux de certains participants à cette conférence, je me suis rapidement rendu compte qu'il y a un peu partout un effort important pour saisir les différents aspects de l'interaction entre la société et la science. Visiblement, ces questions suscitent aujourd'hui un intérêt prononcé. Comme Ravetz le remarque dans son rapport⁽³⁾ : «With ex-

trême suddenness, the people of our science-based civilization have learned that their present comforts and security may be only temporary» et il ajoute «In this new period, the challenge to science is total». L'un des buts principaux de cette conférence est d'étudier les résultats des recherches menées dans le domaine des relations science-société et la possible mise en œuvre de leurs conclusions en ce qui concerne l'avenir de ces relations.

En raison de la complexité des problèmes, il est peut-être utile de commencer par une approche historique. C'est le sujet du rapport de Ravetz. Je voudrais simplement rappeler ici que le xviii^e siècle voyait la science comme une expérience de libération et comme une aventure intellectuelle, aussi bien que comme une force de transformation économique et sociale. Certains admettent encore cette conception mais d'autres la critiquent d'une manière de plus en plus vive. Nous ne pouvons pas nous soustraire à la question d'une crise possible de la science occidentale dans sa relation avec la société.

Il nous faut peut-être distinguer les éléments culturels, éthiques, politiques et institutionnels de la tension. Ces divers éléments sont discutés dans les rapports de Salomon et Weingart. Mon propre rapport se concentre sur la question de la tension culturelle. Je voudrais seulement mentionner ici le fait que beaucoup de discussions au sujet de la signification culturelle de la science et de la part qu'elle peut prendre dans la formation d'une conception du monde dans lequel nous habitons ne tiennent pas compte de manière suffisante de l'évolution récente de la science, de ses nouveaux paradigmes de changement, d'évolution, de diversification.

Permettez-moi d'entrer dans quelques détails à propos de ce qu'on pourrait appeler la tension politique. On peut sans doute résumer sa signification par cette question : la démocratie est-elle compatible avec une société axée sur la science ? Il est évident qu'un nombre croissant de décisions devront à l'avenir comporter des choix à propos d'éléments scientifiques ou techniques. Comment un contrôle démocratique sera-t-il possible dans une redéfinition du rôle de la science comme activité critique qui devrait permettre aux non-experts de discuter et de contrôler ces choix ? De ce point de vue, la nature de l'insertion de la science dans la société constitue bien un choix de société. Etzioni parle dans ses publications (4) d'une «société active» ; dans une telle société, selon un idéal qui rappelle la démocratie athénienne, la participation des individus au fonctionnement politique serait intense, et le rôle de citoyen revêtirait

une importance beaucoup plus considérable qu'aujourd'hui. Dans une telle société, où moins d'énergie serait consacrée à la production de biens de consommation et plus à la formation de mécanismes sociaux permettant l'émergence de consensus à propos de buts acceptés comme d'intérêt collectif, et le contrôle des processus permettant de les atteindre, le besoin de connaissance se trouverait significativement accru. C'est de la qualité et de la quantité de cette connaissance que dépendrait en effet pour les membres d'une société active la possibilité de prendre des décisions sur leur avenir collectif. Ces questions de société sont fascinantes mais extrêmement difficiles. Dans la mesure où le type de relation entre science et société ne peut pas être dissocié du choix politique d'un modèle de société, toute avance constructive dans cette direction serait de grande valeur.

Heureusement, il existe des problèmes d'échelle plus petite à propos desquels le progrès pourrait être plus facile. Par exemple, comment pouvons-nous améliorer les canaux de communication entre la société et la science? C'est un problème à deux directions puisque dans l'état actuel l'éducation supérieure, avec sa spécialisation nécessaire, ne facilite pas une meilleure saisie des problèmes socio-culturels par la communauté scientifique; d'autre part, le problème est lié à la nécessité d'associer de plus près le public au processus de prise de décision.

Rappelons que lors de la dernière conférence des ministres responsables de la science dans l'OCDE (1975), il a été reconnu que le public doit participer de manière croissante aux décisions qui affectent, entre autres, la science et la technologie ⁽⁵⁾ (12). Ceci nous mène à un autre aspect de ces problèmes.

Dans son livre récent, «*The Scientist's Role in Society*», J. Ben David a souligné le rôle essentiel des institutions dans l'histoire de la science et de l'éducation ⁽⁶⁾. Les Académies aux ^{xvi}e et ^{xvii}e siècles, les grandes écoles instaurées par Napoléon, la conception allemande de l'université ont mené à des périodes d'épanouissement de la science et à une croissance rapide de la connaissance. Il est à remarquer que dans une autre publication, Ben David exprime une opinion très critique à l'encontre de la recherche européenne actuelle ⁽⁷⁾ ⁽⁸⁾. Selon lui, le système européen de recherche ne s'est pas seulement montré beaucoup moins efficace que celui des Etats-Unis, il s'est aussi montré beaucoup moins capable de coopérer avec les autres secteurs de l'économie. Il est certain que des différences frappantes apparaissent dès que l'on compare les systèmes d'éducation et de recherche américains avec ceux de l'Europe occidentale. Aux Etats-Unis, on trouve une variété énorme d'instituts de recherche. A une extrémité du spectre

nous avons des institutions comme le «Princeton Institute for Advanced Study» qui promeut une recherche académique «pure», à l'autre nous trouvons des institutions consacrées de manière exclusive à la recherche appliquée en collaboration avec l'industrie. Il est difficile de ne pas lier l'absence en Europe d'une telle variété avec la plus grande difficulté que l'Europe rencontre à contribuer à la recherche appliquée, en dépit de son haut niveau en ce qui concerne la science pure.

Peu de gens contesteraient le rôle central des universités. Citons une des conclusions de l'étude remarquable accomplie par «Assembly on University Goals and Governance», «Learning : The Central Mission. Like other complex institutions, colleges and universities have varied purposes. Foremost among them must be learning. Research — important as it is — and public service are appropriate to colleges and universities when they contribute to learning, its advancement as well as its transmission and utilization, and are consonant with those academic freedoms on which learning depends».

Aujourd'hui, cette mission est plus importante que jamais. Nous ne pouvons plus considérer que les universités n'ont d'autre objectif social que la formation professionnelle, garantie d'un niveau de vie élevé pour l'étudiant. Le rôle social de l'université dans l'insertion de la science dans le cadre social et dans la communication au public de l'information nécessaire pour comprendre la science, est essentiel. De ce point de vue, on pourrait faire des suggestions précises telles par exemple que la promotion de cours sur les rapports science-société, l'histoire des sciences etc. Cependant, la fonction centrale de l'université, associée à l'enseignement et à la transmission des connaissances, exige des priorités différentes et une organisation différente de celles de la recherche multidisciplinaire qui est aujourd'hui nécessaire pour franchir le fossé entre science et société. Il semble que presque tout le monde soit d'accord sur le fait que, en la matière, de nouvelles différenciations devront se produire. Ainsi, A. King écrit ⁽⁹⁾ : «The nature of science is changing rapidly ; not only is the interface between basic and applied research becoming more diffuse to an extent that new institutional approaches are requested, but the importance of interface subjects between the traditional sciences have become significant both in their own right for the extension of knowledge and for important technological advances».

Ces problèmes sont spécialement importants en Europe où nous manquons, comme je l'ai déjà mentionné, de la variété des institutions

caractéristique des Etats Unis. Combien de temps devons nous continuer à considérer l'université comme la «bonne à tout faire»?

On fait souvent la remarque que le travail propre aux communautés scientifiques mène à une «académisation» des problèmes (voir par exemple, le rapport du Professeur Weingart). C'est peut-être vrai, mais, inversement, j'ai souvent observé, et spécialement lorsque je travaillais à des problèmes de recherche opérationnelle, telle que les flux de trafic, une tendance à passer à des solutions empiriques sans prendre en considération les problèmes de base. Il nous faut un langage commun entre chercheurs «académiques» et «opérationnels», et ce langage n'a que peu de chances d'être développé dans l'actuel système européen de recherche et d'enseignement.

En 1976, le gouvernement belge a attribué 6,5 milliards de francs à la recherche «fondamentale» et 8,5 milliards à la recherche appliquée ⁽¹¹⁾ alors que en 1972 les sommes dépensées étaient à peu près les mêmes (plus ou moins 4 milliards). Si, en plus, nous tenons compte du rôle essentiel des échelles de temps dans la recherche appliquée, nous ne pouvons éviter la question du caractère adéquat du système actuel. Si l'évolution se poursuit, il n'est pas exclu que la priorité accordée à l'enseignement chasse la recherche fondamentale des universités alors que la nécessité de planification à court terme mènera au développement unilatéral de la recherche appliquée, parfois sans l'infrastructure nécessaire.

Je partage la conviction exprimée dans le rapport qui suivit la conférence de 1975 des ministres de l'OCDE ⁽¹²⁾. Plus que jamais, l'évolution des sociétés industrielles va dépendre de l'évolution des connaissances. N'est-il pas dès lors temps d'envisager de nouveaux types d'institutions qui pourraient par exemple être associés non seulement avec les universités mais aussi avec le gouvernement, l'industrie et peut-être d'autres groupes sociaux (groupes de consommateurs, syndicats ...)?

Nous vivons aujourd'hui dans une situation hautement instable. De telles situations sont dangereuses. Mais Whitehead ⁽¹⁰⁾ a écrit «It is the business of future to be dangerous». En conséquence de la présente instabilité, il se peut qu'une fluctuation dans notre système institutionnel s'amplifie et contribue finalement de manière significative à la formation d'un nouvel espace européen.

REFERENCES

- (1) Cet article est la traduction légèrement abrégée du texte de la conférence d'ouverture du colloque.
- (2) NICOLIS G. et PRIGOGINE I., *Self Organization in Non Equilibrium Systems*, Wiley Interscience, New York 1977.
- (3) RAVETZ J. R., *Turning Points in the Relations of Science with Society*, conférence à ce colloque.
- (4) ETZIONI A., par exemple *Toward a Theory of Societal Guidance in Social Change*, ed. E. ETZIONI-HALEVY et A. ETZIONI, Basic Books, New York 1973.
- (5) SALOMON J. J., *Science Policy Studies and the Development of Science Policy*, in *Science Policy Studies in Perspective*, ed. Derek J. DE SOLLA PRICE et Ina SPIEGEL-ROESING, London, SAGE 1977.
- (6) BEN DAVID J., *The Scientist's Role in Society*, Prentice-Hall, New Jersey 1971.
- (7) BEN DAVID J., *La recherche fondamentale et les universités — Réflexions sur les disparités internationales* (OCDE 1968), cité d'après (8).
- (8) JAUMOTTE A., *La recherche scientifique*, in *Revue de la Société Royale Belge des ingénieurs et des industriels*, 1, 14, 1977.
- (9) KING A. in *The Place of Value in a World of Facts*, Proceedings of the 14th Nobel Symposium, Wiley Interscience, New York 1970, p. 248.
- (10) WHITEHEAD A. N., cité in JANTSCH E., in *Neue-Züricher Zeitung*, 26 novembre 1975, 275, 55 ; et 3 décembre 1975, 281, 45.
- (11) Annexe de la lettre adressée le 23 mars 1977 par le ministre de la recherche scientifique G. Geens à l'Académie Royale de Belgique.
- (12) *Science, Technologie et Maitrise des Problèmes Complexes*, OCDE 1976.

Turning Points in the Relations of Science with Society

by J. R. Ravetz

*Professeur d'Histoire et Philosophie des Sciences
à l'Université de Leeds, Grande-Bretagne*

1. INTRODUCTORY REMARKS

Since this colloquium is devoted to problems of the present and future, I would like to make a few remarks explaining the usefulness of history in this context.

When we individually look at the world around us, we have a framework which includes a particular vision of the past, as much as a particular commitment to the True and the Good. Thus we presuppose a history in our perception of reality, as much as we do a philosophy and a theology. For the past extends up to now, and it shapes what is yet to happen. If we are ignorant of our adherence to a version of the past, we will be its victims, precisely in the same way that the person who denies philosophy or theology is merely committing some standard banal fallacy in their terms.

Awareness of history is necessary, then, for our understanding of ourselves. And although the work of the scholars is revealing that history is always imperfect and unsatisfying, they provide the only means we have for approaching that dimension of self-knowledge. In particular, the scholars show us ways in which the past has been significantly different from the present, while yet being similar in others. Thus a scholarly history can stretch our imaginations, displaying possibilities in the way things can happen, for which our limited experience of the present and immediate past provides no hints.

Such a heightened awareness is particularly useful to us just now, for we all feel that an inherited order is passing, and we do not yet see clearly what will take its place. The golden age of what I have called "academic science" was so very long, that we have no effective memory of other ways of doing science. To imagine other sorts of social functions and relations of science, we need history ; and this is what I shall try to provide in a very condensed sketch.

I shall try to shape my narrative around a few leading themes : the leading challenge to science in a period ; the response (including elements of success or failure) ; and the dominant "image" of science, with its internal tensions and its relations to the world outside.

For clarity, let me say that by "science" I shall mainly understand the activity of investigating theoretically defined problems in the understanding and control of nature ; it is a literate and "rationally" taught activity, distinct from subliterate craft, empirical skills. This restricts us to the past few centuries, but quite enough has happened in that time to fill a lecture.

2. EARLY MODERN EUROPE

The first "turning point" is when it began for Europe. For we would expect the successful application of the "scientific" approach to socially relevant problems to occur in the simplest fields, and so it did. The sciences we may call "descriptive-mathematical", ranging from basic reckoning, through surveying to navigation and astronomy, flourished and gained strength through the 15th and 16th centuries. I have personally traced the progress of textbooks of applied mathematics through the 16th — the early ones are simple and even crude, the later ones fully sophisticated treatises.

Some of this mathematical science was applied to commerce, where it was closely related with highly sophisticated bookkeeping techniques. Its other great market was the State, which used it in war and exploration, leading to conquest and plunder. Of course, there were "cultural" applications, where the neo-Pythagorean mathematics of Italian humanism took its place with the various philological studies. And there were plenty of "immature" sciences and technologies, including chemistry and medicine. In spite of their importance I shall not concentrate on them here, first because the union of theory and practice was still very imperfect, and second because they did not make quite such a drastic change from their

past, even when they were infused with new learning of one sort or another. Also, most of production (and destruction) still depended on craft knowledge, even when this was codified as by Agricola or Birunguccio. But this was not the locus of the "turning point".

In this period we find scientific and technical skills and results becoming a sort of personal property, serving the interests of private entrepreneurs who lived partly by hiring themselves to patrons, and partly by selling their work somehow or other. An "invention" was the solution to a problem, perhaps in mathematics, perhaps in engineering, which enhanced the prestige, and hence the market value, of the possessor. Scientifically based technical expertise, exoteric in principle but in practice restricted to trained personnel, became a commodity in this time. It was diffused, and also advertised, by means of textbooks and manuals. And this expertise came to define the tastes that clients could imagine as being required; this is most clearly seen in the aesthetic arts, but also in military matters. The mathematical-military sciences such as fortification and ballistics (the former largely and the latter entirely in the imagination of experts) show this pattern; while "quartermastering" shows the power of a mathematical, rationalizing style in bringing order out of chaos. The published works of Dee, Digges and Stevin are particularly useful as examples in this context.

Thus the challenge was for the application of theory in an individualistic and dynamic, but unstable, bellicose and aggressive society. The challenge was met successfully in a few crucial fields, where abstract description could be effective. To the extent that this tradition influenced the evaluation of science afterwards, it certainly lent a conception of "power" for science that was alienated and rapacious. From the perspective of the world's other civilisations, the European science of this period was the first stage of their destruction or corruption.

3. BACKGROUND : THE ENCHANTED COSMOS ...

Although this is not a "turning-point" in itself, I should devote some time to this theme, for science and technology have been involved in a more long-lasting and intimate dialogue with "magic" than their propaganda would admit.

I might usefully begin by reminding us of the classic pioneering work in the history of scientific ideas : E. A. Burt's *The Metaphysical Foundations of Modern Science*. For him the great problem was posed by the contrast

between two works : the *Divine Comedy* of Dante and "A Free Man's Worship" by Bertrand Russell. Both were men of genius, fully involved in the worldly affairs of their day. Yet Dante concluded his epic with a hymn of praise to the Divine Light of mystical illumination ; even if this was not a report of his own experience, it presupposed familiarity and acceptance by his audience. And this, of course, gave meaning and value to all human experience. By contrast, Bertrand Russell found that Science presents a universe totally devoid of life, plan and mean, simply dead matter rolling aimlessly in the great void. It is undeniable that the educated common-sense of reality has changed in the centuries since Dante. Indeed, the evidence from other great cultures, as Islam, India and China, indicates that the uniqueness of modern European science may well be explained by its uniquely disenchanting view of the cosmos and alienating view of man.

Here I cannot go with the many varieties of "enrichment" of world-view, nor their relations or separate histories. But I can point out that the general progress of the "arts" in the Renaissance period took place in the context of world-views which had not yet been "reduced" to primary qualities. We have not only such half-magical figures as Paracelsus and John Dee ; but also it can be shown that very great scientists, as Gilbert, Kepler and Harvey, within a world where intangible and personal agencies were of great significance in "natural" Phenomena. It is perhaps one of the neater ironies of history that Galileo's theory of the tides was intended, not only to demonstrate the motions of the earth, but also to expose the silly astrologers' notion that the moon influences the waters by some occult "attractions".

Cosmological commitment is relevant to the social aspects of science in several ways. First, for most of its history, science has needed to produce magic, in order to secure lay patronage. Indeed, one can say that the same pattern persists to this day, though now the style is for the magic to be "disenchanted". Thus, we trust in the rationality of computer-simulations, rather than of a heavenly being, when we deploy that lion's share of scientific resources that goes into defence and deterrence through weapons of mass annihilation.

Old-fashioned magic was important for the support of science in one important episode in early modern Europe : at the court of Rudolf II in Prague, there took place a flourishing of culture in many aspects, and where the "scientific" and the "occult" were not at all sharply distinguished.

The persistence of this theme, well into the seventeenth century, must

be appreciated, lest we make naive errors in the identification of “progressive” forces in science, technology, economics and politics. In particular, the arrangement of sides in the English Civil War, or Puritan Revolution, was such as to bring embarrassment to a present-day orthodox Marxist, and encouragement to the libertarian mystical fringe. For the radicals among the Puritan thinkers espoused a science in the Paracelsian tradition, which they interpreted socially in a style anticipating the Chinese Cultural Revolution. The proponents of the “corpuscular philosophy”, deriving their information from Royalist emigrés (Charlton, Hobbes), and personally benefitting from the imperialist conquest of Ireland, were in politics successful “trimmers”. Their programme for the social application of science was of an appropriately mild reformist sort.

Only now are historians uncovering the ongoing dialogue between rival cosmologies in the practice of science. We know enough for debating purposes about Newton’s commitment to Alchemy. Later episodes, like the relation of mystical pantheism to the programme of the Enlightenment, have left very strong traces behind (as on the reverse side of the U.S. dollar bill) ; but to my knowledge, have not been studied at all. We all know about *Naturphilosophie*, and English spiritualism (through such as Wallace and Crookes), and perhaps of Singh and his research in the early twentieth century on the response of plants to music.

The point of this set of very rapid indications is that the cosmological challenge of the present is not a simple reappearance of a retrograde tendency that was dismissed by the rise of Science some three centuries ago. Whatever we may think of this new wave of enchantment, we would be unwise to dismiss it as lacking in intellectual, social or technical significance.

4. THE SEVENTEENTH-CENTURY REVOLUTION IN NATURAL PHILOSOPHY

Here I speak of the comprehensive programme announced (in various forms) by the leading prophets, Bacon, Descartes and Galileo, and developed by their followers. This movement was beautifully defined by Auguste Comte : he spoke of the precepts of Bacon, the concepts of Descartes, and the “expériences” of Galileo. For our present concerns, we may indicate the borrowings from sources that went into their new synthesis. From the scholarly traditions they took the principle that genuine knowledge should be rationally and publicly demonstrable : but they ex-

tended this to practical as well as theoretical subjects. From the mathematical technologies they took the respect for practice, and indeed the adoption of technical effectiveness as a criterion of quality in science and philosophy alike ; but they brought a more refined and gentlemanly conception of the true ends of such technique — not merely personal profit and power, but the Reform of intellect and humanity. This last theme can be traced to the magical tradition, along with an appreciation of experiment ; but in this case the rejection of other elements was most vehement even if sometimes inconsistent. For with the disenchantment and dehumanization of their cosmos, the prophets of the new philosophy could deny the personal involvement in the work that is the essence of magical practice ; and they could also presume on the essential harmlessness of philosophical investigation : in the absence of spiritual agencies outcomes of works were commensurate with inputs. The philanthropic motive of the best magical tradition could then be realised through public, co-operative research. Freed of the responsibility of dangerously powerful knowledge, and disdainful of the commercial secrecy of a mere practitioner, the “virtuoso” could and did endeavour to share results and even methods, provided that his scholars’ property rights could be protected somehow.

Even though the advocates of the “new philosophy” were generally cautious or indifferent with relation to social and political problems, their programme represents a great turning point in the relations of science to society. If nothing else, they gave social and intellectual legitimacy to an experimental, technically-oriented study of the natural world. And the beliefs and attitudes that were crystallized in their programme, became the basis of the educated common-sense that eventually created to uniquely powerful science and technology of European civilization.

This revolution in thought was announced with a self-imposed challenge : to transform the sciences and practical arts of Nature, and to do so soon. Both Bacon and Descartes expected that, given sufficient resources, the job could be completed within a short time. For Bacon, this was a part of his millenarian framework of progress ; I do not know about Descartes in this respect. As the seventeenth century wore on, it became increasingly obvious that the arts and sciences were *not* being transformed. The early enthusiasm and confidence waned ; by late in the century there were very few new recruits of the quality needed to carry on the work.

Historians have frequently been puzzled by the fact that it is possible to unite a full and coherent political, economic and even technological

history of science in the seventeenth century, without a mention of the scientific revolution. Newton appears only as a minor member of Parliament and then Warden and Master of the Mint. This is to expect results too soon, from developments on such a remote intellectual plane. The ideas that were achieved and diffused then required generations for their effective development.

5. IDEOLOGICAL AND INDUSTRIAL APPLICATIONS OF THE «SCIENTIFIC» APPROACH

Nothing in history is completely new. The use of scholarly methods for criticism of orthodoxy in religion and politics goes back to Classical civilization ; and “freethinking” was a problem belong before Descartes. Indeed, the social and political impact of philological scholarship was well recognized when “science” was still divided between teachers and magicians ; we recall the exposure of the falsity of “the donation of Constantine” by Valla, and the politically crucial debates over texts in the Bible and other sacred sources. Yet when comprehensive social criticism finally reached out to a broad public, in mid-eighteenth-century France, it used Science as shield, slogan and ideology. At first it was an affair of another of those small self-proclaiming revolutionary groups that flourish in Paris down through the centuries. But then the *Encyclopédie* was published. And soon the ridiculousness of the pretensions of the Church and of the aristocracy became as apparent as those of astrologers and alchemists. The way was open to the first popular revolt in history whose slogans and millenarian aspirations were purely secular in expression : the French Revolution.

The faith in Science that animated d’Alembert and his successors was more comprehensive than that of the seventeenth-century pioneers. Those had to make an accommodation with religion, and to restrict their claims to the realm of philosophy. But in the Age of Enlightenment, nothing was immune from criticism in the light of Reason and Experience. We may look to the last of the *Philosophes* for the most succinct expression of their faith : Condorcet. While suffering from some of the errors and distortions of the revolution he helped to create, he wrote in his *Esquisse*, “*Toutes les erreurs en politique, en morale, ont pour base des erreurs philosophiques, qui elles-mêmes sont liées à des erreurs physiques*”.

This faith was not sustained in so simple a form through the kaleidoscope of events that followed from the Terror to the Hundred Days.

Yet we can see its influence on the style and content of State policies for science and for society ever since. The scientifically-based expert in individual happiness, social stability or psychological warfare depends on the heritage of Condorcet for his influence and hence his job.

The diffusion of the "scientific" approach was not merely the game of a few ideologically motivated intellectuals; the rational analysis and improvement of productive processes gained strength at the same time, laying the foundations of "the Industrial Revolution". To be sure, we must not attempt too sharp a separation; even a landlord who "improved" his estate was likely to have got stimulus, and perhaps even personal encouragement, from those for whom "improvement" extend much wider. Wherever it was applied, this approach involved the style of scholarship: disciplined work, definition of problems, systematic variation of possible causal factors, keeping of records, communication of results. In agriculture, in design of machinery and buildings, and even in the analysis of the work-process, we see the same rationalising spirit at work. In this way, the succession of challenges and opportunities, created by the varied growth of markets through the century, could be recognised and met. Of course, in all this people were strictly means and not ends. Medieval economic ideals of mutual aid were quite dead. But the lot of the masses had always been so wretched, in any effective social memory, that any increase in production could be justified as eventually contributing to human welfare.

In neither of these two aspects of eighteenth-century developments did particular scientific results have a large and direct impact on the larger world. It has therefore been possible to deny that there was any real effect; the classic claim is "science owes more to the steam-engine than does the steam-engine to science". In one sense this is true (though only by ignoring the necessity of understanding of a vacuum before development work could even begin); but this is to construe "science" too narrowly. When we have described here is the diffusion of an attitude to this world, one of wordly, defined ends and rationally calculated means. The idea that there might be some matters of human concern which are incapable of resolution by such an approach, became a heresy in the terms of this new consensus, and even now it is still so.

Considering this period in terms of challenge and response, we may see it as largely successful in its own terms. Certainly there remained ignorance and misery, and the sway of "dogma and superstition" was not broken all at once. But the appearance of genuine Progress through

Science (in this extended sense) was convincing to all but a very few reactionaries and eccentrics.

6. THE INSTITUTIONALIZATION AND THE DIRECT APPLICATION OF SCIENTIFIC RESEARCH

When we discuss the past, we all too easily imagine it to be like the present except where the contrary is explicitly stated. So when we speak of "scientists" in the eighteenth century we may naturally think of men (and now women too!) studying for Ph. D.'s, and then getting secure jobs at which they are paid to spend all or most of their time on research. This state of affairs is very recent in origin, and represents a "social contract of science" that is characteristic of our time only.

It took all of the nineteenth century for science to change from being primarily an affair of self-supporting amateurs to becoming a career mainly within the public-sector bureaucracy. The lead was given by Germany, where scholarship was supported as a part of the work of the reformed Universities for the benefit of culture and the nation. Elsewhere the pattern was variable; in England the tradition of self-help remained very strong. While recognising the usefulness of State support, some influential scientists and scholars there were afraid that it could subvert the liberty and integrity of the researchers.

By a set of political and ideological manœuvres that would repay more study, the community of science eventually succeeded in stabilizing an arrangement with society whereby they could have their cake and eat it too. The legitimating myth for this situation was that of the scientist who is so vigorous that his abstracted search for truth accidentally yields a cornucopia for society; and yet who is so delicate that his ingenuity would shrivel and die if he were told what to do in accordance with external concerns. The roots of this extremely convenient self-consciousness lie partly in the German University, where science needed to legitimate itself as a branch of "Wissenschaft" while some scientists privately made their own contribution to the State and to industry. But it probably also fitted the conditions of England, where a "gentleman" could do academic or industrial work as he chose (like Kelvin), provided he was not simply an employee working to orders. The success of this ideology, in the wider political and economic context of science, was possible only because it really seemed to pay. In Germany the agricultural chemistry of Liebig and then the industrial chemistry of his students, soon accompanied by the

bacteriology that transformed medical theory and practice, and a host of other innovations, confirmed the view, as later expressed by Bernal, that science is the “second derivative of production”. In their own ways, other major scientific centres enjoyed the same pattern of successful application of laboratory science to industrial production. The brave words of Francis Bacon and his colleagues were at last coming true.

The result of the practical success of the ideology of nineteenth-century “academic” science is that many scientists (including some who are both eminent and socially aware) now believe that society must support research that is independent and indeed irrelevant; the scientist’s only reciprocal obligation is to do his own work well.

Such a remarkable ideology is open to many criticisms, the least of which is that it can function as a powerfully self-serving myth for a vocational group. It can also be attacked as a “false consciousness”, an ironic sort of criticism, since in classical rationalist sociology and philosophy, “science” is the polar, absolute opposite of “false consciousness”. Here the criticism is not necessarily directed at the *results* of research (thus leaving the core of “scientism” intact) but at what we might call the social relations of the production of scientific knowledge. For even among scientists who have considerable freedom on their jobs to choose research problems, the criteria of scientific choice have always had some component of external interest, be it technical (commercial, welfare or military) or ideological. This was obvious and recognised all through the history of science with the *exception* of the “academic” phase, and there is no doubt that with the “industrialization” of science the external influences have become strong and frequently dominant.

Viewing “academic” science from the perspective of challenge and response, we may say that it had the programme of producing an abundance of scientific knowledge of both internal and external value. In this it succeeded brilliantly, at least in certain major centres — so much so that in Hegelian fashion it thereby transformed itself. The problems of retaining the best values of academic science while recognizing the realities of the present era, reminiscent of the *Gemeinschaft/ Gesellschaft* dilemma of classical sociology, have been profoundly expressed by Jean-Jacques Salomon. All I need do here is to remind us that in the wider historical perspective the successful investigation of scientific problems (if on a smaller scale and with many impediments) was possible before the uniquely comfortable institutional and ideological context of academic science was created. Perhaps some way out of the present dilemmas may

be by attention to its history. I thought of "critical science" on the direct analogy of the *philosophes*; and there are others, with more radical programmes, who hearken back to Rosicrucians and alchemists. Whatever the solution, we must cope with the demise of academic science as a dominant social relation; to ignore this is to risk developing some new false consciousness that could be really damaging.

7. THE INDUSTRIALIZATION OF SCIENCE

The present period in the social aspects of science has been described by several names, including "industrialization", "incorporation", "bureaucratization" and simply "big". It is characterized by (1) the interpenetration of research and production, particularly in military-based developments (computers, aerospace), (2) the large size of individual projects, entailing a factory-type lab. (with the resulting hierarchy and alienation) funding by contracts rather than grants, and the naturalness of entrepreneurial styles of management and career-orientation; and (3) the large scale of the activity called "science" (including much R & D), so that even the tertiary-education budget, as well as "pure" research, becomes a politically sensitive matter. The turning point here may well be taken to be the Manhattan Project.

During this period, the contradiction in the position of élite academic scientists became severe. It is increasingly implausible to demand many millions from the taxpayers so that high-energy physicists can satisfy their curiosity in the modern equivalent of a garrett. Worse, the academic scientists who take on a "public" or industrial role are liable to become discredited subsequently, as happened to those distinguished physicists who engaged in the more bizarre episodes of Project Jason.

Also, when so much of research, however, "internal" its motivation for the researchers, is chosen for support by military criteria, as the D.O.D.-supported research in America, the "independence" of the scientist is not preserved in spite of his genuine "internal" valuation of his work. The distinction between science and technology, never very clear to the general public, is further blurred by such eloquent slogans as the advertisement, "North American Rockwell — where science gets down to business".

Yet the inherited ideology of academic science is a hardy survivor. To some extent it is protected by elasticity of definition, as in the aphorism, "science takes the credit for penicillin, technology takes the blame for the Bomb". The submerged mass of scientific workers in industry and govern-

ment are conveniently neglected when the old ideology is dusted off, even though they account for the bulk of funds spent on "science" and most of the applicable research. For the average academic scientist, particularly if he is sufficiently well-established to be articulate, the career strategies and satisfactions are not changing so drastically. Given some manœuverability in choosing puzzles to solve in a paradigm, he feels as free as he wants to be.

This false consciousness of "science" becomes a real social danger when it covers the activities of promoters and apologists of the environmentally intrusive and dangerous technologies resulting from very sophisticated and very intense processes. For those who speak with the authority of a scientific degree as well as a corporate responsibility, are given the initial deference due to a researcher concerned only with the facts. The real position of such people, acting as advocates for the particular interest to whom they are responsible, is rarely made clear. Also, the prevalence of "trans-science" in the great issues of technology policy means that the scientific appearance of many statements is actually misleading, whether or not by intent. For the decisive arguments in the big decisions are based on technological forecasts, which can only masquerade as scientific facts.

Those who confuse the two may not be personally to blame ; teachers of science and technology have been very slow to impart any awareness to their students of the difference between describing the safe world of the textbook and demonstration, and managing the complicated, politically charged real world outside.

The response to this latest dominant phase of science has been given its own set of labels ; I've called it "critical science", in America it's "public interest science" ; Helga Nowotny has well described "the ecologization of science". Whatever the name, it is a very different sort of science from that taught in academies. Its practitioners know that relevant information is not to be taken for granted, but will frequently be withheld or concealed, perhaps even protected by law (as the British Official Secrets Act) from discovery by those who could use it to embarrass the vested interests that possess it. Indeed, in this area, scientific workers do not so much produce "public knowledge" as "corporate know-how".

Also, the issues at stake are not facts in dispute, but values in conflict. Persuasion and proof are only part of the task ; coercion, either constitutional or not, has become an effective and therefore legitimate weapon in the armoury of independent groups struggling against entrenched corporate power that acts in the name of science.

The ideological consequence of experience of such campaigns are drastic. When an atomic energy authority admits retrospectively that its work in quality-control and safety was skimmed and defective, (as did the U.S. A.E.C. a few years ago) what are we to think of the scientific integrity of those who had been insisting for years previously that all was well? Activists in such campaigns quickly distinguish between "good" scientists and "bad", and treat them as merely another sort of person with an expertise to be committed to one side or another. Radical activists go further, and consider the whole world of science as part of the machinery for mystifying the public while serving corporate power. As yet this tendency is still on a small scale; but as technological issues are bound to stay in the political arena for some time, it is not insignificant.

Considering this period in terms of challenge and response, we may say that the challenge to industrialized science was to solve *any* problem in the domination of nature that the political powers set; the space-race was a paradigm example. In those terms, the challenge was met on many fronts. But the successful response to the challenge bred up its opposition, as we have described; and it also introduced deep strains in the inherited ideology of academic science. Moreover, the very intrusiveness of the new science-based technologies has produced a still more recent epoch in the social relations of science, to which I now turn.

8. SURVIVAL ENGINEERING

The various turning-points in the social relations of science crowd in upon us as if converging to some radical crisis. The period of industrialization of science began with an event that showed the limits of science: the use, development and eventually uncontrolled diffusion of weapons that would annihilate human life and permanently pollute the planet. All the facile postwar optimism about the infinite powers of science could not obscure the historic fact that science had, with the Bomb, tasted evil. Perhaps now we can see that industrialized science was guilty of stupidity as well: the warnings of environmentalists and ecologists of resources and pollution crises, dismissed for so many years as the propaganda of antiscience cranks, are now admitted to have a goodly core of hard, practical truth.

With extreme suddenness, the people of our science-based civilization have learned that their present comforts and security may be only temporary. The problem of energy comes to haunt Europe: what will we do in

the year 2000? Many scientists, perhaps most, still proceed with the old confidence and arrogance. It is still widely believed, in spite of all the mounting evidence to the contrary, that any problem created by technology can be solved by technology. We may indeed be fortunate, and find piecemeal solutions to the various environmental problems that we confront. But those involved in making policies know that hoping for the best is not a prudent course. Estimating the worst, and preparing to prevent, mitigate and contain it, is the proper way. The political difficulties of officially performing such an exercise in public are obvious ; but that is no excuse for shirking it completely.

In this new period, the challenge to science is total. Questions of scientific fact, technological feasibility, economic viability, political acceptability, ethical propriety and metaphysical reality are all bound together. For the decisions concern possible sacrifices of life-style and transformation of inherited beliefs about our place in the scheme of things, in societies that enter the crisis in states of political dissension and intellectual confusion.

It is not for me here to pretend to give guidance on how to cope with the challenge of this new epoch. But I must emphasize that this is where we are. The question is whether the most recent turning point in the relations of science with society will be the last.

Crise de la science, crise de la société

par Jean-Jacques Salomon
Chef de la Division des Politiques
de la Science à l'OCDE

RÉSUMÉ

1) Cette crise n'est pas nouvelle et, d'une certaine façon, elle était inscrite dans la nature même de la science moderne. «Savoir c'est pouvoir» : ce thème baconien promettait plus qu'il ne pouvait tenir au xvii^e et au xviii^e siècle, mais depuis la liaison de plus en plus étroite entre la recherche scientifique et le processus d'industrialisation, depuis le xix^e et à plus forte raison le xx^e siècle, il tient plus qu'il n'avait promis. Cette science moderne née de Galilée et de Newton, qui associe théorie et pratique et qui réussit parce qu'elle est capable de manipuler la nature, avait pour vocation d'être manipulée à son tour : la science était une fin en elle-même, elle n'est plus qu'un moyen parmi d'autres dont le système industriel se sert pour réaliser ses propres fins.

2) Il est impossible de s'interroger sur ce qu'a d'actuel cette crise sans se référer à Husserl — non pas pour être phénoménologue ou husserlien (je ne le suis pas), mais pour constater que, plus de trente ans après la deuxième Guerre mondiale, ce que Husserl a pu écrire seize ans après la première Guerre mondiale s'applique très exactement à la situation présente. Un renversement a eu lieu, dit-il, dans l'attitude à l'égard des sciences : ce renversement ne vise pas leur scientificité, mais ce que la science en général avait signifié et peut signifier pour l'existence humaine.

Ce texte a été présenté au Colloque des Communautés Européennes : «Crise de la science dans les sociétés européennes?». (Bruxelles, 31 mai-2 juin 1977). Les opinions sont celles de l'auteur et n'engagent pas nécessairement celles de l'Organisation à laquelle il appartient.

Et je cite : «Ce renversement dans la façon d'estimer publiquement les sciences était en particulier inévitable après la guerre et, comme nous le savons, elle est devenue peu à peu dans les jeunes générations une sorte de sentiment d'hostilité» ...

3) D'une après-guerre à l'autre, la «prosperity», pour reprendre la formule de Husserl, que l'homme moderne doit aux sciences n'a cessé de s'accroître, mais du même coup n'ont cessé de s'accroître la malaise et même l'inquiétude que suscite l'exploitation de la science par le processus industriel. Les événements-symboles qui fondent cette inquiétude sont légion et ce qu'il y a de remarquable, c'est qu'ils ne se limitent plus aux aspects militaires de la recherche scientifique, mais qu'ils s'étendent aux aspects civils : sans parler des gaz asphyxiants de la guerre de 1914-1918, ou de Hiroshima et de Nagasaki, il y a Minimata, le *Torrey Canyon*, Seveso, la Mer du Nord, le problème nucléaire, etc. Je sais bien qu'on me dira tout de suite : il s'agit là non de science, mais de technologies. Mais précisément, cette séparation apparaît aujourd'hui d'autant plus artificielle et même mystificatrice qu'il n'y a plus de frontière très établie entre la science et la technologie.

4) La nouveauté de la situation actuelle par rapport à Husserl, ce n'est pas qu'un soupçon pèse sur la science, et qu'il soit si difficile d'invoquer son innocence ou sa neutralité par rapport à ce qui serait la «culpabilité» exclusive de la technologie. La nouveauté est que ce soupçon est désormais partagé par de nombreux représentants de la communauté scientifique : la critique, la contestation, le procès de la science ne viennent plus seulement de l'extérieur, mais aussi de l'intérieur de cette communauté et, en plus des chercheurs qui participent activement — en militants — à la *critique* de l'institution scientifique, il est évident que le nombre des chercheurs qui se sentent *en crise* n'a cessé de grandir. Le rôle qu'exerce le scientifique dans les sociétés modernes, la fonction qu'il remplit, le pouvoir qu'il détient, la position institutionnelle qu'il occupe — autant d'attributs qui interdisent de voir dans l'activité scientifique une activité innocente ou neutre. Les répercussions de la recherche scientifique ont été et sont telles qu'il y a désormais, au bilan de la science, un compte qui n'est pas seulement positif — et ce négatif va jusqu'à faire peser sur l'humanité une menace de mort.

5) La liaison entre la science et le pouvoir est devenue si étroite que les fins de l'une tendent à s'identifier aux fins de l'autre. C'est cette relation ou plutôt le théâtre de cette relation que j'ai appelé technonature, lieu

d'une rencontre irréversible où les scientifiques sont responsables des besoins du pouvoir, mais tributaires de ses objectifs. Peut-être aurais-je dû ajouter que la malaise des chercheurs est d'autant plus grand aujourd'hui qu'ils se sentent moins que naguère «les enfants chéris» du pouvoir : à l'essor exponentiel des ressources allouées à la science dans les années soixante s'est substitué un plafonnement (parfois une réduction des crédits). Mais le problème des objectifs que sert la recherche scientifique et des conséquences qu'elle entraîne demeure posé dans les mêmes termes.

6) Si cette crise traduit, au sens de Husserl, «l'échec apparent du rationalisme», échec du rationalisme quand il est réduit à «l'objectivisme», cela ne signifie pas que tout le rationalisme soit mis en question ni surtout que l'on puisse lui tourner le dos. D'où le paradoxe : d'un côté, l'institution qui incarne avec le plus d'éclat la rationalité européenne tend à se récuser elle-même ; de l'autre côté, on ne peut imaginer que cette crise puisse être surmontée sans recourir aux possibilités d'action qu'offre l'institution scientifique. Impossibilité du retour en arrière, de renouer avec l'idylle d'une nature sans science ni technique, nécessité de maîtriser un processus qui peut mener l'humanité à sa perte. Cette crise est une crise *pour* et *par* la science, mais en même temps la crise de la *science* est crise de la *société*. Science et société ne sont pas deux termes hétérogènes, extérieurs l'un à l'autre : le procès qu'on peut faire des conditions dans lesquelles l'institution scientifique poursuit les fins qu'elle sert n'est pas différent du procès qu'on peut faire des conditions dans lesquelles notre société se donne ces fins. L'institution scientifique en crise reflète les choix de sociétés dont les orientations économiques, politiques et militaires légitiment et façonnent les orientations des activités de recherche.

7) Cela revient à dire que la crise de la science ne peut pas être surmontée sans que soit surmontée la crise de la société ; par conséquent, qu'il ne suffira pas d'agir sur l'institution scientifique, par exemple de la réformer d'une manière ou d'une autre, pour que les raisons de la crise s'évanouissent. Cependant, à deux niveaux au moins l'on pourrait agir *à partir* de l'institution scientifique pour envisager sinon des solutions, du moins des amorces de solution.

8) Le premier niveau est culturel : s'il est vrai que «l'échec d'un certain rationalisme» tient à l'oubli du «monde de la vie», alors il est essentiel de réintégrer et de réhabiliter dans notre système de formation, d'éducation et de culture ce que l'impérialisme des sciences de la nature tend à nier ou à refouler : les intérêts, les aptitudes, les connaissances qui ne se réduisent

pas à un savoir quantifiable et quantifié. A plus forte raison est-il essentiel de faire une place plus grande, dans l'enseignement et la recherche, aux sciences sociales et humaines.

9) Le second niveau est politique : s'il est vrai que la crise de la science est liée aux orientations de la recherche, alors il est essentiel de peser pour que changent ces orientations. Le changement scientifique ne répond pas aux seules demandes internes de la science, par opposition au changement technologique soumis aux lois et aux structures du marché : les liens entre science et technologie sont désormais trop étroits pour que les objectifs technologiques des politiques de la science n'influencent pas les objectifs scientifiques des chercheurs. En fait, l'orientation de la recherche scientifique obéit à des options et à des structures de pouvoir données au sein de la société en général et de la communauté scientifique en particulier.

10) Pour reprendre une formule d'Edgar Morin dans le bouillonnant livre qu'il vient de publier comme une étape vers une « science nouvelle », nous sommes en quête d'un savoir qui ne soit « ni mutilation ni manipulation » (1). Et il est possible que sa *Méthode* soit la bonne voie, celle qui permettra de « faire révolution partout » au sens où Sainte-Beuve parlait de la méthode cartésienne. En attendant, quel que soit le (ou les paradigmes) nouveau vers lequel tend la science, il est clair que l'institution scientifique reproduit les contradictions de la société dans son ensemble, et que l'enjeu de la crise dont elle témoigne est d'abord la découverte d'un ou de paradigmes nouveaux pour la société.

I. LA DÉCOUVERTE DU BILAN NÉGATIF DE LA SCIENCE

Les signes du malaise.

Rien n'est plus significatif de la « crise de civilisation » que nous vivons que le procès fait à la science, et que ses procureurs viennent de l'intérieur aussi bien que de l'extérieur de la communauté scientifique. Naguère encore, au lendemain de la deuxième guerre mondiale — malgré Hiroshima et l'impossibilité de revenir à la paix — la science apparaissait comme un facteur et davantage comme une garantie de progrès. Si le monde avait des ennuis, c'est parce qu'il y avait trop peu de science ou un type inadéquat

(1) Edgar MORIN, *La Méthode, I. La nature de la nature*, Editions du Seuil, Paris, 1977.

de science ou parce qu'on ne savait pas bien l'appliquer. Tout semblait possible grâce à la science : des moyens d'action nouveaux, toujours promis à se multiplier et à s'étendre dans la conquête de l'infiniment grand et de l'infiniment petit, et le transfert de ces succès de la rationalité du domaine de la matière à celui de la vie sociale. Vous voulez la lune ? Nous l'avons eue : les désenchantement a succédé à l'euphorie.

L'inquiétude écologique, le malaise universitaire, la révolte étudiante, la critique du « complexe militaro-industriel » et aussi l'indifférence, quand ce ne sont pas les sarcasmes, qui a suivi la répétition presque routinière des promenades sur la lune : « Comment, vous investissez tant d'efforts et d'argent pour en ramener des cailloux, mais vous n'êtes pas capables de résoudre les problèmes de la terre ! » — autant de signes précurseurs d'un mouvement qui n'a cessé de s'étendre et qui, en mettant en cause les objectifs et les résultats des politiques de la science, a fini par mettre en question les normes internes de la science et jusqu'à son statut épistémologique.

Associée à la menace atomique, aux guerres dites conventionnelles, à la détérioration de l'environnement naturel et du milieu social qu'accélère la diffusion à grande échelle des technologies nouvelles, la science en tant qu'institution se voit attaquée de toutes parts, suivant une coalition significative de la pensée réactionnaire et de la pensée gauchiste ; à droite, par ceux qui la dénoncent comme le passe-temps dispendieux d'universitaires qui ne se soucient pas assez du rendement et de la rentabilité, à gauche par ceux qui lui font grief d'être l'instrument de la domination militaire et économique. Les extrêmes se retrouvent d'ailleurs pour exiger des chercheurs qu'ils se préoccupent davantage du court terme et des « besoins réels » de la société (ceux-ci étant évidemment définis d'une manière très différente, d'un extrême à l'autre). Comme on l'a rappelé, toutes les révolutions démocratiques ont accordé une place primordiale à la science et l'ont invoquée pour justifier leurs objectifs ⁽²⁾. Pour certains, aujourd'hui, la révolution devrait venir de l'anti-science, de l'anti-culture, d'une récusation de la démarche et de la vocation scientifiques au nom du retour à l'instinct, à la spontanéité, à la nature.

Ce réquisitoire, s'il n'était qu'une manière littéraire de renouer avec l'anti-intellectualisme, ne prêterait pas à plus de conséquences que du

⁽²⁾ Don K. PRICE, « Purists and Politicians », *Science*, Vol. 163, Washington, 3 janvier 1969.

temps où la science était la cible de critiques mystiques ou romantiques tels que Blake, Keats, Ruskin, poètes, artistes, romanciers ou philosophes dont le discours n'avait aucune prise sur le cours de la science. Mais il est difficile de ne pas se souvenir que l'anti-intellectualisme a nourri aussi les pires mouvements politiques du xx^e siècle — et ce qu'il a coûté en termes de régression scientifique aux régimes qui en ont fait leur doctrine, en termes de vies humaines aux pays qui en ont subi le fanatisme.

Il est juste de remarquer que l'essor de la science moderne n'a jamais assuré, fût-ce dans la mentalité occidentale, le monopole des valeurs propres à la science ni même celui du positivisme qui l'a accompagné. Le xx^e siècle a beau être celui qui dépend le plus des œuvres et de l'esprit de la science dans la formation, le métier, la vie quotidienne des hommes, la part de superstitions et de croyances magiques ne semble pas pour autant s'être réduite : il suffit, pour en avoir conscience, de parcourir les statistiques sur le revenu des astrologues dans les sociétés industrialisées.

Ce qui, en tout cas, constitue la nouveauté de la situation actuelle, c'est que la critique de la science ne vient plus seulement de l'extérieur, mais aussi de l'intérieur. De plus, cette critique ne s'arrête pas aux cercles restreints des intellectuels, elle se manifeste dans le grand public. Parmi ceux qui s'interrogent, on trouve des scientifiques et non des moindres ; parmi ceux qui s'inquiètent, il y a l'homme de la rue. Pour la première fois dans l'histoire du rationalisme, le bilan de la science n'apparaît pas comme nécessairement « positif » ni la vocation du chercheur comme nécessairement « heureuse ». Si les signes de cette crise se sont multipliés depuis la fin des années 60, il est clair qu'il faut remonter plus haut — et plus profond — pour en comprendre le sens.

Gains et pertes des révolutions scientifiques.

Il y a des crises *de* la science et des crises *pour et par* la science. De toute évidence, on ne parle pas de la même chose dans le premier cas que dans le second. Mais peut-on dire qu'il n'y a aucun rapport entre celles-ci et celles-là ? Et n'y a-t-il pas des situations où il est difficile, sinon impossible, d'isoler les unes des autres ? C'est tout le fond du débat qui oppose les « internalistes » aux « externalistes » en histoire des sciences. Un marxiste ne se fera pas faute de souligner qu'à aucun moment la science envisagée comme superstructure n'est un sous-système autonome par rapport au système économique et social. Ce type d'explication peut aller jusqu'à l'absurde, par exemple lorsque Hessen rapportait les *Principes* de

Newton à la lutte des classes sous la Révolution anglaise et à l'essor de la « bourgeoisie capitaliste » (3). Mais point n'est besoin d'être marxiste pour montrer, comme Schmookler ou Merton, que le cours de la science répond aussi aux demandes de la société et aux enjeux dont elle est le théâtre (4).

Dans les rapports entre science et société, la conjonction « et » ne renvoie pas plus à une simple juxtaposition de deux domaines hétérogènes qu'à une subordination étroite de l'un à l'autre. Il y a des crises de la science qui n'intéressent d'aucune façon les milieux extérieurs à la communauté scientifique ; il en est d'autres qui, si éloigné des préoccupations de la société qu'en soit l'enjeu théorique, ne sont ni indifférentes ni étrangères aux changements sociaux. L'histoire des sciences n'a sans doute pas connu de plus « grande crise » que celle qui déboucha sur la révolution scientifique du xvii^e siècle : rupture épistémologique, mutation des esprits, mais aussi des mœurs, des institutions et des structures sociales, la révolution galiléenne peut apparaître à la fois comme l'effet et la cause des grandes transformations de la Renaissance (5). En ce sens, crise de la science et crise de la société ne sont jamais que deux aspects du même phénomène.

Pourtant, on trouve une différence sensible d'appréciation entre les crises sociales (en particulier les révolutions politiques, grandes accoucheuses de l'Histoire) et les crises scientifiques : si les premières, comme les maladies, peuvent avoir une issue heureuse ou malheureuse et donc se conclure parfois sur une régression, les secondes apparaissent toujours comme débouchant sur un progrès. Telle du moins que les scientifiques la pensent et que, jusqu'à présent, les historiens des sciences l'ont

(3) B. HESSEN, « The social and Economic Roots of Newton's *Principia* », dans *Science at the Crossroad*, re-édition des contributions soviétiques au deuxième Congrès International d'Histoire de la Science de 1931, Cass, Londres, 1971, pp. 151-212. L'ensemble de ces contributions, introduit par Boukharine, eut une influence considérable sur les scientifiques et historiens des sciences anglais, notamment Bernal et Needham.

(4) Jacob SCHMOOKLER, « Catastrophe and Utilitarianism in the Development of Basic Science » dans *Economics of Research and Development*, édité par R. A. Tybont, Ohio State University Press, 1965, pp. 19-33 ; Robert K. Merton, en particulier, *Science, Technology and Society in 17th Century England* 1938, re-édité par Harper Torchbooks, New York, 1970 et *Social Theory and Social Structure*, Free Press, New York, 1957.

(5) Le chapitre consacré par le Père LENOBLE aux « Origines de la pensée scientifique moderne » constitue une admirable démonstration de ces liens entre révolution scientifique et changements sociaux, dans *Histoire de la Science*, sous la direction de Maurice Dumas, La Pléiade, Gallimard, 1957, pp. 370-534.

écrite, l'histoire des sciences se distingue de toutes les autres histoires en ce qu'elle ne connaît pas d'issue *négative*. Il n'est pas surprenant que toutes les philosophies de l'histoire, de Vico à Marx en passant par Hegel et Comte, aient vu dans le progrès des sciences un modèle de la nécessité qu'elles assignent aux différentes étapes du devenir humain pour trouver son aboutissement.

Il y a, bien sûr, des problèmes scientifiques sans solution. Mais alors de deux choses l'une : il s'agit soit de faux problèmes (la quadrature du cercle, le mouvement perpétuel), soit de problèmes mal posés dont la solution est reportée ou refoulée jusqu'au mûrissement de la crise qui conduit à les aborder dans des termes nouveaux (ainsi le phlogistique et la génération spontanée auxquels Lavoisier et Pasteur ont permis une fois pour toutes de tourner le dos). Autrement dit, toute crise majeure en histoire des sciences — toute révolution — est source de progrès.

Tel est précisément le titre du dernier chapitre du livre de Kuhn, qui fonde sur ce caractère cumulatif et progressif des sciences de la nature sa conception fameuse du paradigme et des révolutions scientifiques. Il faut reconnaître, si l'on s'en tient à l'histoire *interne* des sciences, qu'il y a quelque chose d'irréfutable dans cette conception. En période de «science normale», quand le paradigme auquel se réfère une communauté scientifique n'est pas remis en question, les spécialistes constituent «un instrument extrêmement efficace pour résoudre les problèmes ou les puzzles que définit le paradigme. Et le résultat de cette efficacité doit inévitablement être un progrès» (6). En période de crise, le passage du paradigme ancien au paradigme nouveau se traduit à son tour par un progrès. Kuhn en donne deux sortes de preuves : l'une est de caractère intellectuel, car le nouveau paradigme permet «de résoudre les problèmes qui ont conduit à la crise» (7), l'autre est matérielle et pédagogique, puisque les spécialistes renoncent aux livres et aux articles fondés sur le paradigme ancien (8).

Irréfutable si cette positivité s'applique exclusivement aux crises internes de la science, on peut s'interroger sur cette conception quand les crises *de* la science sont aussi des crises *pour* et *par* la science. On peut même aller

(6) Thomas S. KUHN, *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, Paris, 1970, p. 197. La traduction française est si mauvaise — *community* devient «groupe» et *puzzle* «énigme» — que je préfère revenir à l'original.

(7) *Idem*, p. 183.

(8) *Idem*, p. 198.

plus loin et se demander si, de nos jours, les crises de la science peuvent encore être strictement restreintes aux débats internes de la communauté scientifique. En ce cas, la positivité spécifique des révolutions scientifiques va-t-elle encore de soi ? Kuhn lui-même en a conscience, puisqu'il note — en passant — que «le bilan d'une révolution scientifique comporte des pertes aussi bien que des gains et (que) les scientifiques ont tendance à se montrer particulièrement aveugles à l'égard des premières». Je veux bien que Kuhn ne pense ici qu'aux pertes que subit le savoir ou l'institution scientifique en tant que telle⁽⁹⁾. Mais il me semble, au contraire, que tout l'enjeu du soupçon qui pèse sur la fonction sociale de la science tient dans cette question : s'il n'y a pas que des gains, qu'en est-il de ces pertes ?

Le progrès scientifique aux assises.

Revenons d'abord sur cette notion de progrès et sur les vicissitudes — les désillusions, dirait Raymond Aron⁽¹⁰⁾ — qu'elle a connues. Née au xvii^e siècle, la science moderne a été immédiatement associée à l'idée de progrès. Par la méthode expérimentale, le savoir agit sur la nature et la transforme : savoir opérationnel, qui non seulement renouvelle le champ de la connaissance, mais aussi se prolonge en instruments d'action. De ce point de vue déjà, la démarche scientifique moderne est par elle-même tournée vers l'avenir, en elle-même source de progrès : la théorie est soumise à l'épreuve pratique de résultats qui s'additionnent, se cumulent et se multiplient.

On peut discuter à loisir sur la réalité du progrès en morale ou du progrès en esthétique : inépuisable sujet de dissertation pour potaches, sur lequel le moindre bon sens interdira toujours de conclure. L'histoire contemporaine, individuelle et surtout collective, est si «pleine de bruit et de fureur», si riche en défis ou en dénis de ce qui passe pour être le bien, que

(9) *Idem*, p. 198. La note à laquelle renvoie cette phrase évoque la psychologie des étudiants en histoire des sciences : ceux qui ont une formation scientifique obtiennent souvent les meilleurs résultats, mais ils se révèlent aussi «les plus agaçants au départ» dans la mesure où, «connaissant la réponse juste», ils ont d'autant plus de difficultés à «analyser une science plus ancienne en ses propres termes». C'est dire que «les pertes» d'une révolution scientifique intéressent l'historien comme des monuments historiques au même titre que les gains, mais qu'elles sont lettre morte pour le scientifique puisqu'elles ne lui apportent rien dans la pratique de son activité. S'il ne s'agit que de cela, cette note me paraît déjà très révélatrice du divorce entre les «deux cultures».

(10) Raymond ARON, *Les désillusions du progrès — Essai sur la dialectique de la modernité*, Calmann-Lévy, Paris, 1969.

ce serait folie d'attribuer plus de vertu à l'homme du xx^e siècle qu'à celui des générations qui l'ont précédé : entre les camps de concentration d'Hitler, les massacres staliniens et tant d'autres plus récents, qui contesterait à notre siècle un brillant palmarès au tableau d'honneur des violences de l'Histoire ?

Du point de vue de l'art, les monuments des civilisations disparues ou des sociétés transformées sont là pour témoigner que le progrès est affaire de perspective autant que de goût, mais jamais de cumul : notion absurde, en vérité, qui tendrait à reconnaître une « moindre beauté » à l'art rupestre ou grec qu'à celui du xvii^e ou du xx^e siècle, aux tableaux de Breughel ou de Franz Hals qu'à ceux de Picasso ou de Soulages. Les Musées se remplissent d'œuvres nouvelles, mais elles n'annulent pas celles du passé.

La science, au contraire, est ce domaine de la culture qui, par l'accumulation et le renouvellement, rend caduques, obsolètes comme l'on dit aujourd'hui, des pans entiers de connaissances du passé (et, de plus en plus, du passé le plus récent. Dans tous les autres domaines de la culture, on tourne les pages d'un même livre ; en science, comme l'a souligné Kuhn, on change de livre : « Il n'y a rien dans la formation scientifique qui soit l'équivalent du musée artistique ou de la bibliothèque des classiques » (11).

Sur la lancée des succès remportés par la méthode expérimentale, les liens entre l'idée de progrès et la science sont apparus si étroits, que celle-ci est devenue le modèle de ce qu'il fallait à la fois penser et faire pour permettre à la société d'accéder au « plus » : bonheur, mieux-être, progrès social et, pourquoi pas, progrès moral ? Ce modèle qu'offre la science, c'est essentiellement, ne l'oublions pas, celui des sciences de la nature : tout le siècle des Lumières s'en inspire et en tout, attendant de leur « grand exemple », dit Cassirer, « le renouvellement des sciences morales, une vision approfondie de l'esprit des lois, de l'esprit de la société, de la politique, de l'art poétique même » (12). Présentant le savoir comme pouvoir — celui-là même qui doit, suivant le mot de Descartes, rendre l'homme « maître et possesseur de la nature » —, les sciences de la nature substituent aux évidences du monde vécu l'ordre du monde soumis au calcul et à la mesure.

La tentation est grande non seulement d'invoquer le modèle dans la pratique sociale, mais encore de l'y transposer : le siècle des Lumières voit

(11) Thomas S. KUHN, *op. cit.*, p. 198.

(12) Ernst CASSIRER, *La Philosophie des Lumières*, Fayard, Paris, 1966, pp. 76-77.

dans le progrès des connaissances l'accès au progrès du genre humain ; il suffira donc d'appliquer à la conduite des hommes les méthodes, la démarche, les principes de ces sciences qui ont tant fait (et ne vont pas cesser de faire) leurs preuves dans le domaine des choses, pour tracer tout droit, dans les sillons désordonnés de l'histoire, la route du progrès. Comme l'enfant grandit, comme Zazie mûrit, plus il y a de science, plus l'humanité doit irrésistiblement marcher vers le mieux.

Pour les sociétés modernes, marquées de part en part, jusque dans leur vie quotidienne, par les succès pratiques, tangibles, incessants des sciences de la nature, le rationalisme joue le rôle d'un institut d'émission qui a toujours frappé même monnaie : côté pile, la science ; côté face, le progrès. On peut imaginer la pièce ainsi gravée : sur l'avvers, « République des savants » ; sur le revers, la corne d'abondance des découvertes et des innovations. Or, cette monnaie qui a cours légal partout où le rationalisme occidental se substitue aux attitudes magiques, ressemble à toutes les monnaies : son cours n'est pas inscrit une fois pour toutes dans l'espace et le temps. Il y a des hauts et des bas, des périodes de déflation et d'inflation, avec une circulation plus ou moins grande de papier monnaie.

Quand il y en a peu en circulation, le cours est au plus haut, la monnaie inspire confiance, elle est même prestigieuse : équation simple, la science c'est le progrès et le progrès c'est la science. Ainsi dans l'Europe du XVIII^e siècle, où la science promettait plus qu'elle ne pouvait tenir et venait à peine de conquérir sa légitimité : inflation. De même aujourd'hui, dans les pays peu développés où traditions et structures scientifiques sont inexistantes, la science apparaît comme la voie royale de la modernité, instrument et garantie du processus accéléré d'industrialisation : surévaluation. En revanche, dans les sociétés industrialisées : dévaluation.

Dans *Les désillusions du progrès*, Raymond Aron s'est longuement interrogé sur cette « dialectique de la modernité » qui conduit les sociétés occidentales, avec des alternances d'optimisme et de pessimisme, à contester leurs succès. D'où viennent, demandait-il, les insatisfactions, les frustrations, les troubles qui agitent nos sociétés : « *en dépit de la prospérité ? Ou à cause d'elle ? Ou en dehors d'elle ?* Chacune de ces hypothèses comporte à mon sens une part de vérité, fournit une explication partielle » (13). Mais s'il est vrai que la réussite elle-même crée

(13) Raymond ARON, *op. cit.*, Préface, p. ix (souligné par l'auteur). Insistant, en 1969, sur les limites des succès de cette prospérité telles qu'elles peuvent apparaître « à la

l'échec, alors le thème du progrès est mort des succès mêmes de la science. De fait, un des signes de la modernité est que le thème de la croissance a pris le relai de l'idée de progrès : celui-ci ne se mesure pas, et se révèle, faute d'expression quantitative, une idée de philosophe ou un mythe ; celle-là, au contraire, n'a de sens qu'au niveau des comptabilités nationales dont le volume des biens et des services, et non pas le « mieux-être », donne la mesure.

Une des causes du malaise que vivent nos sociétés depuis les années 60 tient assurément à la prise de conscience des dommages qu'entraîne le processus de croissance tel qu'il a été jusqu'à présent conçu. Ce n'est pas la seule, loin de là. Mais cet exemple est particulièrement significatif du point de vue qui nous occupe ici, et à un double titre. D'abord, il souligne que la croissance n'est pas sans limites, et que les sociétés industrialisées sont tenues de prendre en compte, au bilan des gains et des pertes, les unes tout autant que les autres : dans ce processus de « destruction créatrice » suivant la formule de Schumpeter, on ne peut plus tirer un trait aussi léger que naguère sur ce qui est détruit. Ensuite, cet exemple signale de la part de la société une attitude tout-à-fait nouvelle à l'égard de la science, un véritable retournement.

Dans la mesure même où la science n'est pas étrangère à ces dommages, son image cesse de coïncider avec l'image du progrès. Hier encore, l'activité scientifique pouvait s'épanouir, sans risque de se révéler coupable ou complice de conséquences désastreuses ; aujourd'hui, on n'est pas loin de lui demander de faire à l'avance la preuve de son innocence. Tel est bien le sens profond du *technology assessment* : contrôle, évaluation de la technologie, sans doute ; mais la formule renvoie, étymologiquement, en français comme en anglais, à l'idée d'un tribunal ⁽¹⁴⁾. Or, à ce tribunal, ce n'est pas seulement la technologie qui est sur la sellette, mais la science elle aussi.

Du même jugement, constatait Hannah Arendt, par lequel « on fait honneur aux sciences de la nature d'avoir provoqué un accroissement démontrable, toujours plus rapide, de savoir et de pouvoir », on peut les blâmer

génération qui n'a pas connu le capitalisme de 1910 à 1938 », R. Aron notait, mais un peu vite, que dépressions et chômage appartiennent pour cette génération au passé lointain (p. xi).

⁽¹⁴⁾ On pourrait traduire : « la technologie aux assises », comme l'on bien vu J.-C. DERIAN et A. STAROPOLI, *La technologie incontrôlée ? Une présentation du Technology Assessment*, P.U.F., Paris, 1975, p. 27.

d'avoir accru, d'une manière à peine moins démontrable, les instruments de mort, de désespoir, de nihilisme — «l'aspect le plus significatif de ce nihilisme et de ce désespoir étant qu'ils n'épargnent plus les savants, dont l'optimisme bien fondé pouvait encore au XIX^e siècle s'opposer au pessimisme également justifiable des penseurs et des poètes» (15). Souvenons-nous de l'article fameux où Pasteur, parlant des laboratoires comme des «temples de l'avenir et du bien-être», disait que «l'humanité y apprend à lire dans les œuvres de la nature, œuvres de progrès et d'harmonie universelle, tandis que ses œuvres à elle sont trop souvent celles de la barbarie, du fanatisme et de la destruction». Ce qui a changé par rapport à Pasteur et à tous les thèmes du progrès dans lesquels le XX^e siècle pouvait encore voir un article de foi, c'est qu'aujourd'hui les œuvres de la science ne sont pas moins au service de la barbarie qu'à celui de l'harmonie universelle.

II. L'ÉCHEC D'UN CERTAIN RATIONALISME

Science manipulatrice, science manipulée.

En 1970, quand j'ai publié *Science et Politique* — dont le sous-titre devait être «Essai sur la situation des scientifiques dans le monde moderne» —, la contestation de l'intérieur de la communauté scientifique commençait à peine. Il n'était pas besoin d'être prophète pour prévoir que, venue des Etats-Unis pour des raisons évidentes, elle s'étendrait vite à l'Europe. De fait, les livres critiques de la science ce sont multipliés (16), tout comme les mouvements plus ou moins organisés de scientifiques «contestataires». Mouvements marginaux, à première vue, dont un décompte statistique montrerait qu'ils ne regroupent qu'une très petite fraction de la population des chercheurs. Mais, outre ceux qui participent acti-

(15) Hannah ARENDT, *Condition de l'Homme Moderne*, Calmann-Lévy, Paris, 1961, p. 294.

(16) En particulier, J. R. RAVETZ, *Scientific Knowledge and its Social Problems*, Oxford University Press, 1971. Du même auteur, voir «Criticisms of Science», qui montre fort bien l'évolution de cette littérature, dans *Science, Technology and Society*, édité par D. J. de Solla Price et I. Spiegel-Rösing, Sage, Londres 1977. Aussi, les deux livres édités par HILARY et Steven ROSE, *The Radicalisation of Science* et *The Political Economy of Science*, MacMillan, Londres, 1976.

vement à la *critique* de l'institution scientifique, le nombre des chercheurs qui se sentent en *crise* n'a cessé de grandir, comme s'il y avait de moins en moins de chercheurs «heureux» au sens où Michel Serres, s'indignant de l'instinct de mort qui s'est emparé de la science, parle justement du bonheur et du plaisir de la recherche (17).

Quelque chose s'est joué dans l'histoire de l'institution scientifique qui la retient désormais d'invoquer avec la même force de conviction les valeurs non moins que les joies dont elle se réclamait depuis l'origine. On peut dater ce tournant de la deuxième Guerre mondiale en fonction d'événements-symboles tels que le *Manhattan Project*, la première explosion atomique d'Alamogordo ou celles d'Hiroshima et de Nagasaki, mais on peut tout aussi bien remonter à la première Guerre mondiale dont André Malraux a dit qu'elle révélait pour la première fois, à cause de l'usage des gaz asphyxiants, «du négatif au bilan de la science». Depuis la seconde Guerre mondiale, et désormais dans le domaine civil non moins que dans le domaine militaire, les événements-symboles se sont accrus et accélérés qui légitiment d'autant plus le dossier de la critique et de la contestation à dénoncer dans ce tournant une trahison.

Pour qui s'interroge sur le sens philosophique de ce qui s'est joué, il est impossible de ne pas se référer aux conférences dans lesquelles Husserl, il y a plus de quarante ans, s'interrogeait déjà sur la «crise des sciences européennes», crise de «l'humanité européenne» comme il disait, où se préparaient tous les événements dont nous avons été et sommes toujours les témoins (18). Textes testament, écrits alors que la barbarie s'étendait déjà sur l'Europe, et qui dénonçaient dans «l'échec apparent du rationalisme» toutes les racines d'une crise dont la seule nouveauté aujourd'hui est précisément qu'elle soit perçue et vécue à leur tour par les scientifiques eux-mêmes. Au risque de me répéter, je ne peux pas mieux faire qu'emprunter à mon livre l'analyse de ce tournant, dans la mesure même où elle

(17) Michel SERRES, «Trahison : la thanatocratie», *Hermès III — La Traduction*, Editions de Minuit, Paris, 1974, pp. 73-104. Ainsi : «Le savoir naît heureux. Il se partage, heureux, sans se pouvoir diviser, il multiplie, de soi, les fruits de la réjouissance. Il faut n'avoir jamais reçu la piqûre aiguë, délectable d'une solution ou d'une idée, n'avoir jamais évalué de fait son pouvoir thaumaturge, son buissonnement à foison dès lors qu'on la donne, pour se dessécher sur pied, comme tant et tant, parmi un métier qui n'a cependant de rapport exact qu'au rire et à l'éros ...» (p. 74).

(18) Edmond HUSSERL, *La crise des sciences européennes et la phénoménologie transcendantale*, Gallimard, 1976, pp. 61-62.

a trouvé dans ces textes de Husserl plus qu'un fil directeur, son fondement (19).

A partir de Galilée, l'accès à la connaissance de la nature, le moyen de contraindre celle-ci à livrer ses secrets, la voie royale qui mène à la vérité scientifique passent par l'action et non plus seulement par la contemplation. Le processus qui envahit les sciences par l'expérimentation ne conduit pas seulement à traiter la nature comme un instrument, il conduit le savoir à devenir lui-même un instrument.

Le renversement épistémologique et philosophique qui remonte à la mathématisation de la nature débouche sur la technicité croissante du savoir : «simultanément un génie qui découvre et qui recouvre», Galilée est l'inventeur qui fait de «l'œuvre de la pensée une opération mécanique». Cette œuvre de la pensée, dit Husserl, n'est «nullement dépréciée» du fait qu'elle s'explique comme une *technè*, elle est «en fait étonnante au plus haut point». Galilée «recouvre» du vêtement des idées intelligibles la présence concrète du monde réel (20) : rendu accessible au calcul et à la prévision, ce monde se prête du même coup à l'intervention d'une rationalité orientée vers l'action.

Le savoir n'est pas disqualifié par sa métamorphose en pouvoir, tout au contraire ; mais, ensevelissant son essence de *theoria* sous l'édifice continu de ses réalisations techniques, jusqu'à se confondre avec elles, il perd en même temps le sens de sa finalité propre. Et c'est en tant qu'il est ce génie «qui recouvre» que Galilée incarne l'aliénation de la science moderne se réalisant comme technique : aliénation qui tient à son caractère opérationnel, par quoi elle tourne le dos au propos de «sagesse» et d'humanisme de la science antique. Le même processus qui a substitué à la nature perçue par les sens une nature construite par l'appareillage théorique et pratique de la science, a substitué au savoir conçu comme une fin en soi le savoir réalisé comme un moyen parmi d'autres : la science qui manipule la nature a pour vocation d'être manipulée à son tour.

Ainsi, dès l'origine, l'idée d'une instrumentalité de la nature a-t-elle fondé l'idée de l'utilité du savoir. C'est tout le thème de Bacon : l'approche théorique de la science n'est pas dissociable de son projet pratique, le caractère opérationnel du savoir n'est pas séparable de son caractère

(19) Jean-Jacques SALOMON, *Science et Politique*, Seuil, Paris, 1970, en particulier la Troisième Partie.

(20) E. HUSSERL, *op. cit.*, pp. 61-62.

spéculatif. C'est également l'un des thèmes de Descartes, et pourtant, de l'un à l'autre les principes qui fondent la recherche sont si différents qu'ils conduisent à une idéologie opposée de la science. D'une certaine façon, le dialogue impossible entre la tradition baconienne et la tradition cartésienne annonce les ambiguïtés du dialogue contemporain entre la science et la politique : Descartes est du côté de la science pure, Bacon du côté de la science appliquée. Le pressentiment de Descartes à l'égard de ce que peut sa physique engage une conception non moins active de la science que le pressentiment de Bacon à l'égard de la sienne, mais Descartes vise le règne du savant là où Bacon songe au règne de l'ingénieur.

Malgré l'utopie de Bacon et malgré l'effort théorique de Descartes, ni l'un ni l'autre n'ont vu qu'il appartiendrait à un troisième homme de réaliser toutes les potentialités de la science active que l'un et l'autre annonçaient : pour que la science se réalise comme technique, il faut, après le savant, mais avant l'ingénieur, le *scientist*. Dans sa relation au pouvoir, le scientifique serait cartésien en tant qu'il se réclame d'autres valeurs que celles de la politique, mais il ne serait pas moins baconien en tant que ces valeurs n'empêchent pas la science de se prêter aux objectifs du pouvoir.

Tous les termes de la relation entre la science et la politique sont présents dès le départ de la science moderne ; la seule différence avec la situation actuelle est que la science ne peut alors que promettre, faut d'applications rapides et conséquentes, et que l'Etat, du même coup, n'est disposé à soutenir la recherche que comme une activité culturelle dont le caractère utilitaire ne suffit pas à la distinguer vraiment des autres activités de l'esprit. Il faut l'expérience de la Révolution française pour voir la science s'associer résolument, pour la première fois, aux décisions politiques, et il faudra l'industrialisation pour accélérer et accroître, à partir de la fin du XIX^e siècle, l'influence de la recherche scientifique sur le développement social. Mais il faudra surtout les deux guerres mondiales.

Si le *Manhattan District Project* est l'exemple le plus significatif de l'association délibérée entre la science et le pouvoir, association si étroite que le soutien à grande échelle de l'un doit impliquer les résultats à grande échelle de l'autre, cet exemple est loin d'être le seul : il illustre une situation qui va se généraliser à la plupart des activités de recherche. L'ère de la « grande science » a commencé qui fait du savoir scientifique un travail organisé, souvent industrialisé, parfois bureaucratisé, en tout cas tributaire d'investissements massifs et par suite de décisions politiques. Mais le même savoir, par la diffusion de ses résultats et l'échelle de ses conséquences, affecte à son tour le théâtre des décisions politiques, et le

scientifique devient conseiller, stratège, diplomate, agent parmi d'autres au service de l'Etat, quand il ne passe pour prêtre d'une religion dont le culte est lié au pouvoir. Le mouvement qui, depuis les débuts de la science moderne, a fait de la recherche scientifique une profession sécularisée, débouche avec les politiques de la science sur sa métamorphose en institution, quand ce n'est pas en religion d'Etat.

L'idéologie de la science conçue comme pure aventure de l'esprit, recherche désintéressée, institution autonome dans le système social, apparaît du même coup illusoire, sinon mystificatrice face aux réalités de la pratique de la recherche. Mais, précisément, la situation du scientifique est tout entière inscrite dans cette ambiguïté inévitable qui veut que la science se donne comme une fin en soi, alors qu'elle n'est reconnue ni soutenue qu'en fonction de son instrumentalité. Même la science qu'on dit pure ne peut échapper aux critères d'utilité auxquels se subordonne le système de production : non pas seulement parce que la science pure se voit attribuer des valeurs étrangères à ses fins, mais aussi parce que ses propres valeurs se dissolvent toujours davantage dans les fonctions qu'elle remplit comme technique parmi d'autres.

En fait, ce qu'on appelle science pure n'est plus qu'un élément dans le système que constituent les activités de recherche, et cet élément n'est pas nécessairement le premier, ni hiérarchiquement ni chronologiquement. «Pure» s'oppose à «impure», «fondamental» à «trivial», «désintéressé», bien sûr, à «intéressé» : avec toutes ces résonances morales et sociales, le concept d'une science pure renvoie au modèle antique de la cité intellectuelle stratifiée en fonction des essences. La hiérarchie de l'esprit et du corps est toujours présente dans la hiérarchie du savant et de l'ingénieur, comme si le propre de la science contemporaine n'était pas d'associer la théorie et la pratique ; mais l'évolution des activités de recherche a supprimé toute opposition d'*essence* entre la science et la technique. De la réflexion la plus théorique à ce qu'on appelle le développement, la recherche scientifique constitue un processus dont les différents éléments sont autant de chaînons d'un *système* continu et rétroactif : il y a une rencontre constante et inéluctable entre les deux domaines, importation et utilisation de concepts dans la technique, transfert et manipulation d'instruments dans la science.

En établissant sa légitimité dans le système de la culture, la science moderne devait en même temps proclamer l'autonomie de sa démarche contre l'esprit d'autorité et s'opposer à l'ingérence de toute autorité — religieuse, politique, économique. S'il s'agit du contenu et de la conduite

du discours scientifique, il est vrai que la moindre intervention du pouvoir politique entraîne une confrontation entre la vérité et ce qui la conteste. De ce point de vue, rien n'a changé depuis l'époque où Galilée devait dénoncer l'intervention du pouvoir sur un domaine dont seul le jugement scientifique pouvait être l'arbitre : Einstein et Freud condamnés par les nazis ou par les communistes, la théorie darwinienne écartée par certains Etats américains, les généticiens russes liquidés par Staline, tout cela c'est une vieille histoire et c'est toujours la même histoire.

En revanche, aujourd'hui, le discours scientifique est moins souvent contesté en tant que discours vrai que ne l'est son aptitude à devenir pratique utile. La nouveauté est que, si le pouvoir politique ne peut indiquer aux chercheurs comment ils doivent chercher ni à plus forte raison ce qu'ils doivent trouver, partout il aspire désormais à leur indiquer ce qu'ils doivent chercher. Le propre de la relation nouvelle qui s'est instituée entre la science et la politique, c'est que leur conflit possible ne se place plus seulement sur le terrain de la vérité, mais encore sur celui de l'utilité — et par suite, du rendement. Telle est l'équivoque : le discours de la science est jugé sur la base des applications qu'elle fonde, même si les valeurs dont elle se réclame renvoient à un autre système de références que celui de l'utilité. Même si, surtout, il n'existe aucun moyen de mesurer la rentabilité de la recherche fondamentale.

L'aliénation scientifique.

Il n'y a, suivant Max Weber, que deux façons de faire de la politique : ou bien on vit «pour» la politique ou bien on vit «d'elle», et le savant, du haut de sa chaire — car Weber pensait surtout au professeur, au chercheur dans sa fonction d'enseignant — doit s'abstenir et de l'une et de l'autre (21). Mais la fin du «laissez-faire» dans les relations entre la science et l'Etat montre qu'il y a désormais une troisième façon de faire de la politique, et le scientifique en tant que tel n'y échappe plus : non pas vivre pour elle ou d'elle, mais vivre *dans* elle, comme une conséquence et non comme une cause de sa profession, comme un destin plaqué sur sa vocation et non comme l'éventuelle rencontre en lui de deux vocations. Liés par les moyens que l'Etat leur accorde, parfois par le secret qu'il leur

(21) MAX WEBER, «La vocation d'homme politique», dans *Le savant et la politique*, Plon, Paris, 1959, pp. 123-124.

impose, les scientifiques le sont par les fins que l'Etat poursuit grâce à leurs travaux.

Qu'en est-il, alors, de leur neutralité ou plutôt de leur prédication de neutralité aux termes de laquelle la science, discours indépendant des valeurs engageant l'homme dans la cité, définirait les scientifiques comme une espèce à part dans le genre de l'animal politique? Récurrence, nostalgie de l'époque révolue où la science militante coïncidait avec toutes les promesses du progrès : c'est ignorer ce qu'elle est devenue comme institution triomphante dans le système industrialisé qui est le nôtre, au nom de ce qu'elle a pu être comme idéologie de la connaissance dans les systèmes pré-industriels. Le même postulat qui sépare la théorie de la pratique distingue le projet scientifique et ses applications, sépare le savoir conçu comme fin du savoir se réalisant comme technique. En somme, le problème de la science pure est celui de Dieu dans toute théodicée : comme il faut que l'innocence de Dieu soit la culpabilité de l'homme, il faut que l'innocence de la science soit la culpabilité de la technologie.

Mais le *rôle* qu'exerce le scientifique dans les sociétés modernes, la *fonction* qu'il remplit, le *pouvoir* qu'il détient, la *position* institutionnelle qu'il occupe interdisent de prendre au pied de la lettre cette prédication de neutralité. Qu'il traite de problèmes scientifiques sur le terrain politique ou de problèmes politiques sous les dehors de l'expertise scientifique, le chercheur est immanquablement dans la politique et non hors d'elle. Même l'universalité du discours de la science ne suffit pas à constituer la communauté scientifique internationale en République unie, qui transcende les frontières, échappe aux pressions politiques, supprime les loyautés nationales : devant les réalités de l'Histoire, les scientifiques ne s'unissent ni mieux ni plus que les prolétaires.

Définir cette équivoque à partir des intérêts ou des motivations, comme c'est le cas lorsqu'on parle d'une conspiration ou du « complexe militaro-industriel », m'a toujours paru une explication sommaire, tout comme celle qui consiste à attribuer aux scientifiques une spécificité qui ferait d'eux un *establishment* dont la fonction intellectuelle serait séparable des responsabilités politiques qu'il assume. Il faut une fois de plus remonter à la nature même de la science moderne, qui implique irréversiblement cette relation entre savoir et pouvoir, pour comprendre à quoi tient cette équivoque. J'ai proposé de désigner le théâtre de cette relation par un mot nouveau qui, sans doute, n'est pas le plus satisfaisant, mais c'est le seul qui m'ait paru s'imposer.

La situation du scientifique est circonscrite dans un espace de décisions qui affectent ses travaux et que ses travaux influencent : la *technonature* est l'espace dans lequel les intérêts et les attitudes des scientifiques sont liés au pouvoir, l'espace dans lequel les scientifiques sont à la fois *responsables* des besoins du pouvoir et *tributaires* de ses objectifs. Ce mot ne désigne pas un groupe, une classe, une élite, mais l'arène dans laquelle les forces naturelles sont manipulées sous l'horizon des décisions politiques, l'arène dans laquelle la séparation idéale entre science et politique est récusée.

En ce sens, la technonature, où les intérêts et les attitudes des scientifiques sont à ce point associés au pouvoir qu'ils semblent coïncider avec les attitudes et les intérêts des hommes politiques, est le lieu *par excellence* de la science *aliénée*. C'est dire qu'il y a déjà, dans la situation du scientifique, d'autres niveaux ou formes d'aliénation. On peut les distinguer de la manière suivante :

1) En raison même du langage spécialisé de la science et des canaux de communication qu'elle emprunte, le scientifique apparaît «étranger» aux autres hommes, qu'il s'agisse de profanes ou même de confrères dont la discipline est aux antipodes de la sienne. «Aliénation croissante, disait Oppenheimer, par rapport à la compréhension commune des hommes» (22), le scientifique se meut dans un monde où le langage a perdu son pouvoir de trait d'union entre l'expérience et le savoir de tous les hommes.

Cette séparation de caractère logique et linguistique a déjà, comme l'a bien vu Hannah Arendt, un sens éminemment politique : «Dès que le rôle du langage est en jeu, le problème devient politique par définition, puisque c'est le langage qui fait de l'homme un animal politique. Si nous suivions le conseil, si souvent répété aujourd'hui, d'adapter nos attitudes culturelles à l'état actuel des sciences, nous adopterions en toute honnêteté un mode de vie dans lequel le langage n'aurait plus de sens» (23). Technicité, égotisme du langage qui explique en tout cas que l'on voie si aisément dans le scientifique un mage, un thaumaturge, un prêtre. Et qui fonde tout autant l'arrogance de certains scientifiques que le mythe de l'infaillibilité de leur expertise ...

(22) J. R. OPPENHEIMER, «Science et Culture», *Les Etudes Philosophiques*, n° 4, PUF, Paris, oct.-déc. 1964, p. 533 et son intervention aux Colloques de Rheinfelden, «Spécialisation et discours commun», Calmann-Lévy, Paris, 1960, pp. 261-273.

(23) Hannah ARENDT, *Condition de l'homme moderne*, Calmann-Paris, 1961, p. 10.

2) L'assimilation croissante de la recherche scientifique à une production parmi d'autres qui se soumet, comme tout le système industriel, à la division du travail, à la parcellisation et à la bureaucratisation, est une autre source d'aliénation. La population des chercheurs s'est à ce point accrue qu'elle comporte nécessairement, outre ses chefs de file aux noms et au statut prestigieux, une armée de besogneux et d'anonymes. L'industrialisation et l'organisation de la recherche entraînent à la fois une stratification de la communauté scientifique, avec des tâches standardisées et des tâches plus nobles, avec son aristocratie de prix Nobel et ses prolétaires-techniciens, et une dispersion du rôle des chercheurs dans des institutions hétérogènes — laboratoires universitaires, industriels, gouvernementaux —, entre lesquels il n'y a pas nécessairement de liens ni même d'échanges.

De ce point de vue, il est clair que la pratique contemporaine de la recherche ne renvoie plus aux canons ou aux modèles idéaux de la science d'avant l'ère industrielle. La science perd son sens de recherche qui est à elle-même sa propre fin pour entrer dans le cycle commun à toute production où chaque fin peut servir de moyen dans un autre contexte : aliénation dans la mesure où le rapport à la vérité, dont le discours scientifique s'est toujours réclamé, se révèle dépossédé dans un rapport d'utilité où toute valeur devient valeur d'usage, où toute fin se transforme en moyen pour d'autres fins.

3) A cette aliénation inévitable, inscrite dans la définition même de la science moderne du seul fait que celle-ci a cessé d'être théorie pure, c'est-à-dire une fin en soi, la technonature en ajoute une autre : non seulement la connaissance scientifique n'a plus sa fin en elle-même, mais encore son devenir tend à s'identifier aux fins du pouvoir parce que ses intérêts tendent à se confondre avec ceux de l'Etat. «L'œuvre de la pensée», comme disait Husserl, s'y révèle un simple outil au service du pouvoir, et le problème qu'elle affronte n'est plus seulement celui du rapport épistémologique de filiation que la théorie entretient avec la pratique, mais celui du rapport politique que le savoir entretient avec l'autorité qui le subventionne.

Dans l'horizon optimiste du XVIII^e siècle, et même du XIX^e siècle où la science était loin encore de tenir ses promesses d'applications, les chercheurs aspiraient au soutien de l'Etat sans avoir à se confondre avec ses institutions ; s'ils pouvaient offrir leurs services sans s'exposer à perdre le contrôle de leurs propres affaires, c'est que le travail scientifique en était

encore à l'âge artisanal. L'industrialisation de la recherche, qui point dès l'aube du xx^e siècle et qu'accélère la deuxième Guerre mondiale, transforme les termes de la relation : le projet scientifique se place sous la dépendance des décisions politiques, et plus il peut tenir ses promesses d'applications, c'est-à-dire plus il s'offre et se réalise comme une technique, plus il dépend des options de l'Etat.

L'espace dans lequel la science fait l'objet de décisions politiques et affecte ces décisions ne renvoie pas à la vérité, mais à l'efficacité. Et c'est ce qui explique que le scientifique qui prétend, en tant que tel, échapper aux conflits de valeurs, aux tensions, aux engagements qu'impose la cité, soit pris aux pièges de la responsabilité. La différence majeure entre l'affaire Galilée et l'affaire Oppenheimer réside précisément en ceci que l'on est passé d'une mise en question de l'attitude méthodologique du chercheur par rapport à la vérité, à une mise en question de son attitude politique par rapport à sa fonction d'expert. L'affaire Galilée opposait deux conceptions différentes des limites de compétence du *savoir*, tandis que l'affaire Oppenheimer oppose deux conceptions différentes des limites de compétence du *pouvoir* : le terrain sur lequel se place le débat n'est plus celui de la vérité scientifique aux prises avec ce qui lui est étranger, c'est celui de l'avis technique aux prises avec la décision politique qu'il est appelé à fonder.

Que peut, dès lors, la vocation du chercheur sur les affaires de la cité, si elle n'offre qu'une technique parmi d'autres à l'usage du pouvoir ? Le vieil antagonisme entre savoir et pouvoir placé sous les auspices de la vérité se réduit à un choix personnel entre la vocation impossible à accomplir sans l'appui du pouvoir, et la compromission de cette vocation par le soutien qu'elle reçoit. Si le chercheur, refusant de vivre la science comme une technique, attend plus de sa vocation, il ne sera, comme l'était Oppenheimer et comme le sont beaucoup de chercheurs aujourd'hui, qu'un rebelle, qu'un contestataire lui-même contesté par ses pairs et par le pouvoir. Le scientifique n'échappe pas aux compromissions de l'action, pas plus que l'homme naturel de Rousseau n'échappait à la société : la science «pure» est un mythe d'origine comme celui du «bon sauvage».

Dans la communauté des chercheurs, bien peu nombreux sont ceux qui résistent à l'aliénation de la technonature, c'est-à-dire qui font passer le discours de la science comme technique réalisée. Aujourd'hui, les scientifiques ne sont dans leur majorité que des techniciens des sciences de la nature, des professionnels indifférents aux valeurs et aux conflits que la science met en cause dans son rapport à la cité. Ceux, très rares, qui se

refusent à être définis par la seule pratique de leur spécialité, qui s'interrogent au nom même des valeurs de la science sur les implications sociales et politiques de ce qu'ils font, prolongent cette «figure de la culture» qu'est devenu pour nous le savant : figure de la culture, puisque si le scientifique ne désigne plus qu'une réalité professionnelle, le *savant* évoque ces exigences idéologiques — morales et esthétiques — que nous ne pouvons renoncer à voir à l'œuvre dans la pratique de la recherche.

III. DES DEUX CULTURES ET AUTRES RÉFORMES

Plaidoyer pour le monde de la vie.

La crise de la science ne date donc pas d'aujourd'hui, même si c'est effectivement depuis la fin de la deuxième Guerre mondiale qu'elle est devenue plus aiguë dans le sillage des crises renouvelées que vivent nos sociétés. C'est qu'il y a un rapport étroit entre la science réduite à l'efficacité de ses résultats et la «faillite de l'humanisme» sur lequel Husserl s'interrogeait dès 1935-36. Plus la science est efficace, moins elle apporte de réponse aux questions du sens ou du non-sens de l'existence humaine ; plus elle est «payante», moins elle semble servir l'humanisme. Le constat dressé par Husserl ne s'applique pas moins à l'ère atomique, spatiale ou électronique, qu'à celle qui les a précédées. Et l'on s'en veut de ne pas citer tout ce passage en entier, tant il semble aborder de front la question même qui nous est aujourd'hui posée :

«Nous prendrons notre point de départ dans un renversement qui eut lieu au tournant du siècle dernier dans l'attitude à l'égard des sciences. Ce renversement concerna la façon générale d'*estimer* les sciences. Il ne vise pas leur scientificité, il vise ce que les sciences, ce que la science en général avait signifié et peut signifier pour l'existence humaine. La façon exclusive dont la vision globale du Monde qui est celle de l'homme moderne s'est laissée, dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, déterminer et aveugler par les sciences positives et par la «prosperity» qu'on leur devait, signifiait que l'on se détournait avec indifférence des questions qui pour une humanité authentique sont les questions décisives. De simples sciences de faits forment une simple humanité de fait. Ce renversement dans la façon d'estimer publiquement les sciences était en particulier inévitable après la guerre et, comme nous le savons, elle est devenue peu à peu dans les jeunes générations une sorte de sentiment d'hostilité. Dans la détresse de notre vie, — c'est ce que nous entendons partout — cette science n'a rien à nous dire. Les questions qu'elle exclut par principe sont précisément les

questions qui sont les plus brûlantes à notre époque malheureuse pour une humanité abandonnée aux bouleversements du destin» (24) ...

Assurément, «la crise européenne s'enracine dans l'erreur d'un certain rationalisme» (25), celui qui a mis «hors circuit», pour parler encore le langage de Husserl, «le monde de la vie». Peu importe ici que la solution préconisée par Husserl, le retour au sujet par la phénoménologie transcendante, se révèle à nos yeux dérisoire pour remonter la pente ou redresser la route. Ce qui importe, au contraire, c'est l'angoisse qu'exprimait ce texte à la veille de la deuxième Guerre mondiale et le refus, aussi, qu'il opposait à la barbarie : les jeux ne lui paraissaient pas joués, il restait une marge d'espoir et d'action pour surmonter ce qu'il appelait «l'échec apparent du rationalisme» (26). C'est à ce titre que la crise de la science est bien la crise de «l'humanité européenne», au sens où le destin de la rationalité est effectivement lié à celui de l'Europe.

Il est frappant de constater que, de Husserl à l'anti-science d'aujourd'hui, on retrouve le même plaidoyer en faveur du «monde de la vie» par opposition aux excès, aux mystifications et aux menaces de «l'objectivisme». De Husserl à Roszak, de l'apologie du *Lebenswelt* à celle d'une nature et d'une vie autrement traitées et vécues, le chemin parcouru n'est pas seulement celui qui sépare «l'intuition» philosophique du vagabondage hippy, c'est aussi celui qui sépare le temps des catastrophes entrevues de l'époque des catastrophes réalisées.

On voit bien, du même coup, pourquoi l'idée d'une pratique différente de la science, inspirée d'autres sources que celles du rationalisme européen, exerce aujourd'hui une telle fascination : c'est qu'elle agit comme une alternative aux excès et aux désillusions qu'a entraînés la réduction à «l'objectivisme» du rationalisme européen. Ainsi Joseph Needham peut-il montrer que la «culture chinoise n'a jamais réellement été tentée de voir dans les sciences de la nature le seul véhicule de la compréhension humaine». Si donc la Chine d'aujourd'hui a une contribution à apporter, c'est en particulier parce que sa culture n'a pas connu le scientisme d'après la Renaissance (27). Je ne sais jusqu'à quel point la pratique actuelle de la

(24) *Op. cit.*, p. 10.

(25) *Ibid.*, p. 371.

(26) *Ibid.*, p. 382.

(27) Joseph NEEDHAM, «History and Human Values : A Chinese Perspective for World Science and Technology», dans *The Radicalisation of Science*, édité par H. et S. Rose, MacMillan, Londres, 1976, pp. 100-101.

science en Chine, même s'il s'agit bien, comme le souligne Needham, des mêmes méthodes et de la même science, justifie d'affirmer comme il le fait : *Ex Oriente Lux*. Nul ne contestera en tout cas que la culture européenne se soit montrée impérialiste non seulement au dehors de l'Europe, mais encore en nous-mêmes en tendant à refouler de la rationalité tout ce qui ne venait pas des sciences de la nature.

Les séductions en Occident du maoïsme appliqué à la science sont encore une façon contemporaine de retrouver les chemins égarés du *Lebenswelt* husserlien. Pourtant, l'objectif de la Chine communiste n'est pas différent de ce qu'a été celui de l'Occident à partir du XIX^e siècle : s'industrialiser, se moderniser grâce à la science et à la technologie. Les voies sont différentes, assurément, parce que les structures, les traditions, la civilisation le sont, et que le rapport récent de la Chine à la rationalité occidentale renvoie à une autre histoire nourrie de savoirs et de pratiques façonnées par une autre source que l'hellénisme et le judéo-christianisme. Mais les luttes de pouvoir qui ont suivi la mort de Mao Tsé-toung montrent bien que l'enjeu est toujours le même, celui du rythme auquel, à marches plus ou moins forcées, le système industriel doit s'imposer aux structures traditionnelles⁽²⁸⁾. Et l'on se doit de rappeler que cet objectif est poursuivi au nom d'une doctrine qui, quels que soient ses avatars chinois, appartient une fois de plus à l'histoire du rationalisme européen.

Il est vrai que les sociétés modernes n'ont pas été libérées par la science comme en rêvait le siècle des Lumières au sens où les succès de la recherche scientifique devaient préparer, sinon assurer, le bonheur, l'épanouissement, les chances d'un ordre meilleur. Bien plutôt sont-elles comme envoûtées par le prestige de la science et de la technique, au point qu'il n'est plus possible de trouver aucun point du monde extérieur à cet envoûtement qui permette de le dénoncer comme tel : triomphe ou ruse de la raison qui finit par donner à l'irrationnel l'apparence de la rationalité même. L'ère de la science triomphante est aussi celle de la menace absolue (la bombe atomique), du non-sens (la croissance économique conçue comme un but en soi), de la dérision (la consommation des sociétés avancées, par rapport aux deux tiers du monde soumis à la misère, à la malnutrition, à la famine).

D'un côté, les problèmes les plus urgents de l'humanité sont les parents pauvres des activités de recherche : trois régions du monde (Etats-Unis,

⁽²⁸⁾ Voir *La science et la technologie en République populaire de Chine*. OCDE. Paris, à paraître en 1977.

URSS, Europe) possèdent plus de 80 % des ressources mondiales de personnel scientifique et technique, alors qu'elles contiennent à peine 20 % de la population du globe. Moins de 5 % des activités totales de recherche-développement sont imputables aux pays sous-développés ; et moins de 2 % de l'effort de recherche-développement mené dans les pays industrialisés concernent directement les problèmes du tiers et du quart monde. De l'autre côté, plus de la moitié de l'effort de recherche des pays les plus industrialisés se concentre sur les secteurs militaire, nucléaire et spatial et une bonne partie de leur effort est vouée à la mise au point de technologies nouvelles dont nos sociétés n'ont nul besoin. «On n'arrête pas le progrès» ; mais le progrès, pour quoi faire ? Tout se passe comme si l'on avait oublié la leçon platonicienne : à quoi bon la science de la navigation si l'on ne sait où aller ?

On peut toujours dire que si nos sociétés choisissent de développer et d'utiliser la science pour accroître leur puissance et leur gloire, plutôt que pour résoudre leurs difficultés internes, améliorer les conditions de vie de leurs membres qui sont privilégiés et aider à nourrir les deux tiers de l'humanité qui ne le sont pas, c'est qu'il est dans la nature humaine d'exploiter le discours de la raison à l'usage de la déraison. Ainsi l'économiste Jacob Schmookler laissait-il percer la résignation que lui inspirait la subordination croissante de la science à ce vouloir de la société :

«Si les hommes modernes voient dans le progrès technologique une conséquence inévitable de la dotation de la vie en intelligence créatrice, c'est seulement parce qu'ils oublient, d'un côté, l'exemple des ascètes et, de l'autre, celui des corporations médiévales d'artisans qui supprimèrent, pendant des siècles, l'invention. De ce point de vue, la diffusion du progrès technologique dans les temps modernes n'apparaît pas tant comme la conséquence de la nature de l'homme, encore qu'à coup sûr elle en exprime un aspect important, que comme, plus sûrement encore, une excroissance de l'importance attachée aux biens matériels dans les temps modernes et de l'inexcusable condition militaire de sociétés centrées sur d'autres valeurs. L'accroissement de notre capacité de faire la guerre, conventionnelle ou thermonucléaire, qui a accompagné l'accroissement de notre capacité de satisfaire nos besoins privés, pourrait bien, à la fin, justifier l'attitude des ascètes» (29).

(29) J. SCHMOOKLER, *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press, 1966, p. 214.

La science est notre destin.

Il est clair pourtant que d'autres priorités seraient possibles pour les politiques dont la science est l'objet. Si c'est rêver, ce rêve n'a rien d'une utopie ni d'un retour à l'état idyllique d'avant nos mutations industrielles : on peut concevoir une société humaine moins soucieuse d'accroître le potentiel de ses machines ou de ses forces productives que d'assurer à tous les conditions d'une vie meilleure. Mais reconnaissons que les sociétés industrialisées laissent peu de place au rêve : l'histoire y demeure marquée par la volonté de puissance plus que par le souci du bien-être collectif. Et l'humanité peut bien se demander ce que le progrès scientifique et technique fera d'elle, elle a oublié ce qu'elle aurait pu faire de lui.

Ne nous étonnons pas si l'effondrement du cours du papier monnaie rationaliste inspire, dans nos sociétés pourtant si profondément imprégnées de science, une forme nouvelle de nihilisme. On pouvait douter de la science quand elle donnait peu ; le scepticisme était bon pour le savoir d'avant le xix^e siècle. La version moderne de ce scepticisme met en question non ce qu'*est* la science, mais ce qu'elle *peut*. Aujourd'hui si elle est l'objet d'une révolte même de la part de ceux qui la servent, ce n'est pas parce qu'elle donne trop peu, mais bien parce qu'elle paraît donner trop de ce qui ajoute aux menaces plutôt qu'aux bienfaits.

En même temps, le cours de cette monnaie a beau être aujourd'hui au plus bas, cela ne signifie pas qu'il s'agisse d'une *fausse monnaie*. Le progrès comme idéologie est au mieux une chimère, au pire une mystification. La science, elle, en tant que démarche, discours, institution, est moins aisément refoulable de notre conscience, de notre comportement, de notre univers : quelle que soit l'idéologie qu'elle inspire, on ne l'y réduira jamais. L'idée de progrès, après tout, est une manière de finalité ; la science au sens moderne n'est jamais qu'un moyen. Au-delà des problèmes qu'elle a provoqués ou qu'elle n'a pas résolus, on pressent que la révolte dont elle est aujourd'hui l'objet vise non seulement les fins qu'elle a servies, mais encore la méthode et l'attitude dont elle se nourrit. C'est confondre les méfaits d'une pratique sociale de la science soumise aux impératifs du système industriel et de la compétition internationale, avec quelque mal inhérent à la démarche scientifique en tant que tel : l'échec d'un *certain* rationalisme n'est pas celui de *tout* le rationalisme.

Si l'on peut fort bien concevoir une science orientée sur d'autres problèmes, reposant sur des institutions, des procédures et des programmes appliqués à d'autres objectifs, il n'y a pas de savoir *scientifique* autre que

celui qui a fait ses preuves depuis à peine quatre siècles — et nous ne pouvons plus nous en passer. Ni la découverte de l'inconscient ni la rencontre avec d'autres civilisations ni l'affrontement avec la dimension de la complexité n'ont rendu caducs la méthode expérimentale, les présupposés d'intelligibilité qui la fondent, à plus forte raison l'efficacité des résultats qu'elle assure. Si la pensée européenne doit compter avec d'autres points de repère que ceux à partir desquels elle a multiplié ses succès techniques, ce n'est pas en donnant congé au rationalisme ni en récusant les moyens d'action qu'il offre fût-ce à l'excès : nous apprenons à relativiser le savoir scientifique dont nous avons hérité, nous pouvons même lui intégrer d'autres héritages qui passaient, naguère, pour pseudo-sciences ou à la marge de l'*épistème* strictement définie par la rationalité européenne, mais nous ne pouvons passer outre à l'autorité de la démonstration et de la preuve.

Ce qu'il y a de déraisonnable, sinon d'irrationnel aujourd'hui dans l'usage, la pratique et l'intervention de la science, n'autorise d'aucune façon à répudier la rationalité du discours ni l'efficacité de l'entreprise. L'accueil exubérant fait aux sciences hier encore marginales ou l'investissement non moins exubérant de l'*establishment* scientifique par les «anti-disciplines», ne supprime pas toutes les frontières entre un discours réellement scientifique dont les expériences peuvent être transmises, reproduites, répétées, et les fausses sciences. Le cours de la monnaie n'est pas très haut, c'est vrai ; mais l'institut d'émission tient toujours bon. Et si l'on peut toujours dénoncer, à la manière de Rousseau, ce que l'homme a perdu et risque encore de perdre à force de sciences et de techniques, il serait pour le moins équitable de rappeler aussi ce qu'il y a gagné et gagnera encore.

Je sais bien qu'après en avoir souligné les limites, les échecs et les menaces, on me dira comme un reproche (on me l'a déjà adressé) : c'est «raison garder» que de rappeler que le négatif inscrit désormais au bilan de la science a aussi sa contrepartie. Mais comment nier, d'abord, que cette contrepartie est considérable ? Dans le procès de la science, comme d'ailleurs dans celui de la croissance économique, on doit toujours se demander à partir de quel niveau de développement le confort intellectuel ne s'allie pas au confort matériel pour tourner en dérision les fruits incontestables que la recherche scientifique a semés. Dévaluation en Occident, mais surévaluation dans les pays du tiers et du quart monde, ces vicissitudes de l'image et du rôle de la science sont précisément le signe que la crise dont elle est le théâtre dénonce la crise de nos sociétés. Mais

nous ne pouvons oublier, nous autres Européens, que nous vivons cette crise dans des conditions privilégiées par rapport à tant d'autres pays qui souhaiteraient pouvoir consommer tout de suite les fruits que nous récoltons.

Si, de plus, le bilan du progrès scientifique est ambigu, c'est qu'il n'y a pas de mesure pour établir que les conquêtes bénéfiques de la science sont surpassées en nombre ou en conséquences et donc annulées par les forces redoutables qu'elle a déchaînées : nul ne détient les secrets de la fin de l'Histoire et celle-ci n'est jamais achevée, à moins du cataclysme nucléaire. Quels qu'aient été les faux-pas, les effets imprévus, latéraux ou délibérés de la recherche scientifique qui menacent l'homme dans sa survie comme dans son environnement, il est par trop simple de ne retenir que les pièces versées au dossier de l'accusation. Par exemple, les insecticides et les pesticides n'apparaissent souvent qu'à travers les dommages qu'ils causent aux équilibres écologiques, mais c'est vite oublier que les grandes épidémies ont été éliminées dans une large partie du globe et limitées partout ailleurs, ou que la production agricole mondiale n'aurait pas augmenté, comme elle l'a fait en un quart de siècle, sans le recours à ces produits de synthèse ; ou encore si l'on s'en prend aux conquêtes pastorienues pour expliquer la surpopulation, c'est faire bon marché des vies que Pasteur et son héritage ont permis et permettront de sauver.

Comme l'a dit Husserl, «le fondement de l'impuissance d'une culture rationnelle ne se trouve pas dans l'essence du rationalisme même», il se trouve dans le fait qu'il s'enrobe du cocon de «l'objectivisme»⁽³⁰⁾, autrement dit dans la domination exclusive des sciences de la nature sur notre culture. L'humanité n'a pas moins besoin de savoirs et de valeurs extra-scientifiques que de sciences. En ce sens, la crise que nous vivons est d'abord celle des «deux cultures» que nous n'avons pas su faire cohabiter avec harmonie.

Malgré les efforts du scientisme pour en organiser le culte, la science n'a jamais été un dieu. Et même si les valeurs dont elle se réclame étaient les seules auxquelles l'homme moderne laïcisé, agnostique, résigné à la mort de Dieu, puisse adhérer, il va de soi qu'elle ne remplacera pas à elle seule toutes les valeurs qu'elle a renversées : le monde qu'elle a désenchanté en nous donnant un si grand pouvoir d'action sur lui ne retrouvera pas par elle les charmes qu'elle a rompus. Mais, pas plus que de pain, l'homme

⁽³⁰⁾ *Op. cit.*, p. 382.

ne vit ni surtout ne survit que de charmes. La science est notre destin : nous pouvons, nous devons apprendre à mieux nous en servir ; mais nous ne pouvons pas choisir d'y échapper.

A la recherche du paradigme.

La critique de l'institution scientifique n'est pas un avatar parmi d'autres de la critique sociale (ou de l'autocritique) à laquelle la pensée européenne s'est toujours livrée. Jusqu'au XIX^e siècle, c'est-à-dire jusqu'au moment où les sciences sociales se sont constituées en tant que sciences indépendantes et de la philosophie et des sciences de la nature, la critique sociale s'est en fait appuyée sur les acquis intellectuels et pratiques de l'institution scientifique pour dénoncer les injustices et les erreurs de l'ordre existant. Aujourd'hui, ce sont précisément ces acquis qui inclinent à contester l'institution scientifique elle-même, et c'est à ce titre que cette contestation est à la fois la plus révélatrice et la plus contradictoire de la crise européenne : la plus révélatrice, parce que l'institution qui incarne avec le plus d'éclat la réussite de la rationalité européenne tend à se récuser elle-même ; la plus contradictoire, parce qu'on ne voit pas comment cette crise pourra être surmontée si elle engage à tourner le dos aux possibilités d'action que l'institution scientifique, même contestée, ne cesse d'offrir.

En tant que sous-système du système social, la science et la technologie en sont venues à reproduire les contradictions — insatisfactions et incertitudes — de la société dans son ensemble. Nul n'aura l'illusion de penser qu'il suffirait d'agir sur l'institution scientifique et de la réformer d'une manière ou d'une autre pour que les raisons de la crise s'évanouissent. Même si la science et la technologie passent pour les agents les plus efficaces du changement social, ce ne sont jamais les seuls, et c'est encore leur accorder une fonction autonome dans le système social que de ne pas voir que leurs effets sont toujours médiatisés par d'autres agents que les chercheurs, d'autres institutions que les laboratoires.

Mais il est vrai qu'à deux niveaux au moins l'on pourrait agir à partir de l'institution scientifique pour renouer avec le « monde de la vie » dont la pratique de la science — hier seulement désenchantée et désormais à son tour désenchantée — a fait un paradis perdu. Un niveau culturel, d'abord, qui affecte de part en part la conception de l'éducation et de la formation dans les sociétés industrialisées. Si l'on veut, en effet, surmonter le divorce qui ne cesse de s'approfondir entre les « cultures », il n'est que temps de remettre l'enseignement scientifique à sa place, qui est de remplir une fonction nécessaire, mais absolument insuffisante.

Tout se passe comme s'il y avait dans la culture de l'homme moderne deux parties hétérogènes : l'une « agissante » qui incarne l'esprit et la méthode scientifiques, l'autre « humaniste » qui ne se voit reconnaître aucun intérêt pratique. Cette culture « humaniste », définie de façon négative puisqu'elle n'est pas censée agir sur les choses (et qui du même coup est présentée comme « passéiste », refus du présent et de l'avenir), recouvre en fait un champ plus large que celui des sciences sociales et des humanités. Il faut aller plus loin que n'allait C. P. Snow qui opposait dos à dos sciences de la nature et humanités comme si le contenu de la culture se réduisait à ce duopole universitaire ⁽³¹⁾. « *Hard sciences* », « *soft sciences* », déjà cette façon de qualifier au poids le déséquilibre intellectuel entre les différentes disciplines scientifiques en dit long sur nos préjugés. Mais plus révélatrice encore est l'exclusion des autres formes de savoirs que ceux qui sont universitairement institutionnalisés : comme si la pensée de l'homme moderne se limitait à ce duel des « géants » que sont les sciences de la nature et des « nains » que seraient les sciences sociales et les humanités.

Si les « deux cultures » sont un drame, ce n'est pas, comme le pensait C. P. Snow, en tant qu'elles renvoient à deux ordres rivaux de goûts, d'aptitudes ou même de compétences, mais en tant qu'elles opposent des fonctions que le système industriel fait passer pour inconciliables. Le processus d'industrialisation privilégie, dans son système de valeurs, les aptitudes et les activités qui répondent le plus efficacement à ses besoins. Mais le technicien formé presque exclusivement par l'enseignement scientifique est le plus souvent un handicapé dans le monde de la vie, au même titre que l'est, dans le monde de la technique, celui qui n'a aucune culture scientifique. Les mathématiques et les sciences de la nature forment des techniciens ; les humanités et les sciences sociales forment-elles pour autant des amateurs ? La nécessité d'une culture scientifique n'implique pas cette dichotomie entre une pensée séparée de l'action et une pratique séparée de la réflexion.

Plus profondément, l'impérialisme de la culture scientifique tend à refouler de l'éducation et de la formation, au-delà même des connaissances fondées sur d'autres disciplines que celles qui passent pour être des « *hard sciences* », les intérêts, les aptitudes et les compétences liées au monde de la vie et de l'affectivité. Nous devons apprendre à ré-insérer dans l'éducation tout ce qui ne relève pas du savoir quantifié, quantifiable et ob-

(31) C. P. SNOW, *Les deux cultures*, Pauvert, Paris, 1968.

jectif propre aux sciences de la nature, de l'histoire à l'art et jusque et y compris les techniques du corps. Non pas pour substituer une culture à une autre, par un jeu de bascule absurde et d'ailleurs utopique, mais pour réconcilier, ré-équilibrer toutes les autres formes de cultures concevables. Tant que les systèmes scolaires ne sauront faire une place plus équilibrée à l'enseignement et à la pratique des connaissances qui ne relèvent pas des «*hard sciences*», le divorce entre les cultures est condamné à se creuser, opposant dos à dos des techniciens amputés du savoir de la vie et des sujets bluffés par la technicité des sciences.

L'autre niveau est de caractère évidemment plus politique (car le précédent a aussi son interprétation politique, au sens où la possibilité d'une autre orientation des activités de recherche dépend de choix qui sont extérieurs à l'institution scientifique en tant que telle). Si le changement technologique répond aux lois et aux structures du marché, on peut toujours arguer de l'autonomie de la recherche fondamentale pour dire que le changement scientifique répond aux seuls demandes internes de la science. Mais il est rien moins qu'évident que ces demandes soient indifférentes aux conditions dans lesquelles la société influence l'allocation des ressources aux activités scientifiques et le choix des sujets de recherche : les liens entre science et technologie sont désormais trop étroits pour que les objectifs technologiques des politiques de la science n'influencent pas les objectifs scientifiques des chercheurs.

En ce sens, non seulement les chercheurs vont là où sont les crédits, mais encore la nature des champs de la recherche à défricher et les conditions dans lesquelles ils sont creusés sont définies en grande partie par la «demande sociale» : il suffit de penser au soutien dont ont disposé les recherches sur la physique des hautes énergies. Mais parler d'une «demande sociale» est encore trop vague : tout comme la notion de marché renvoie à des intérêts précis, la notion de «demande sociale» renvoie à des options et à des structures de pouvoir données au sein de la société en général et de la communauté scientifique en particulier. La «grande science» du xx^e siècle, avec ses instruments et ses «*crash-programs*» aux budgets géants, n'est pas seulement à l'image des ambitions que se donnent les chercheurs, elle reflète aussi les choix d'une société dont les orientations économiques et politiques légitiment et façonnent celles des activités de recherche.

L'enjeu véritable de la crise dont témoigne l'institution scientifique, c'est la découverte d'un ou de paradigmes nouveaux non pour la science, mais pour la société.

Métamorphoses de la science culture et science aujourd'hui

par I. Prigogine

*Professeur à l'Université Libre de Bruxelles,
Bruxelles, Belgique*

RÉSUMÉ

On suppose, dans bien des discussions, que la rationalité scientifique est, en quelque manière, donnée. Dans le passé déjà, des philosophes éminents comme Kant, Bergson, Hegel, Whitehead, avaient commis l'erreur de concevoir la science comme un objet statique, qu'ils modelaient d'après la situation de leur époque. Cet article insiste avant tout sur la dynamique interne de la science.

Plus précisément, nous entendons

a) analyser de manière plus approfondie la raison pour laquelle le développement historique de la science, de la mécanique classique jusqu'aux théories modernes (y incluses la mécanique quantique et la théorie relativiste), a pu mener à une forme de tension culturelle.

b) montrer que la science connaît maintenant une transformation rapide et que les critiques usuelles, qu'on associe aux thèmes de la mutilation et de la manipulation de la nature, sont moins justifiées lorsqu'on tient compte de ces récents développements.

c) présenter quelques exemples spécifiques de ces développements.

1. SCIENCE : PROGRÈS OU DÉROUTE CULTURELLE ?

Le thème de cette réunion : «Crise de la Science, crise de la Société», que J. J. Salomon a repris pour titre à son bel exposé, veut traduire ce fait décisif que, dans le monde techniquement développé qui est le nôtre aujourd'hui, l'avenir de nos sociétés n'est plus dissociable de la forme qu'y

prendra l'activité scientifique. L'importance croissante de la science semble bien constituer une tendance irréversible et, dans ce domaine, un retour en arrière est peu concevable, du moins en l'absence de catastrophe majeure. *Dans les faits*, le monde scientifique est déjà imbriqué de multiples manières à la société au sein de laquelle il travaille et de laquelle il entend obtenir les moyens de ce travail. Mais la crise que nous vivons aujourd'hui manifeste cependant qu'il est urgent de *penser* le problèmes des relations de la science avec la société.

L'autonomie de la science, l'innocence du scientifique étranger aux problèmes concrets de son époque, de tels thèmes, dont l'anachronisme est aujourd'hui criant, pouvaient apparaître comme justifiés à un moment où la science était une simple fluctuation culturelle, où l'homme de science vivait en marge de la société. Aujourd'hui, les dimensions scientifiques et technologiques définissent la société occidentale. Dès lors, le problème science-société se pose en des termes entièrement nouveaux.

Analyser la nature des tensions qui ne manifestent et dégager des conclusions qui permettent d'y apporter des solutions sont les objectifs de ce colloque.

Je n'envisagerai ici qu'un seul aspect. Je voudrais analyser la manière dont le développement de théories scientifiques classiques — qui sont à la base de l'image de la science dans son ensemble — a pu favoriser une rupture culturelle qui est l'un des facteurs de la crise.

Je voudrais montrer ensuite que des développements récents, résultant du dynamisme interne de la science, permettent d'espérer la disparition de l'opposition décrite par Lord Snow ⁽¹⁾ entre les «deux cultures».

Je suis conscient des dimensions multiples du problème science-société. J'ai choisi le thème des tensions culturelles parce qu'il est le plus proche de mes préoccupations scientifiques et parce que la présence de spécialistes éminents des sciences humaines et sociales à ce colloque rendrait outrepassante mon intervention dans ces aspects du problème.

Le problème du malaise culturel a notamment été souligné dans une publication de l'U.N.E.S.C.O., *«La Science et la Diversité des Cultures»*. Relevons dans le liminaire ce passage : «Depuis plus d'un siècle, le secteur de l'activité scientifique a connu une telle croissance à l'intérieur de l'espace culturel ambiant qu'il semble se substituer à l'ensemble de la

(1) SNOW C. P., *The Two Cultures and A Second Look*, Cambridge University Press, Cambridge, 1974.

culture. Pour certains, il n'y aurait là qu'une illusion produite par la vitesse de cette croissance, mais les lignes de force de cette culture ne tarderaient pas à surgir de nouveau pour la maîtriser au service de l'homme. Pour d'autres, ce triomphe récent de la science lui confère enfin le droit de régenter l'ensemble de la culture qui, d'ailleurs, ne mériterait plus son titre que pour autant qu'elle se laisserait diffuser à travers l'appareil scientifique. D'autres enfin, effrayés par la manipulation à laquelle l'homme et les sociétés sont exposés en tombant sous le pouvoir de la science, y voient se profiler le spectre de la déroute culturelle» (2).

La science apparaît dans ce tableau comme un corps étranger, dont la culture doit maîtriser, combattre ou admettre la prolifération indéfinie. C'est bien là le pendant culturel de la conception du scientifique libre de toute attache, étranger à la société au sein de laquelle il vit.

Cette image, cependant, a partie liée avec une autre conception de la science, d'essence positiviste, selon laquelle la science devrait être étrangère à la culture, car elle serait l'incarnation d'une rationalité sans attache aucune, que ce soit avec une tradition culturelle ou historique.

De récentes études de l'histoire du développement de la science dans la société européenne ont brisé le mythe de ce «destin» qui pousserait la science à se développer en rupture avec la culture. En particulier, des textes comme ceux de M. Serres pour les xvii^e et xix^e siècles, nous montrent que, loin de former un isolat culturel, la science relève d'un nuage où nulle frontière précise n'existe : la science pose certaines questions traditionnelles de la philosophie ; ses modèles diffusent et vont précipiter très loin de leur point d'origine, en littérature, en peinture, en philosophie.

Il serait pourtant vain de vouloir nier le fait qui était à la base de la conception positiviste : le caractère tout-à-fait spécifique et sans équivalent de la dynamique du développement scientifique depuis le xvii^e siècle, la nature nouvelle, inouïe dans d'autres civilisations et à d'autres époques, du rapport d'affrontement expérience-théorie qui fonde cette dynamique.

Nous pouvons maintenant reconnaître l'originalité de la science européenne, dénombrer ses racines culturelles, religieuses (3) et sociales. Car il fallait une conjonction bien particulière de facteurs socio-économiques, religieux et culturels pour que naisse cette ambition des fondateurs de la

(2) *La Science et la Diversité des Cultures*, UNESCO, PUF, Paris, 1974, p. 15-16.

(3) KOJEVE A., *L'Origine Chrétienne de la Science Moderne*, dans *L'Aventure de l'Esprit*, Mélanges Koyré, Hermann, Paris, 1964.

science : découvrir, par les moyens strictement finis de la démonstration mathématique, de l'observation empirique, et de la mesure quantitative, la «vérité» de la nature, les principes auxquels elle est soumise. C'est que la recherche de *lois* dans la nature implique la conviction que la nature *obéit* à un certain nombre d'énoncés intelligibles, et que ces énoncés ne sont pas seulement lisibles par la raison humaine mais doivent être découverts toujours déjà écrits, toujours rebelles à la lecture. C'est une conviction à la fois orgueilleuse et humble, productrice d'une science laborieuse mais sûre de la vérité de sa démarche.

La science est issue de la culture médiévale, de l'ouverture de la Renaissance ; elle n'en est pas la seule héritière, elle n'en constitue pas la vérité ou l'aboutissement. Il suffit d'ailleurs de penser à des hommes comme Descartes, Newton, Leibniz, Pascal, dont les contributions à la science moderne furent décisives, mais ne peuvent être dissociées du reste de leurs œuvres qui brassent et récapitulent l'ensemble de la culture européenne ; de rappeler l'œuvre littéraire et encyclopédique de d'Alembert, l'œuvre scientifique et critique de Diderot ; de rappeler que c'est Voltaire qui rendit la physique newtonienne populaire en France. Au xviii^e siècle, certains, dont Rousseau et Diderot, ont pu mettre en cause l'utilité de la science, la réalité de sa contribution au progrès humain ; les formes institutionnelles qu'elle se donne ont pu être contestées (impopularité de l'Académie des Sciences à la veille de la Révolution) ; mais nul ne doutait de l'appartenance culturelle de la science à cette société ; les hommes de science appartenait à une société intellectuelle qui leur posait des problèmes, discutait leurs réponses, assimilait les idées nouvelles.

Au xix^e siècle, on ne parle plus de philosophie de la nature, le terme traditionnel de «natural philosopher» s'efface en Angleterre devant le mot nouveau de «scientist». Il semble vain de tenter de trouver au phénomène de rupture, dont ce n'est là qu'un symptôme, une explication simple ; les causes en sont multiples, tant extérieures à la science qu'intérieures. De plus en plus, le développement de la science prend l'apparence d'un processus autonome, régi par une nécessité interne. Désormais, la séparation devient de plus en plus nette entre les disciplines scientifiques et les spécialistes sont seuls habilités à définir, chacun pour soi, un problème comme scientifiquement pertinent. Les non scientifiques, qui ne sont plus que «le public», sont réduits à l'écoute passive de la bonne nouvelle scientifique que leur dispensent les vulgarisateurs et sont ainsi amenés à identifier science et vérité et à accepter sans discussion les résultats de la recherche scientifique.

La ligne de rupture entre la science et la société européenne passe par la critique kantienne. Il est possible de montrer l'importance de la pensée kantienne dans le développement en Allemagne de l'idée d'une relation intime, trop intime, entre science, recherche professionnelle et université, qui constitue l'un des versants de la rupture. Nous nous bornerons ici à rappeler que la philosophie kantienne est la première à prendre acte de la forme systématique que s'est donnée la physique mathématique au cours du XVIII^e siècle, et des conséquences de l'existence de ce système qui forme avec les questions que ses propres critères lui permettent d'accepter comme scientifiques un ensemble cohérent et fermé à la contradiction. Dans la *Critique de la Raison Pure*, les résultats scientifiques se trouvent acceptés comme l'expression même de la raison humaine et servent de base à une législation de la raison qui bannit comme illégitimes certaines questions, certains problèmes qui préoccupaient le milieu culturel contemporain ; là, pour la première fois, la raison théorique à l'œuvre dans la science se pose comme détentriche de la vérité de toute pratique rationnelle et s'institue dès lors comme juge et censeur de la légitimité des autres activités intellectuelles.

Mais, pour Kant, le monde, objet de la raison théorique, est réduit à l'identité et au cauchemar de l'insignifiance. La morale, l'esthétique, la politique, la religion, qui ne sont pas des savoirs positifs, traitent des deux « vraies » questions, celles qui concernent l'homme : ce qu'il peut croire, ce qu'il peut espérer.

La nature antique était source de sagesse, la nature médiévale parlait de Dieu, la nature moderne, fille de nos œuvres, est devenue muette, au point que Kant peut séparer entièrement science et sagesse, science et vérité. Cette séparation, nous la vivons depuis tantôt deux siècles ; nous avons besoin qu'elle prenne fin et, du point de vue scientifique, les conditions me semblent enfin réunies pour qu'il y soit mis fin : pour que la science, enfin, soit capable de parler du monde où nous vivons sans le nier, le réduire à une illusion. Notre science n'est plus la science de Kant. Nous comprenons à nouveau Diderot et nous pouvons commencer à lire Leibniz : deux penseurs d'en-deçà de la fracture kantienne et dont les interrogations s'apparentent aux nôtres.

2. LA SCIENCE CLASSIQUE ET LA RÉDUCTION À L'IDENTITÉ

Dans cette section, nous désirons analyser de manière plus détaillée les raisons qui ont mené à la tension culturelle mentionnée en Section 1. Nous

les voyons dans le caractère statique de la description du monde physique qui provient de la dynamique classique et qui a été maintenu par des théories modernes comme la mécanique quantique et la relativité. Dans cette description, le temps n'apparaît que comme un paramètre et il n'y a pas de différence entre le passé et le futur. L'origine de cette conception du monde physique remonte à la formulation galiléenne des lois du mouvement. Galilée définit en effet l'objet de la physique par ce critère essentiel qu'il est mathématisable. Depuis Aristote, la physique était, traditionnellement, la science des processus, des changements qui se produisent dans la nature ; or le seul changement mathématisable pour Galilée et ses successeurs s'avère être la variation de l'état de mouvement, l'accélération. Ramener les transformations physiques à de simples accélérations constitue une rupture conceptuelle radicale ; en effet, dans la physique aristotélicienne, le mouvement local (trajectoire) s'accompagne toujours, dans le monde sublunaire, d'une altération substantielle, qualitative.

L'exigence de mathématisation aboutit à éliminer la physique des «tendances naturelles», des processus «finalisés». Le temps physique, c'est désormais le temps de l'accélération. Koyré (*) a parlé du mouvement dynamique que déploie ce temps comme d'«un mouvement sans rapport avec le temps ou, plus étrange encore, un mouvement qui se déroule dans un temps intemporel, notion aussi paradoxale que celle d'un changement sans changement», le mouvement, soumis à des lois éternelles, est tout ce que la physique a retenu des changements qui se produisent dans la nature. En conséquence, comme l'a souligné Bergson parmi d'autres, en physique classique tout est donné, le changement n'est que le devenir nié, le temps n'est qu'un paramètre homogène, indifférent à la transformation qu'il permet de décrire.

Trois caractéristiques se trouvent fermement liées dans la formulation de la dynamique : ce caractère statique, «tout est donné», la réversibilité et le déterminisme des transformations décrites. L'analyse infinitésimale décompose un mouvement en états dont la succession, se déployant dans le temps vers le passé comme vers le futur, est régie par une loi mathématique déterministe. Selon cette loi, la description d'un système «remontant dans le temps» est strictement équivalente à celle du même système où toutes les vitesses auraient été instantanément inversées. Un système ainsi

(*) KOYRE A., *Etudes Newtoniennes*, Gallimard, Paris, 1968, p. 32.

manipulé remonterait donc vers son passé. Rien ne distingue passé et futur.

La dynamique classique se fonde sur la parfaite distinction entre lois d'évolution et conditions initiales ; la tâche du physicien est de découvrir la loi d'évolution d'un système ; il «suffit» ensuite de connaître les conditions initiales, la description instantanée d'un état du système, pour que la totalité de son avenir *et de son passé* devienne prévisible. On connaît la fiction de Laplace : un *démon* (la manière de repérer les conditions initiales n'est pas un problème pour la dynamique) capable de connaître les positions et vitesses de toutes les particules en interaction, pourrait calculer le destin de l'univers. Et son passé!

Cette image d'un monde stable, d'un monde qui échapperait au devenir, est restée jusqu'à ce jour l'idéal de la physique théorique. La dynamique de Newton, complétée par ses grands successeurs tels Laplace, Lagrange, Hamilton, semblait former un système *fermé*, universel, susceptible de donner une réponse à toute question bien formée. Presque par définition, une question à laquelle la dynamique n'apporterait pas de réponse se trouvait reléguée au rang de pseudoprobblème. La dynamique donnait accès à l'ultime et complète réalité, le reste, (nous-même) ne constituait dans cette vision qu'un effet secondaire, dépourvu de signification fondamentale ⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾ ⁽⁷⁾.

L'objectif fondamental de la physique devient ainsi l'identification de ce niveau microscopique, au comportement simple et permanent et qui pourrait devenir la base pour une explication de tous les phénomènes observables. Ici, la physique classique rejoignait l'idéal des atomistes grecs : «seuls les atomes et le vide» ⁽⁶⁾.

Bien sûr, nous savons aujourd'hui que la dynamique newtonienne ne correspond qu'à une partie de l'expérience physique. Elle s'applique à des objets dont les masses se mesurent en grammes ou en tonnes, dont les vitesses restent faibles par rapport à celle de la lumière. Nous savons que les constantes universelles, dont les plus importantes sont la constante de Planck, h (qui se mesure en ergs/sec. et dont la valeurs est 6.10^{-27} dans le

⁽⁵⁾ PRIGOGINE I., *La Naissance du Temps*, Acad. Roy. Belg., Bull. Cl. Sc., 1973.

⁽⁶⁾ PRIGOGINE I., *Physique et Métaphysique*, dans *Connaissance Scientifique et Philosophie*, volume spécial du Bicentenaire de l'Académie Royale de Belgique, 1975.

⁽⁷⁾ PRIGOGINE I. et STENGERS I., *Nature et Créativité*, dans *La Revue de l'AUELF*, vol. XIII, n° 2, 1975.

⁽⁸⁾ PRIGOGINE I., *La Fin de l'Atomisme*, Acad. Roy. Belg., Bull. Acad. Cl. Sci., 1969.

système c.g.s.) et la vitesse de la lumière c (de $3 \cdot 10^{10}$ cm/sec.), limitent la validité de la dynamique classique. Lorsque nous passons à des objets très légers (atomes, particules «élémentaires») ou hyperdenses (les fameux trous noirs), de nouveaux comportements apparaissent. La dynamique de Newton doit alors être remplacée par la dynamique quantique, qui tient compte de la valeur finie de h , et par la dynamique relativiste, qui contient c . Mais ces dynamiques nouvelles, révolutionnaires à d'autres points de vue, ont hérité de la physique newtonienne son idéal de description d'un univers statique, d'un univers d'être sans devenir.

Nous savons combien des éléments non scientifiques, en particulier éthiques ou religieux, ont joué un rôle important dans la motivation des fondateurs de la conception atomiste. Réduire l'éphémère au permanent, échapper ainsi à la peur, montrer qu'en dernière analyse le monde est accessible à l'intelligence humaine et ne contient ni promesses ni menaces personnelles, nous connaissons l'atomisme épicurien avant tout comme une philosophie de la sérénité.

Mais le succès quasi miraculeux de telles idées, dans le cadre de la physique classique d'abord, de la physique moderne quantique ou relativiste ensuite, a conduit à une nouvelle angoisse : si la réalité d'un monde atemporel n'est plus le choix d'une éthique mais la vérité imposée par une science, que sommes-nous, êtres de devenir, dans ce monde?

L'atomiste du xvii^e siècle, Boyle ou Gassendi par exemple, échappe à l'angoisse ; dans un monde dualiste, il peut décrire son propre corps, avec l'ensemble de la nature, comme le résultat du jeu aveugle des atomes, son âme échappe à l'ordre naturel, elle est créée à l'image de Dieu et a accès à la connaissance des principes rationnels qui gouvernent la nature. Cette position intermédiaire de l'homme, entre la nature inerte créée et son créateur, les philosophes athées du xviii^e siècle ne peuvent plus la revendiquer ; ceux qui, comme Diderot, interrogent la science de leur époque, ont une exigence nouvelle : ils veulent et proclament leur pleine appartenance à la nature, et demandent donc que la nature soit décrite comme capable de les produire, capable de s'organiser spontanément en des formes de plus en plus complexes, jusqu'à l'apparition de l'animal pensant.

C'est un point sur lequel il est bon d'insister, car le vitalisme a de nos jours trop mauvaise réputation : la protestation vitaliste trouve son origine dans le matérialisme le plus radical. Diderot ne se réclame d'aucune spiritualité vague quand il demande que la matière soit définie comme capable d'activité intrinsèque cohérente et qu'il doute que la physique

mathématique, héritière de Galilée et de Newton, puisse s'occuper du problème de la vie ; au contraire, il entend donner quelque vraisemblance à cette affirmation révolutionnaire : l'homme appartient à la nature, la pensée est produite par la matière sensible et organisée. Le contraste est significatif de cet « optimisme » de Diderot avec le tragique de certains biologistes modernes, tels que Jacques Monod, héritiers sans le vouloir d'une physique qui participe à une conception dualiste du monde.

Faut-il alors s'étonner qu'une partie essentielle de la pensée philosophique, et cela à partir de Kant, ait été une protestation contre cette manière d'isoler l'homme de la nature ? Qu'il s'agisse de Hegel, Schelling, Engels, Bergson ou Whitehead, nous retrouvons le problème du devenir, la recherche de formulations nouvelles, susceptibles d'affirmer le caractère fondamental du temps et l'appartenance de l'homme à l'univers, d'échapper au cauchemar de la solitude humaine dans un univers mort et sans signification.

Dans la mesure où ces philosophes ont voulu proposer une alternative à la science, une nouvelle forme de connaissance, leur travail a souvent été ridiculisé, la stérilité de leurs conceptions opposée à la merveilleuse fécondité de la science. Et il est certainement vrai que ni Hegel, ni Bergson n'ont produit un mode d'interrogation de la nature aux effets comparables à ceux des sciences quantitatives. Nier la légitimité de leur insatisfaction, la pertinence de leurs critiques, l'intérêt de leurs propositions conduit à la rupture culturelle dont nous sommes les héritiers.

Mais le XIX^e siècle n'a pas seulement été celui de la protestation philosophique au sujet du temps. Du point de vue scientifique, le XIX^e siècle a été, selon l'expression de Boltzmann⁽⁹⁾, le siècle de l'évolution.

En physique même, l'étude des moteurs thermiques, puis des processus « irréversibles » tels que la conduction thermique, a conduit à la formulation de la thermodynamique. Le second principe de la thermodynamique est celui de la croissance de l'entropie, qui définit la flèche du temps ; simultanément l'étude de l'évolution biologique, géologique, les travaux historiques, sont autant de sciences qui, à côté de la physique, ont mis l'accent sur le devenir ; mais, parallèlement, la physique, grâce notamment à l'interprétation statistique de l'irréversibilité, qui la reconnaît,

(9) BOLTZMANN L., *The Second Law of Thermodynamics*, dans *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, Edition anglaise de McGUINNESS B., D. Reidel Publ. C°, Dordrecht, Nederland et Boston, U.S.A., 1974.

peut-on dire, de fait mais non de droit, continuait à affirmer le caractère illusoire du devenir. C'est un tel conflit que nous pensons pouvoir dépasser aujourd'hui.

Mais nous devons faire plus. «Légitimer» le changement ne suffit pas. Nous devons aboutir à une science centrée sur le changement, sur l'innovation. Ici nous rejoignons la préoccupation des sociologues. Comme l'a écrit Danzin ⁽¹⁰⁾, l'Europe doit accomplir «une seconde Renaissance», et il ajoute : «... l'essentiel n'est-il pas dans l'assimilation du changement par notre culture?»

Dès lors, un dialogue fécond peut et doit s'instaurer entre les sciences physiques et mathématiques d'une part, les sciences humaines de l'autre. Car le changement est une notion d'une complexité redoutable. L'assimiler au déploiement d'une loi déterministe, c'est en présenter un aspect limité. C'est l'analyse de cette notion que nous devons entreprendre maintenant. Mais, auparavant, situons le cadre dans lequel doivent s'inscrire ces recherches.

3. SCIENCE NOUVELLE POUR UN MONDE NOUVEAU

Nous voudrions maintenant décrire certains aspects, pertinents pour notre propos, de la récente évolution de la science. Comment change notre conception de l'univers physique et pourquoi. Il y a là une coïncidence extraordinaire : alors que l'évolution socio-culturelle prenait un rythme jamais atteint, l'image que nous offre le monde physique se trouvait, elle aussi, bouleversée. Là où la science classique voyait harmonie et équilibre, nous voyons aujourd'hui instabilités, mutations, diversifications. La physique elle-même a subi une transformation profonde quant à ses perspectives. Il faut rappeler que, au début de ce siècle, l'heure des bilans semblait venue pour des physiciens éminents ; le monde était transparent, «réduit» à l'identité stable d'un niveau élémentaire ⁽¹¹⁾ dont les mathématiques décrivaient entièrement le comportement.

Nous devons ici nous borner à évoquer la récente histoire, pleine de surprises, de la physique. Nous sommes loin désormais de l'image statique

⁽¹⁰⁾ DANZIN A., Directeur de l'I.R.I.A. (Institut de Recherche d'Informatique et d'Automatique, Domaine de Voluceau-Rocquencourt B.P.5-78150, Le Chesnay, France), Rapport au CERD, 1^{re} partie, *Le Bilan Européen*, 1976, p. 43.

⁽¹¹⁾ LADRIÈRE J., *L'Abîme*, dans *Savoir, Faire, Espérer : les Limites de la Raison*, Tome I, Facultés Universitaires Saint-Louis, Bruxelles, 1976.

du monde. Le monde des particules élémentaires s'est révélé d'une complexité insoupçonnée. L'hypothèse traditionnelle de la simplicité du microscopique, de même que les possibilités d'une théorie «unitaire» du réel, se voient réduites toujours davantage au rappel nostalgique d'une science révolue.

A l'échelle de l'univers prévaut la même situation : la découverte de la fuite des nébuleuses et du rayonnement thermique de l'univers nous force à accepter une vision historique de l'univers ou, au moins, de la région de l'univers qui nous est accessible.

Il nous faut, dès lors, des méthodes nouvelles qui permettent de décrire, sans le réduire à des illusions ou à l'artefact d'une technique mathématique d'approximation, ce monde de processus et d'innovations qui est le nôtre. Pour cela, il faut de toute évidence dépasser la description déterministe de l'univers, qui découlait directement du formalisme de la mécanique rationnelle ; dans le monde des trajectoires de points matériels, tout était donné et l'évolution au sens propre n'était, et ne pouvait être, qu'une illusion.

Mais cela nous est-il possible ? La dynamique classique, prolongée par la mécanique relativiste n'est-elle pas, comme l'affirment d'innombrables manuels ⁽¹²⁾, un sujet clos ?

Cette conviction répandue rend d'autant plus remarquable l'évolution de la mécanique classique et de la mécanique quantique dont nous sommes aujourd'hui les témoins et qui me semble devoir mener à une approche toute nouvelle de la conception du temps et jusqu'à la notion même de «loi de la matière». Une nouvelle physique est en train de naître.

Nous avons tous entendu parler de découvertes neuves et vraiment remarquables dans le domaine des particules élémentaires. Nous traitons ici d'un sujet tout à fait différent mais probablement tout aussi fondamental : quel est le cadre dans lequel nous devons exprimer nos résultats, comment étendre les bases mêmes de la physique ?

Certaines de ces questions se posent en termes hautement techniques, surtout à ce stade précoce de leur développement. Il me semble cependant très important, lorsque nous étudions les relations entre la science et la société, de souligner que la science d'aujourd'hui possède des caractères nouveaux et singuliers qui relèguent d'ores et déjà dans le passé bien des conflits idéologiques entre la science et la culture, au sens large du terme.

(12) Parmi beaucoup d'autres exemples, BOREL E., *L'Evolution de la Mécanique*, Flammarion, Paris, 1943.

Nous savons aujourd'hui que le déterminisme de la mécanique classique résulte d'une *idérialisation excessive* de la notion d'état initial. La dynamique moderne est née avec les lois de Képler, les lois du mouvement planétaire, et c'est le problème à «deux corps» qui a été complètement résolu par Newton. Mais le problème se complique énormément dès que nous prenons en compte un troisième corps, une seconde planète, par exemple. Dès que la complexité du système est suffisante (dès le problème à «trois corps»), la connaissance de l'état initial du système, quelle qu'en soit la précision, ne nous permet plus de prévoir le comportement de ce système *pour des temps longs*. L'incertitude subsiste, même si l'imprécision dans la détermination de cet état initial tend vers zéro. Elle devrait être *strictement nulle* pour que l'on puisse étendre les prévisions aux temps longs. Bien sûr, nous pouvons toujours faire des prévisions pour des temps limités mais, comme notre connaissance du monde se base sur des mesures de précision *finie* (même dans l'hypothèse où leur précision pourrait croître indéfiniment) et non strictement infinie, il nous est désormais impossible, non plus seulement techniquement mais par principe, de savoir, par exemple, si le système solaire où nous vivons est stable pour *tout* temps futur⁽¹³⁾. Nous ne pouvons faire que des prédictions statistiques, prévoir des résultats *en moyenne*.

Curieux retour des choses! Depuis des années, les partisans de l'orthodoxie classique ont cherché à enlever tout aspect statistique à la mécanique quantique⁽¹⁴⁾. On connaît la phrase célèbre d'Einstein : Dieu ne joue pas aux dés! Or, voici que la dynamique classique mieux comprise prend elle-même les allures d'une théorie statistique dès que les temps longs sont considérés (pour plus de détails, voir référence⁽¹⁵⁾).

Insistons sur un point : il ne s'agit pas de dire que la mécanique classique était, en quelque façon, fautive, mais qu'elle s'est concentrée sur des situations simples dont les caractéristiques ne peuvent être extrapolées à des cas plus complexes.

La dynamique classique est un sujet propre à fasciner tous ceux qui s'intéressent à l'histoire des sciences. C'est la plus vieille des sciences et

(13) MOSER J., *Stable and Random Motions in Dynamical Systems*, Princeton University Press, Princeton, 1974.

(14) Voir, par exemple, D'ESPAGNAT B., *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, 2de éd., Benjamin, New York, 1976.

(15) PRIGOGINE I., GRECO A., GEORGE Cl., *Kinetic Theory and ergodic Properties*, in *PNAS*, 73, 1802-1805, 1976, et article à paraître en 1977 in *J. Celestial Dynamics*.

elle présente un grand nombre de caractéristiques qui illustrent la complexité de la dynamique interne de l'évolution d'une science. Nous commençons seulement à comprendre la complexité de la description dynamique même dans le cadre de la dynamique classique.

Mais du moins, la dynamique classique continue-t-elle à décrire une réalité microscopique, dont le comportement est certes plus compliqué qu'on ne le prévoyait mais qui peut toujours se prévaloir d'une sorte d'absolu : son indépendance par rapport à celui qui la décrit. Il appartenait à la mécanique quantique (systèmes microscopiques, atomes, protons, mésons) d'ébranler les fondements galiléens de la physique et de détruire la croyance classique que la description physique est réaliste au sens naïf, que son langage reflète les propriétés d'un système du monde indépendamment de la référence, obligée en mécanique quantique, aux conditions d'expérimentation et de mesure.

C'est grâce à la mécanique quantique qu'éclata au grand jour un conflit, jusque là implicite, entre la description et le processus de mesure ; les processus de mesure idéaux (instantanés et réversibles) de la physique classique s'accordaient avec la réversibilité des lois physiques qu'ils permettaient d'établir ; par contre, le monde de mesure en mécanique quantique est intrinsèquement irréversible : enregistrement et amplification, par des appareils de mesure couplés à des événements eux-mêmes irréversibles tels que l'absorption ou l'émission de quanta.

Le problème de la mesure attire aujourd'hui fortement l'attention de physiciens théoriques. C'est un des problèmes les plus « brûlants » de notre époque. Et à juste titre, pourrait-on dire, puisqu'il pose la question de savoir si l'on peut comprendre le monde microscopique « de manière isolée » (14).

Nous ne connaissons la matière, et en particulier ses propriétés microscopiques, qu'à travers les appareils de mesure qui, eux, sont des objets macroscopiques, faits d'un nombre immense d'atomes ou de molécules. En quelque manière, les appareils prolongent nos organes des sens. L'appareil est véritablement le médiateur entre le monde que nous explorons et nous-même.

Or, en contraste avec l'irréversibilité irréductible de la mesure, la fonction d'onde, qui permet de caractériser la probabilité des différentes mesures qu'un appareillage donné est susceptible d'enregistrer (irréversiblement), se caractérise par la réversibilité même de la dynamique classique. La mécanique quantique montre que le langage (statique et réversible) de la dynamique ne peut se prévaloir d'aucune correspondance

privé avec une réalité naturelle autonome ; il nous faut comprendre ce langage comme celui d'êtres macroscopiques, d'êtres vivants qui partagent avec l'appareil de mesure le caractère essentiellement irréversible du temps, sans lequel aucune vie ne peut être possible. Bien sûr, un atome décrirait autrement le monde. Mais l'atome ne pense ni ne décrit. La vie et la pensée appartiennent à notre monde macroscopique où les processus mettent en jeu un nombre immense d'atomes⁽¹⁶⁾. (voir aussi section 4).

Faut-il, dès lors, rejeter les équations fondamentales de la physique classique ou quantique ? Faut-il attendre un bouleversement total, à la limite un nouveau mode de connaissance, comme celui dont a rêvé Bergson, pour que trouvent leur place en physique, l'irréversibilité et un concept de l'évolution qui fasse droit à l'apparition de nouveautés ? Un abandon pur et simple des concepts fondamentaux de la physique classique ne semble ni probable ni souhaitable, en raison du rapport décisif à l'expérimentation que nous a donné l'appareil de la mécanique classique et quantique tout idéal qu'il fut.

Bohr⁽¹⁷⁾ et Heisenberg⁽¹⁸⁾ ont introduit le concept de *complémentarité* en physique quantique, discuté par Rosenfeld et d'autres. On peut en transporter la leçon dans des domaines non directement scientifiques : le monde est plus riche qu'un seul langage ne permet de l'exprimer. La musique n'est pas épuisée par ses stylisations successives. De même, nous ne pouvons condenser en une seule description les aspects essentiels de notre expérience. Nous devons faire appel à plusieurs descriptions, irréductibles l'une à l'autre, mais rattachées par des règles précises de traduction (les « transformations », en termes techniques). Le travail scientifique se fait plutôt exploration électorale que découverte d'une réalité donnée : il s'agit de *choisir* quel problème poser.

La réversibilité dynamique statique et la description qui incorpore l'irréversibilité sont deux descriptions complémentaires reliées par transformation⁽¹⁹⁾. Dans la première, l'évolution du système est décrite en ter-

⁽¹⁶⁾ ROSENFELD L., *The Measuring Process in Quantum Mechanics*, in *Supplement of the Progress of Theoretical Physics*, 1965. PRIGOGINE I., *Time, Irreversibility and Structure*, suivi de *Measurement Process and the Macroscopic Level of Quantum Mechanics*, in *The Physicist's Conception of Nature*, D. Reidel Pub. C°, Dordrecht, Holland, 1973.

⁽¹⁷⁾ BOHR N., *Physique Atomique et Connaissance Humaine*, Gauthiers-Villars, Paris, 1972.

⁽¹⁸⁾ HEISENBERG W., *Physics and Philosophy*, Allen and Unwin, Londres, 1971.

⁽¹⁹⁾ PRIGOGINE I., GEORGE Cl., HENIN F., ROSENFELD L., *A unified Formulation of*

mes de trajectoires et de mouvements, tels qu'en observent les astronomes, ou en termes des niveaux d'énergie que permet de calculer la fonction d'onde quantique. Dans le monde de trajectoires planétaires et d'oscillations harmoniques auquel s'adressent les questions qui appartiennent à ce mode de description, n'ont de sens ni l'irréversibilité, ni l'ensemble des processus dissipatifs qui sont l'étoffe de notre monde physico-chimique. La seconde description parle en termes de *processus* qui ont un début et une fin. C'est sa formulation que nous *devons* utiliser quand nous parlons de la mesure, et, en général, d'un monde où l'énergie se dissipe, les oscillateurs s'amortissent, les particules se décomposent ou entrent en réaction chimique.

En conclusion, il n'existe pas de niveau fondamental de description de la nature. Dans le langage philosophique, les deux descriptions dont nous avons parlé correspondent à l'«être» et au «devenir». Mais ni l'être, ni le devenir ne se définissent isolément l'un de l'autre.

Nous vivons un point singulier du développement de la science. Lentement deviennent plus clairs les contours d'une formulation nouvelle de la science, d'une rationalité nouvelle. Nous sommes encore dans le brouillard — nous sommes trop impliqués pour être aussi objectifs que lorsque nous discutons le passé.

Ce sont quelques éléments de la physique du devenir que nous voulons exposer maintenant.

4. DES STRUCTURES DISSIPATIVES À L'ORDRE PAR FLUCTUATION

C'est notre thèse fondamentale qu'une meilleure compréhension du concept et des mécanismes du changement nous donne un paradigme qui peut être le point de départ d'une approche vraiment interdisciplinaire.

Caractère statistique du devenir⁽²⁰⁾, limites du déterminisme, irréversibilité, complémentarité, voilà quelques mots clés auxquels l'analyse des conceptions nouvelles de la science nous a conduits. C'est dans ce nouveau contexte que nous devons poser le problème du changement. Ce problème est si vaste qu'il nous conduira du domaine traditionnel de la physique

Dynamics and Thermodynamics, *Chemica Scripta*, vol. 4, pp. 5-32, 1973. PRIGOGINE I., *Being on Becoming*, à paraître in *Scientific American*, 1978.

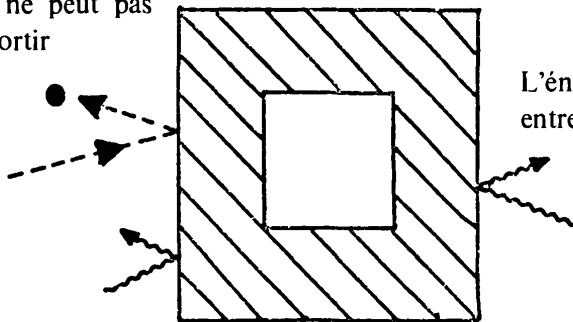
(20) Un tel mot-clef est conceptuellement étranger à la science classique, comme cela est montré de manière exemplaire par A. COMTE, *Cours de Philosophie Positive*, Paris, Hermann, 1975.

vers celui des sciences humaines et de l'évolution. Dans tous ces cas, nous devons décrire des transformations structurelles, des «innovations» et cela demande l'élaboration d'outils nouveaux. Précisons que l'évocation des sciences physiques et des sciences humaines ne procède pas d'une attitude réductionniste. Nous sommes partis de la constatation que, même dans le domaine de phénomènes physico-chimiques très simples, on peut observer et prévoir, dans des circonstances bien déterminées, l'apparition de structures spatio-temporelles irréductiblement diverses, qui ne sont déductibles d'aucune loi générale mais sont la conséquence singulière des circonstances qui leur ont permis de s'auto-organiser ⁽²¹⁾.

Notre point de départ sera donc la thermodynamique, qui a permis à notre groupe de Bruxelles de découvrir la variété et la richesse des phénomènes de structuration spontanée ⁽²²⁾.

La thermodynamique classique, celle dont le formalisme a un degré de généralité qui l'apparente à la mécanique rationnelle, se préoccupe de systèmes physico-chimiques définis par des conditions aux limites qui traduisent leurs relations avec le reste du monde, soit le «milieu». La thermodynamique distingue trois classes de systèmes, les systèmes isolés (fig. 1) les systèmes fermés (fig. 2) les systèmes ouverts (fig. 3). La terre est «fermée» elle reçoit de l'énergie du soleil mais sa masse reste ap-

La matière ne peut pas
entrer ou sortir



L'énergie ne peut pas
entrer ou sortir

FIG. 1. — Un système isolé.

⁽²¹⁾ GLANSORFF P. et PRIGOGINE I., *Structure, Stabilité et Fluctuation*, Masson, Paris, 1971. PRIGOGINE I. et NICOLIS G., *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems*, Wiley, New York, 1977.

⁽²²⁾ J. MONOD (*Le Hasard et la Nécessité*, Seuil, Paris, 1970), développe un modèle du changement où le rôle du hasard et des séries statistiques, désormais reconnu, n'est pourtant pas apprécié à sa juste valeur.

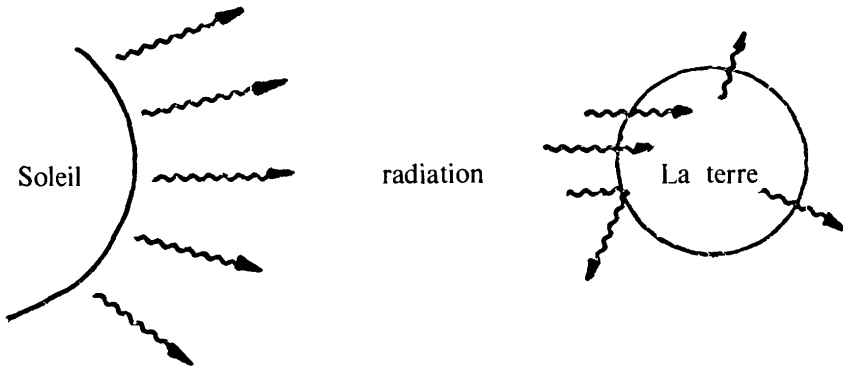


FIG. 2. — La terre est approximativement un système fermé.

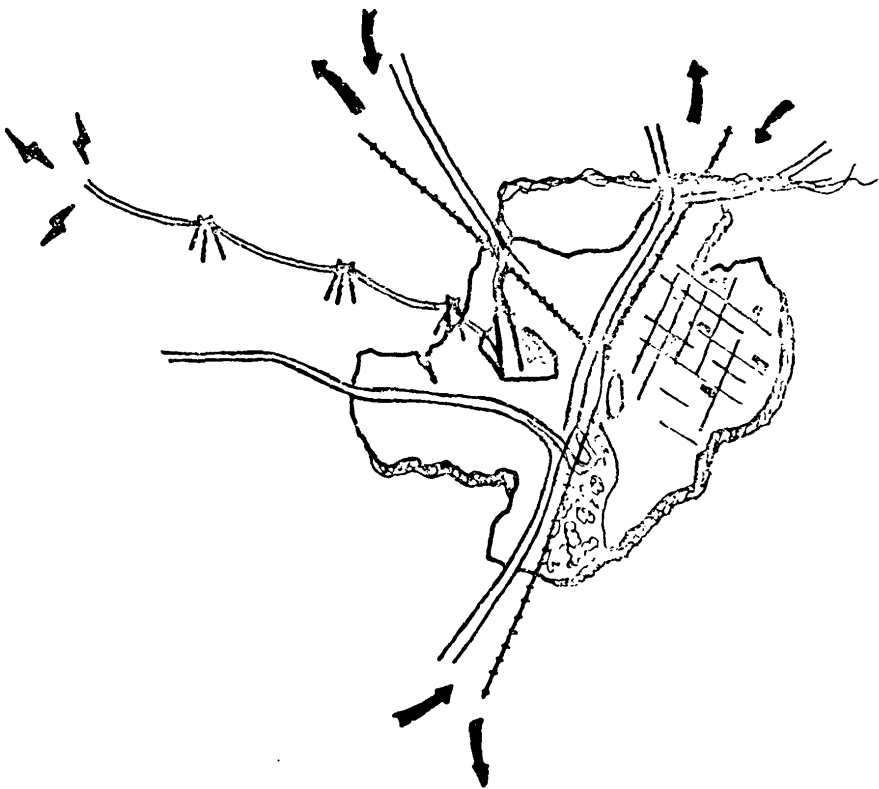


FIG. 3. — La ville est un système ouvert.

proximativement constante ; les villes sont un bon exemple de système ouvert, qui échange à la fois de l'énergie et de la matière avec le monde qui l'entoure.

Pendant longtemps, la thermodynamique s'est limitée à l'étude des états d'équilibre dans les systèmes fermés et ouverts. Ses succès ont été éclatants ; elle a en particulier élucidé le phénomène de changement de phase, ainsi que les passages entre les trois états physiques de la matière.

Que la thermodynamique ait été pendant longtemps limitée à l'étude des états d'équilibre est évidemment déterminé par la plus grande simplicité des problèmes physiques liés à l'équilibre. Mais l'idée que la stabilité et la permanence sont bien les caractéristiques fondamentales des systèmes physiques ne s'en trouve pas moins renforcée.

L'élément neuf et surprenant que le développement récent de la thermodynamique des états de non-équilibre a mis en évidence, c'est que le non-équilibre pouvait être *source d'ordre*. L'écart à l'équilibre agirait un peu comme le fait l'*abaissement de température* qui conduit à l'état plus ordonné de la matière que constitue le cristal, structure d'équilibre. Mais il y a une différence fondamentale : une structure d'équilibre comme le cristal, une fois formée éventuellement par abaissement de la température, persiste indépendamment de tout échange ultérieur avec le monde extérieur. Au contraire, les structures de non-équilibre ne peuvent se maintenir que si elles sont «nourries» par des courants d'énergie et de matière. Isolées, elles disparaissent comme le ferait une ville coupée de son environnement.

On appelle ainsi «structures dissipatives» les structures de non-équilibre, par opposition aux structures de la thermodynamique classique qui, une fois formées, n'impliquent plus de dissipation d'énergie.

Sans entrer dans une discussion systématique, indiquons quelques caractéristiques générales de ces structures dissipatives. Le domaine d'étude le mieux connu est celui des structures chimiques. Les processus dissipatifs qui se produisent au non-équilibre sont alors les réactions chimiques entre les constituants du système. L'écart créateur d'ordre est maintenu par un flux permanent d'un ou plusieurs réactifs, qui *contraint* les réactions chimiques à se perpétuer sans pouvoir atteindre l'équilibre chimique où elles s'annulent par compensation. Les structures dissipatives exigent des *mécanismes non linéaires* de transformation des éléments en interaction (ici, de réactions chimiques).

Que signifie tout ceci en termes moléculaires, en termes de «cinétique chimique»? Lors d'une collision entre molécules (A et X) se forment d'autres molécules (B et Y).



La vitesse de ce processus sera proportionnelle à la fréquence des collisions de A avec X. Nous aurons donc en moyenne,

$$\frac{dY}{dt} = \frac{dB}{dt} = k_1AX = -\frac{dX}{dt} = -\frac{dA}{dt} \quad (4-2)$$

où A, B, X, Y sont les concentrations des espèces moléculaires considérées et k_1 , la «constante cinétique». Bien entendu, le processus inverse est également possible



En additionnant les effets de (4-1) et de (4-3), nous aurons

$$\frac{dX}{dt} = \frac{dA}{dt} = -k_1AX + k_2BY = -\frac{dY}{dt} = -\frac{dB}{dt} \quad (4-4)$$

Si le système est isolé ou fermé, il évoluera jusqu'à un état d'équilibre où les effets de processus (4-1) et (4-3) se compensent. Nous aurons alors

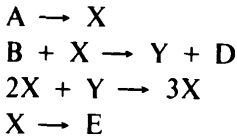
$$-k_1AX + k_2BY = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{AX}{BY} = \frac{k_2}{k_1} = K \quad (4-5)$$

C'est la loi d'action des masses, valable à l'équilibre chimique.

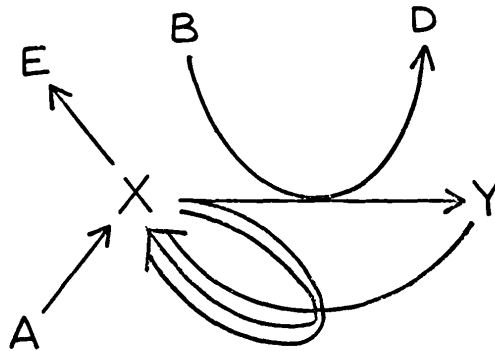
D'une importance particulière pour la formation des structures dissipatives sont les réactions *auto-catalytiques*, dans lesquelles une molécule X entre dans la réaction qui la produit ; par exemple,



ou encore, dans lesquelles X produit Y qui à son tour produit X ; c'est le cas dans le système



(4-7)



Nous avons alors une boucle de rétroaction (ou feedback positif). Ce sont des mécanismes non linéaires du type auto-catalyse, cross-catalyse, boucle de rétroaction positive ou négative qui entraînent, dans des circonstances déterminées, la possibilité de phénomènes de structuration spontanée.

En effet, si nous maintenons de tels systèmes (à mécanismes chimiques non linéaires) loin de l'équilibre chimique, en réglant par des échanges avec le milieu les concentrations des produits initiaux et finaux (en maintenant, par exemple, dans 4-7, D et E dans des concentrations plus faibles par rapport à B et A que les concentrations d'équilibre), nous pouvons produire, pour un écart à l'équilibre calculable (le seuil d'instabilité), des *situations instables*. Ce seuil marque la distance à l'équilibre à partir de laquelle la moindre fluctuation peut forcer le système à quitter son état stationnaire ; en ce cas, après une période transitoire, l'amplification de la fluctuation mène le système à un état nouveau, cohérent, qui met en jeu la coopération d'un nombre énorme de molécules ; il peut, par exemple, se produire des ondes chimiques propageant des signaux, ou des états stationnaires non uniformes dans lesquels la réaction chimique maintient une organisation spatiale.

Ce sont précisément là les structures dissipatives, véritables nouveaux états physiques de la matière. L'importance de ces structures dissipatives est aujourd'hui bien établie dans de nombreuses réactions chimiques et biologiques et la littérature qui leur est consacrée ne cesse de croître.

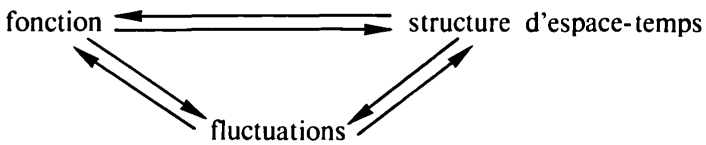
Les structures dissipatives n'apparaissent que lorsque sont satisfaites des conditions spécifiques au sujet des mécanismes chimiques. Alors que les lois de l'équilibre sont universelles, le comportement de la matière dans les conditions de non-équilibre est d'une grande spécificité. En contraste avec des tentatives telles que celles qui sont associées à la théorie de l'information, la théorie des systèmes, la théorie des catastrophes, nous

devons donc discuter de manière très détaillée les conditions microscopiques qui permettent la formation d'états cohérents dans des systèmes hors de l'équilibre. C'était la faiblesse des tentatives citées que leur généralité qui menait facilement à des tautologies.

Insistons sur le fait que la théorie des structures dissipatives lie trois éléments essentiels : a) la fonction (ou l'activité élémentaire, ici les mécanismes des réactions chimiques à l'échelle moléculaire) ; b) la structuration spatio-temporelle cohérente de cette fonction (par exemple la formation d'une onde chimique macroscopique) ; c) les fluctuations, événements élémentaires constituant un écart statistique à la moyenne et susceptibles d'engendrer une structure.

Il est essentiel de constater que cette description implique à la fois des éléments déterministes (les équations chimiques, les échanges avec le milieu) et des éléments aléatoires ou stochastiques, qui jouent un rôle particulièrement important aux points où apparaissent les nouvelles structures. Ces points sont appelés, en termes techniques, des *points de bifurcation*.

Nous obtenons ainsi le schéma suivant ⁽²³⁾.



Dès systèmes complexes peuvent bien entendu avoir toute une succession de points de bifurcation. Nous pouvons tracer un diagramme des solutions possibles en fonction d'un paramètre p qui mesure l'écart à l'équilibre (voir figure 4).

Entre deux points de bifurcation, le système suit des lois déterministes (comme les lois de la cinétique chimique 4.1-4.7) tandis que, au voisinage des points de bifurcation, ce sont les fluctuations qui jouent un rôle essentiel et déterminent la «branche» que le système va suivre. Notons que la multiplicité des solutions (état possibles) augmente rapidement avec la

⁽²³⁾ PRIGOGINE I., ALLEN P. M., HERMAN R., *The Evolution of Complexity and the Laws of Nature, Contribution to the 2nd Report (Goals for a Global Society)*, Club de Rome, à paraître, 1977.

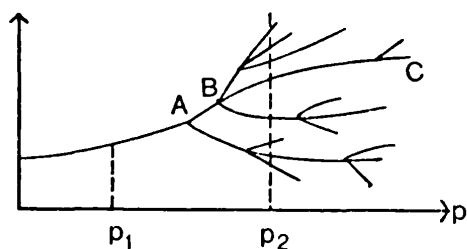


FIG. 4. — Diagramme de bifurcation.

distance à l'équilibre. Pour la valeur P_1 du paramètre qui mesure cette distance (par exemple un rapport de concentrations imposé par les échanges avec le milieu), il n'y a qu'un seul état possible, pour P_2 , il y en a 8.

Supposons que l'observation nous montre que le système dont la figure 4 représente le diagramme de bifurcations est dans l'état C ; toute « explication » de cet état implique un référence au passage par les états A et B ; aucune explication ne peut déduire « atemporellement » C de la valeur du paramètre p ; ceci est très remarquable, car s'introduit ainsi dans les modèles appartenant aux sciences physico-chimiques un élément d'explication « historique » que l'on entendait jusque là réserver aux sciences des phénomènes sociaux et culturels.

Nous avons déjà souligné le rôle des fluctuations. Indiquons pour terminer cette section le rôle d'un concept étroitement apparenté, le concept de « stabilité structurelle » ; nous en verrons l'importance pour l'étude des problèmes sociaux dans la section 5.

Considérons une molécule (par exemple, un biopolymère) formée d'unités A et B disposées régulièrement

ABABABABABABABAB.....

Supposons que cette molécule ait des propriétés auto-catalytiques grâce auxquelles ses propres copies sont synthétisées beaucoup plus rapidement que les autres macromolécules composées d'autres séquences des mêmes unités. Par suite d'une erreur, d'une fluctuation, la molécule peut cependant catalyser la production d'une copie légèrement différente, par exemple,

ABBABBABBABABBA.....

Ce « monstre » moléculaire peut être, lui aussi, doué de propriétés auto-catalytiques et deux « lignées » entrent donc en compétition pour l'utilisation des monomères A et B ; le monstre disparaîtra-t-il, ou bien remplacera-t-il au contraire la molécule initiale dans le système qui les produit ? Dans le premier cas, le système est « structurellement stable » par rapport à la fluctuation que constitue cette erreur de copie particulière ; dans le second, il ne l'est pas.

Nous arrivons ainsi à une conception selon laquelle, là où existe une possibilité de choix dans les fréquences respectives avec lesquelles les diverses étapes d'une fonction globale sont accomplies (ce que permettent les boucles de rétroaction), ou bien, là où diverses fonctions parallèles entrent en compétition, les fluctuations déterminent l'ordre global du système ; nous allons maintenant examiner l'importance de l'*ordre par fluctuation* dans l'étude des phénomènes sociaux.

5. L'ORDRE PAR FLUCTUATION ET LE SYSTÈME SOCIAL

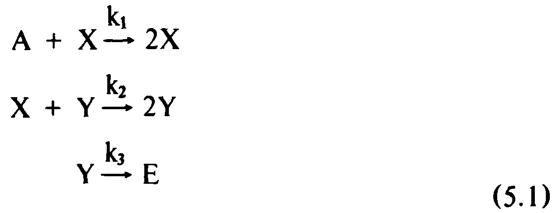
La section précédente traitait de réactions chimiques, mais les concepts que nous avons introduits peuvent trouver leur application à des problèmes très différents, d'intérêt écologique ou social.

Avant de présenter quelques exemples simples, insistons sur deux points :

a) l'application des méthodes mathématiques est fondamentalement « descriptive ». Nous n'avons pas de théorie de laquelle nous pourrions « déduire » les lois du comportement biologique ou humain.

b) il n'y a aucune contradiction entre mathématisation et comportement conscient, où se manifeste l'influence de la connaissance sur l'action. Ainsi, la variété des comportements se traduit par le fait que la plupart des modèles doivent garder un caractère statistique qui comprend l'effet de fluctuations.

Prenons le modèle classique de la compétition entre « herbivores » X (qui se reproduisent de manière auto-catalytique et meurent de mort violente) et les « carnivores » Y (qui se reproduisent en proportion des proies qu'ils peuvent dévorer et meurent de vieillesse)



C'est le modèle dit de Volterra-Lotka. L'important pour nous c'est que nous pouvons le transcrire en équations chimiques semblables à celles du type (4.2). Ainsi l'évolution temporelle de X s'écrira

$$\frac{dX}{dt} = k_1AX - k_2XY
 \tag{5.1'}$$

Cette analogie formelle nous permet d'appliquer à des problèmes de dynamique des populations des résultats obtenus pour les réactions chimiques.

Considérons un exemple concret auquel nous pouvons appliquer la notion de stabilité structurelle : la croissance d'une population X dans un milieu donné ;

$$\frac{dX}{dt} = KX(N - X) - MX
 \tag{5.2}$$

K est lié au taux de naissance, M à la mortalité et N mesure la capacité du milieu à supporter la charge de la population X. La solution de (5.2) s'exprime à l'aide d'une «courbe logistique» (cf. figure 5).

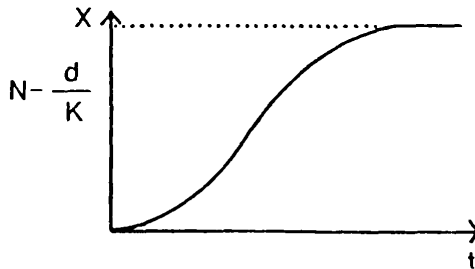


FIG. 5. — Courbe logistique.

Cette évolution est purement déterministe. La population cesse de croître lorsque le milieu est saturé. Mais il peut arriver que, à la suite d'événements que le modèle ne contrôle pas, une nouvelle espèce, caractérisée par d'autres paramètres écologiques K , N et d , se présente, initialement en petite quantité, dans le même milieu ; c'est là une « fluctuation écologique » qui pose le problème de la stabilité structurelle : la nouvelle espèce peut disparaître ou, au contraire, supplanter la première. Il est facile de montrer ⁽²³⁾ que la nouvelle espèce supplantera la première si et seulement si

$$N_2 - \frac{d_2}{K_2} > N_1 - \frac{d_1}{K_1} \quad (5.3)$$

L'occupation de la niche écologique présentera alors l'allure indiquée sur la figure 6.

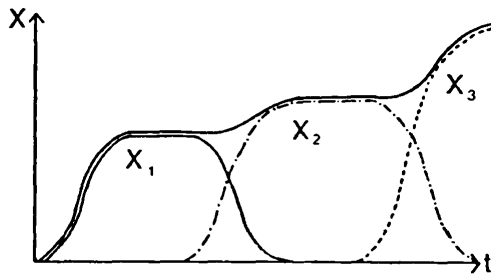


FIG. 6. — Occupation d'une niche écologique par des espèces successives.

Ce modèle définit de manière quantitativement précise la signification de la « survivance du plus apte » dans le cadre du problème de l'exploitation d'une niche écologique donnée.

Les modèles peuvent être multipliés, tenir compte de plusieurs stratégies différentes d'exploitation (généralistes et spécialistes) et de leur efficacité en fonction de l'abondance des ressources, calculer le destin de populations

qui immobilisent une partie de leur population dans des fonctions non productives (polymorphisme social des insectes) ⁽²⁴⁾ ⁽²⁵⁾.

Nous pouvons même essayer de mettre à l'œuvre les concepts de stabilité structurelle et l'ordre par fluctuation dans les problèmes, bien plus complexes encore, et donc au prix de simplifications encore plus drastiques, de l'évolution humaine. Notre groupe a entamé récemment l'étude du phénomène si fascinant de l'évolution urbaine ⁽²⁶⁾. Considérée du point de vue de l'équation logistique (5.2), une région urbaine se caractérise par l'augmentation de sa capacité N par l'adjonction de fonctions économiques. Appelons S_i^k la fonction économique k au point i (la «ville» i). Nous devons remplacer (5.2) par une équation de type

$$\frac{dX_i}{dt} = KX_i (N + \sum_k R^k S_i^k - X_i) - dX_i \quad (5.4)$$

où R^k est un coefficient de proportionalité. Mais S_i^k croît lui-même avec la population X_i en fonction d'une relation compliquée : S_i^k y joue un rôle auto-catalytique mais l'auto-catalyse dépend de la *demande* au point i pour le produit k fourni par la fonction S_i^k (demande qui provient d'une région que limite l'augmentation des coûts de transports avec l'éloignement par rapport à i) et de la *compétition* des unités de production rivales, situées en d'autres points.

Dans ce modèle, l'apparition d'une fonction économique peut être assimilée à une fluctuation, que le modèle n'a pas à expliquer mais dont il doit calculer les conséquences. L'apparition de la fonction économique peut rompre l'uniformité initiale de la distribution de population et créer des emplois qui concentrent la population en un point et doivent, pour subsister, drainer la demande des points environnants ; intervenant dans un paysage déjà urbanisé, elle peut être détruite par la compétition avec des fonctions économiques semblables plus développées ou mieux situées, ou bien se développer en coexistence ou au prix de la destruction de l'une ou l'autre de ces fonctions.

⁽²⁴⁾ ALLEN P. M., Bulletin of Mathematical Biology, Vol. 37, 1975, Acad. Roy. Belg., Bull. Cl. Sci., pp. 408-415, 1976.

⁽²⁵⁾ DENEUBOURG J. L., *Insectes Sociaux*, vol. 4, pp. 329-342, à paraître, 1977.
DENEUBOURG J. L. et ALLEN P. M., Acad. Roy. Belg., Bull. Cl. Sci., pp. 416-429, 1976.

⁽²⁶⁾ ALLEN P. M., DENEUBOURG J. L., SANGLIER M., *Dynamic of Urban Growth Models*, rapport au U.S. Transportation Department 1977.

La figure 7 illustre une «histoire possible» de l'urbanisation d'une région initialement uniforme dans laquelle deux fonctions économiques tentent de se développer en chaque point d'un réseau de dix localités ; les dix tentatives se succèdent, réussissent ou échouent, suivant une séquence temporelle aléatoire. Le résultat final dépend de manière complexe du jeu déterministe des lois économiques et du caractère aléatoire de la succession temporelle des fluctuations imposées. La distribution finale apparaît comme essentiellement imprévisible et le déterminisme est battu en brèche non pas au niveau microscopique mais au niveau macroscopique. Toutefois, indépendamment de l'histoire des fluctuations, certains traits généraux se dégagent ; ainsi, une amélioration des moyens de transport aboutit à la suppression de nombreux centres économiques, mais augmente l'importance de ceux qui subsistent et la taille des industries qui peuvent s'y développer.

Des exemples d'application de ces méthodes peuvent être multipliés. Ainsi, nous avons également étudié la structure interne des villes (répartition des habitations, des lieux de production et des services). Dans tous ces exemples, un certain nombre d'éléments jouent un rôle essentiel :

- a. le caractère non linéaire du comportement ; ainsi, deux populations d'importance numérique inégale peuvent évoluer différemment ;
- b. le caractère aléatoire de l'évolution conduisant malgré cela à des structures spatio-temporelles bien déterminées ;
- c. l'organisation de l'espace étroitement lié à la densité des populations, à leur activité, et aux moyens de communication (y compris l'effet des mass media).

L'effet des communications tend, comme il fallait s'y attendre, à détruire des inhomogénéités spatiales, mais rend également possible de nouvelles différenciations, de nouvelles structurations.

Il est bien connu que les mathématiques ont eu des applications importantes dans les sciences humaines, en économie en particulier. Ce qui est peut être plus remarquable dans les exemples que nous venons de présenter, c'est qu'un point de vue commun rapproche des problèmes de physique, d'écologie et des sciences sociales. La dynamique du changement y présente des caractères communs sans que l'originalité de chaque domaine soit mise en cause.

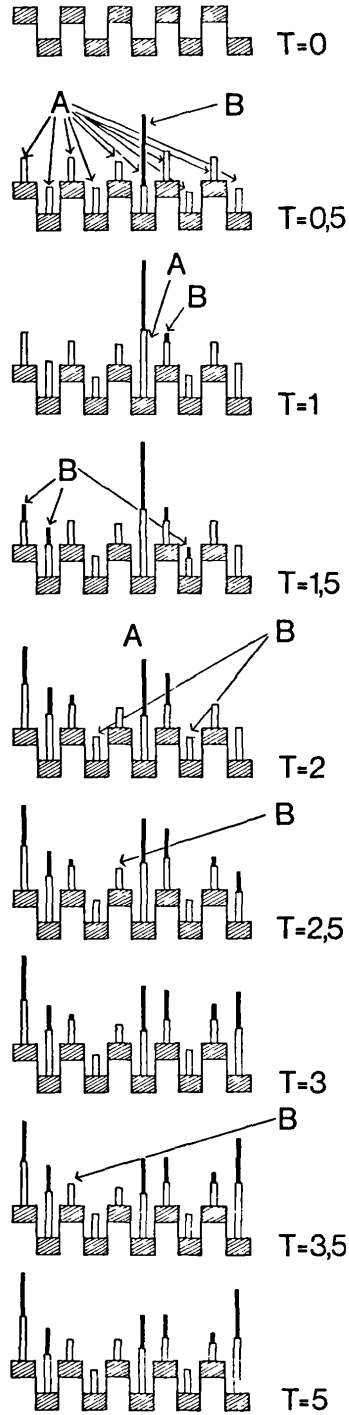


FIG. 7.

6. VERS UNE UNITÉ CULTURELLE NON-TOTALITAIRE

Comme l'a souligné Whitehead, l'un des objets de la philosophie a toujours été d'unifier la connaissance, d'éviter les bifurcations de la pensée (27). Aussi longtemps que la science traitait d'abord d'idéalisations, de «pièces de musée», ces bifurcations étaient inévitables mais cela n'est plus vrai aujourd'hui. L'unification de la culture, l'incorporation des sciences physiques dans un cadre plus large est de nouveau possible. Erich Jantsch a parfaitement traduit cette nouvelle situation lorsqu'il a écrit : «Les nouveaux paradigmes de la science se développeront probablement en une nouvelle science de la connexité (connectedness)» (28).

La connexité signifie la reconnaissance de l'unité dans la diversité et donc aussi l'accueil de diversités dont nous pouvons comprendre l'origine. Ceci a été bien exprimé par Michel Serres : «La seule philosophie possible, c'est-à-dire vitale, consiste à répudier l'universel. Le pluralisme et le polymorphisme. Où l'on retrouve Leibniz, à nouveau, et derrière lui, Epicure (29).

Il est intéressant de remarquer la multiplicité et l'intensité des courants intellectuels qui convergent vers les mêmes conclusions. Nous pouvons citer des approches aussi diverses que la dialectique, la phénoménologie, la théorie des systèmes d'un côté, la mécanique quantique avec le principe de complémentarité et la théorie de l'auto-organisation basée sur une thermodynamique de non-équilibre de l'autre. Chacune de ces approches a sa force et sa faiblesse ; mais le message est clair. Nous allons d'un monde de la quantité vers un monde qui inclut la qualité. Et la qualité est évidemment la présupposition de toute théorie du changement.

Au cours de cette conférence, nous avons souvent parlé des promesses de la science du XVII^e siècle. Pourquoi ne pas parler des promesses de la science du XX^e siècle ? Je crois que ces promesses n'incluent pas seulement la vision d'un univers «plus grand» mais d'un univers dans lequel nous commençons à nous reconnaître, avec lequel nous nous sentons liés. Un nouveau naturalisme, pourquoi pas ? Mais un naturalisme qui serait une synthèse de notre passé et une promesse pour l'avenir.

(27) WHITEHEAD A. N., *Science and the Modern World*, New York, McMillan, 1925.

(28) JANTSCH E., texte préparatoire, ESIST; voir aussi *Design for Evolution, Self-Organization and Planning in the Life of Human Systems*, Braziller, New York, 1975.

(29) SERRES M., *Estime*, dans *La Distribution*, Editions de Minuit, Paris, 1977, p. 290.

REMERCIEMENTS

Je remercie tout particulièrement Mademoiselle Isabelle Stengers. Beaucoup d'idées développées ici reprennent des thèmes que nous avons développés dans des publications communes.

Ma gratitude va aussi aux autres membres des groupes de Bruxelles et d'Austin, et en particulier à Mesdames F. Boon et M. Sanglier, Messieurs Allen, Deneubourg, George, Grecos, Lefever, Nicolis et Pahaut.

Je tiens également à remercier Monsieur Erich Jantsch pour les échanges féconds que nous avons eu à l'occasion de l'élaboration de ce texte.

Science today and its Environment

by *Peter Weingart*

*Universitätsschwerpunkt Wissenschaftsforschung ;
Fakultät für Soziologie, Universität Bielefeld, BRD*

1. REMARKS ON THE NATURE AND CAUSES OF SOCIAL PRESSURES AND DEMANDS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY

Anyone with a sense for the history of science knows that fears about as well as pressures on science and technology are not novel but have been with them ever since the days of Galileo. There are also more recent examples, the case of Lysenko, the construction and use of the A-bomb, the debate over nuclear power and 'finally', the imposition of controls in recombinant-DNA research to name but a few of the dramatic incidents where a clash between science and technology on the one hand and society on the other became apparent. They all differ in detail but they are all identical in that they mark situations that are characterized by or have led to demands and pressures by the public or governments on research to provide certain solutions or to discontinue doing so. It is riskful to claim that these demands and pressures have assumed a new quality. How are we to judge if the threat of the "new science" of the Renaissance to state, church and the social order was less profound than the threat of nuclear technology appears to the public today? While this forces us to see the problem in historical perspective it does not relieve us from dealing with it in its contemporary configuration.

For the sake of analytical clarity the various pressures and demands on science and technology may be linked to a categorization of deficiencies or crises in the relationship of science and society :

a) *Ethical problems* — arise from certain results and products or methods and procedures of science and technology which are in conflict

with social values and/or generate fears. Brain surgery, genetic engineering, oral contraceptives and nuclear power are recent cases in point which have initiated a widespread public debate primarily over ethical issues involved.

b) *Political problems* — result from an increased pressure of legitimation on the thematic orientation of scientific and technological research, i.e. its “social relevance” whatever that is taken to mean. High-energy physics research and space technology have experienced particularly strong criticism because of the perceived lack of relevance and extremely high cost.

In this essay we will deal with the common cause of both these types of problems which is to be seen in the structural discrepancy between the dynamics of the development of science on the one hand and social criteria of relevance and value patterns on the other. We attempt to give a sociological *explanation* of the situation before suggesting possible policies. We limit the analysis to science although there are structural similarities to the case of technology.

Looking first at the science-system it must be kept in mind that the terms ‘basic research’, ‘freedom of research’, ‘autonomy of science’ etc. conceal both social realities and ideologies. The present concept of science as an autonomous (or quasi-autonomous) social subsystem became a social reality with the institutionalization of research at the turn of the 19th century. This implied a number of things which account for the problems mentioned above. First of all, it meant a fairly radical dissociation of theory and practice. Research at the universities, once freed from the needs of providing solutions for ‘practical problems’ was able to develop according to internal criteria of relevance. It became a profession which could control standards of quality for the evaluation of results, for the selection of recruits and the determination of what were important and unimportant problems. In contrast to other professions science is *not* oriented to a specific clientele which must be served and would therefore have an influence on its activities.

Consequently, the intrinsic value of basic research has become the basic tenet of both the vested interests of the scientific community and its ‘ideology’ in the sense of its legitimation before the public that has to finance it. In terms of its cognitive development these historical factors have contributed to a disciplinary evolution of science, i.e. a differentiation into subject matters that emerged from a search for basic principles of

nature, usually *not* in the course of technical problem solving processes. The reductionist strategy of research which has emerged seems to be best suited for the discovery of fundamental laws. The choice of problems, the simplification of reality by the control of factors and the variation of others, the construction of idealized models are means by which modern science has achieved its success and it could do so only by dissociating itself from all practical considerations of relevance.

In terms of legitimation even before the institutionalization of modern research we have evidence of the promise of the relevance of science. It is a product of the early 19th century that the promise became one of *eventual, indirect* relevance, which, however, could only accrue if there was no direct interference with the process of research. A correlate of that is the promise of eventual unification of the sciences. The disciplinary fragmentation is regarded as a necessary stage of transition which has obvious negative effects in that the systemic nature of reality is often not considered. Once there is sufficient knowledge of detailed relations of factors it is deemed possible to arrive at a comprehensive understanding.

From the perspective of the political system or other social systems, the novel phenomenon is undoubtedly the *extent* to which science is used to guide action, i.e. to which experience has been replaced by systematic knowledge. The 19th century may be considered the century of 'applied science'.

Scientific knowledge is produced according to internal criteria of relevance and only 'ex-post' is this knowledge screened with respect to economic and political criteria of relevance. That which seems to entail a potential for technical use is selected for further development and adaptation. Our time seems to be characterized by a new pattern: the immensely extended regulatory powers of the state are based on or operating with scientific information, technical, social, administrative and otherwise; more than that, decision-making is based on anticipated scientific solutions, i.e. which at the time that a decision is made are not yet available but the search for which may be part of the decision itself. (One may cite the nuclear waste disposal and storage problem as a case in point).

Admittedly, this may be a fairly recent tendency but the evidence of it is compelling: there is the 'scientification' first of technology, i.e. not only the use of basic scientific discoveries but the initiation of research strategies which are immediately directed to 'practical', comprehensive goals *even though* reaching them entails the discovery of 'basic', unknown

principles. (Examples would be parts of electronics, modern metallurgy, fusion). The pattern of 'scientification' also extends into social policy, i.e. to social technology, where policies are carried out that are in themselves scientific experiments (as in the case of the 'comprehensive school' in Germany or the 'negative income tax' in the U.S.) Preceding this pattern or concomitant to it is the realization of the systemic nature of society, the inadequacy of single factor-interventions, and consequently, the awareness of secondary effects which is precisely the reason why decision-making (unless it is flatly irresponsible and ad-hoc) has become reflexive in nature.

In other words, this reflexive nature of social, political and economic processes is a reaction to the complexity of social systems which in turn is constituted by the availability and use of systematic knowledge. As scientific knowledge replaces every-day experience it structures the perception of reality but, as this happens, reality increasingly appears to be accessible to scientific systematization. This brings the discrepancy between disciplinary scientific knowledge, the internal orientation of basic research, the one-dimensionality of technology vis-à-vis the complexity of social problems into focus. Thus, the crisis of science and technology, as we have defined it, is a result of the scientification of society or the introduction of social criteria of relevance into science — whatever point of reference one chooses. It is *not* a crisis of science as such but a crisis of the historically evolved academic science, institutionalized as a self-sufficient profession in the universities.

One excursive note is in order here: to speak of the crisis of basic science must not conceal the fact that the crisis, if one were to look at it more comprehensively, may also be sought in the structural characteristics of 'scientized' societies, particularly in their political organization. Dealing with the crisis of science in this context only does *not* imply that by overcoming it through a reorganization of science the principal cause of the societal crisis is eliminated.

2. THE IMPACT OF SOCIAL DEMANDS ON SCIENCE — HOW DOES SCIENCE RESPOND?

In his address to the annual meeting of the AAAS the retiring president W. D. McElroy, suggested that we are on the edge of a new age, the "global age", such of the challenges of which he believed to be the emergence of a new kind of research enterprise: "large-scale operations

designed to grapple with problem-focused, rather than discipline-focused, issues". He advocated both the protection and strengthening of basic research and the encouragement of more problem-oriented research and then appealed to the scientific community not to 'wave the flag of Galileo' and having to be "dragged into the global age kicking and screaming, with a debilitating case of future shock", (McElroy [1]). Taken both as a factual analysis and as documentary evidence of a scientist's reaction to social change this article provides a contemporary nutshell account of the impact of social demands on science and its response to them. 'Problem-oriented research' we will take here as the somewhat unfortunate term for a type of research which is neither basic nor applied research, rather a composition of both but without a prescribed sequence. It has also elements of technology and, as a category, consequently needs clarification as the phenomenon itself becomes more prominent. One important characteristic has been defined by Harvey Brooks in his description of 'extensive research', namely that the fundamental principles are understood but that the task is "to discover precisely how they apply to real objects or systems", (Brooks [2]). The specific nature of this type of research is determined by the relation between the definition of the problem on the one hand and the available knowledge on the other. In the concrete case both are interconnected by the communication process between administrators, politicians, industrialists on one side and scientists and engineers on the other in which by way of a complex interaction the problems are being formulated both in light of the respective context of action (political, social, economic) and with respect to the knowledge available up to that point. This translation process has assumed a variety of organizational expression, ranging from research broker establishments to advisory councils outside and inside governments to intra-mural research capacities with directive and evaluative functions vis-à-vis the scientific community, (van den Daele, Krohn, Weingart [3]). The configurations of problem-oriented research are equally variable. The range from a loose agglomeration of disciplinary research projects oriented to a common problem, to a functionally divided cooperation of different disciplines and, finally, the emergence and institutionalization of new research fields which bear the characteristics of science and technology, basic research and development.

Some examples should illustrate what we are dealing with when talking about problem oriented research. The 'research-report' of the German science ministry for 1967 lists three 'program areas' funded by the Federal

government : nuclear research and development, space research and data processing. (This is aside from defense research and research for the various ministries). The report for 1973 lists twelve such areas, among them environmental protection, educational research, transportation, space technologies, communication technologies and electronic components and 'humanization of the workplace'. (Bundesminister für wissenschaftliche Forschung ; Bundesminister für Forschung und Technologie [4]). Of course, one cannot take these categorizations at face value as they are changed according to the political preferences of each administration and the fashions in issue-formation (cf. the appearance and disappearance of conflict and peace research). There is no doubt however, that the Federal government has, in the last two decades moved from the funding of problem oriented research and development in the area of nuclear physics and reactor development into such fields as cancer research and epidemiology, environmental research, urban and regional development, research on the improvement of work organization and technology, educational research, and more recently, alternative sources of energy. The support for these 'program areas' adds up to very roughly a third of all expenditures on R + D, this fraction not having changed substantially over the last ten years. The thematic orientation of these programs, however, clearly follows a particular pattern. On the one hand the support goes to technological research with high innovative potential in order to secure export advantages on which the economy depends. More recently then, additional goals have arisen, all of which can be traced to what may be termed second order systems problems such as environmental effects, health and nutrition, education and employment resource shortage, land use etc. These problems have called for a more direct utilization of the medical and social sciences but have also had an impact on natural science and technological research in that new, i.e. basically social criteria of relevance have been introduced and superimposed on the existing economic ones. This is true for the entire range of environmental research and for the program on the 'humanization of work'. In all these cases research is directed to the development of new procedures, organization patterns and/or technologies fulfilling the requirements of the new standards as well as to the codification of the standards themselves. In some cases the fundamental principles are still unknown, (e.g. in cancer research), in others the fundamental principles are known but cannot be translated into manageable technologies, (e.g. in the development of the fusion reactor) and in many cases the problem is to determine unambiguous criteria for

the definition of standards to which technologies and procedures can be adapted, (e.g. in most of environmental research).

When it became first apparent that the prevailing structure of science and its organizational framework would be inadequate to meet these demands, both scientists and administrators called for 'interdisciplinarity' in research in order to allow for more relevance. Even though this is a demand in the right direction, the impact of 'problem orientation' proves to be more complex.

The resistance of the scientific community to the challenge of 'problem orientation', its failure to develop its own initiative, has many reasons and assumes many expressions. One set of factors is to be seen in the structure of the university, its functions both for society and for science. Traditionally, the university had a limited training function for the classic professions and for science itself. As long as it was limited to that function it was also the adequate (and primary) institution for basic research. Consequently, its organizational structure and internal development was also largely determined by the dynamics of scientific development. At the same time the university was also the locus of the social organization of science. It had the most important role in the determination of standards of evaluation and the distribution of rewards, thus setting the 'internal' criteria of relevance. It determined the value orientations of science and provided for their continuity through socialization; thus it also played a crucial role in the formulation of ideological and legitimating conceptions.

The academic system has suffered severely — with national differences allowing for some variation — first of all not so much from direct pressures for problem orientation but from a change in the training function, i.e. the advent of mass higher education. Except where the university system is highly differentiated either functionally (as in France) or in terms of quality (as in the U.S.) — this is our hypothesis — the pressures for mass higher education must lead to a weakening of academic basic research. Regardless, whether the often quoted emigration of research from the university does take place — for which no reliable data are available — the perception of the scientists is that the university has become structurally inept to carry out its research function. A recent survey among all professorial ranks in German universities shows that two thirds wish that the classical combination of teaching and research be retained, but over one third expects an emigration of research into specialized research institutes over the next ten years while another 45% expect either an in-

ternal differentiation or a differentiation among universities as in the American system. (Frankfurter Rundschau [5]).

This result — at least for the German system — reflects both structural deficiencies of the university to meet the challenge of problem orientation and the response of the scientific community which is one of great suspicion toward externally induced pressures and changes and a lingering to the system as it has been in the past. The few experiments with newly founded universities like in Roskilde, Denmark and Bremen, Germany which have attempted to combine basic research and problem-oriented research in a new concept of teaching have met with considerable scepticism, if not outright resistance from the scientific community. Although these and similar attempts do represent the response by reform-minded scientists, they have not managed to provide such a convincing new concept that the ideological resistance to them would be overcome. They have, of course, also been deprived of the chance to develop further because of the sudden change from an educational policy of expansion to one of austerity. (Weingart, [6]). Not surprisingly, then, the university as an institution has proved to be inflexible to the challenge of problem-orientation of research. Also, the resistance of the scientific community against problem-orientation is strongest in the university because of the specific link just described.

If it is at all accepted that a certain potential of “pure research” should exist in any national scientific system, the question may even be asked whether or not it is wise to press the universities for more relevance and problem orientation in research. In fact, new institutions have emerged already which seem to be better suited for problem oriented research and which have been set up specifically for that purpose. As McElroy points out it is conceivable that in the overall framework of national research programs, particular universities assume specific tasks in cooperation with other institutions according to their peculiar potentials and the objectives of the program.

Experience with the new institutions primarily government laboratories but also less formally organized problem-oriented research programs indicate, however, that resistance by the scientific community is not limited to the university. Aside from the administrative and legal problems connected with the program-specific foundation of large research laboratories and their re-direction two aspects have to be considered :

1) there normally exists a tendency towards the 'academization' of problem-oriented research ;

and

2) such an 'academization' of problem-oriented research may be justified by the nature of the problem vis-à-vis the state of knowledge in the disciplines concerned.

We have termed, these aspects the 'institutional' and 'cognitive' resistance of science towards external direction elsewhere. (van den Daele, Weingart [7]).

Without going into detail attention must be drawn to the meaning and implications of cognitive resistance. A naively critical approach to the ideology of the scientific community may suggest that the problem orientation of research is only a matter of the motivation of scientists. An analysis of different areas of problem oriented research has shown, however, that the state of knowledge and of the development of the disciplines concerned determines to a considerable extent which kinds of research strategies must be chosen in order to tackle the problem on hand. To give a simple example : in cancer research where the fundamental principles of cancerous cell growth are not yet understood, the goal may be attained best by pursuing several strategies in different scientific specialties. In fusion research, on the other hand, the basic principles of fusion and the nature of the plasma are fairly well understood, if not known altogether and it is possible to set up more specifically goal-directed strategies limited in number to few approaches. Given the tendency towards academization the problem to control and maintain the problem-orientation of the research process is greater in the first than in the second case. Aside from the cognitive constraints the tendency towards academization very often prevents both the pursuit of problem-oriented research within one discipline and — as is normally required — in cooperation among several disciplines. The explanation is simple and fairly well known. The criteria of relevance that direct research are specific to the specialty. They define theoretical rather than practical relevance, they are interconnected with criteria of evaluation which put a premium on 'contribution to the theoretical advance' of the field and the entire reward and career system of academic science is geared to that. In fact, the social evaluation which ranks the 'pure scientist' higher than the 'applied' and the engineer is not limited to the realm of science but extends into the en-

vironing society. In other words, the attempt to direct research to more "practical relevance", to specific objectives which are defined in a political and social context means, in the last analysis, to reshape a firmly institutionalized social subsystem with its requisite set of norms, values, rewards etc. Summing up the argument so far, then, it can be said that the demands and pressures on science for problem orientation meet with resistance primarily in the university because they imply a change of function of this institution. The university is the paradigm of the social organization of science as a profession and provides the frame of reference for the orientation of the scientific community, thus accounting also for the resistance to problem-orientation of research even where this is placed in new institutions. So far, then, we have given the institutional reasons for the resistance to problem-orientation by science.

Looking at two more aspects of what may be taken to be the particular frame of mind of science reveals the behavioral patterns with respect to science policy issues that are conditioned by the institutional framework. For more than four decades the discussion over the issue of "freedom of research vs. social planning of research" has been waged. It started with J. D. Bernal's writings, above all his 'Social Function of Science', was continued by Polanyi's notion of the 'Republic of Science', was resumed in the early 60's in the U.S. and Weinberg's demand for the formulation of 'criteria of scientific choice, and, recently, found its expression in the heated argument over the concept of 'finalization' in Germany.

The pattern of this debate has remained identical over time. It is a debate waged *within* the scientific community. The protagonists of a direction or planning of science according to criteria of social relevance are invariably accused of political motives, notably of trying to suppress the freedom of scientific inquiry (although none of the concepts entails such a notion). During the pre-war debate in Great Britain and again as a result of the demands for a democratization by students and assistants at the German universities, 'societies for the freedom of science' were established which has clearly a political function of interest representation appealing to the public on the grounds that an attack on the freedom of science was paramount to an attack on democratic freedom. In the 'finalization-debate' the public press was called upon, which in one case likened the concept to a form of 'Lysenkoism'. Throughout the debate the protagonists of the freedom of science deliberately or unwillingly argued on the basis of a false dichotomy : that of planned, unfree and eventually sterile science vs. basic, free and innovative science. The purpose here is not to disprove this

position but to point out that the ideological beliefs of academic science are opposed to any kind of problem orientation which originates outside of itself and that these beliefs extend into the surrounding society (wherever we are dealing with liberal democratic states) where they can be appealed to when believed to be endangered.

A similar pattern prevails when we look at the issue of science and ethics, i.e. certain research results or methods or anticipated results are in conflict with ethical standards of society. The entire history of science is fraught with such conflicts reflecting, above all, the advance of scientific rationality and its growing supremacy over religious values and beliefs. One aspect of the demands and pressures on science is that research should not violate fundamental ethical tenets. In our times this concerns primarily experiments with the living fetus, with hereditary material, with the brain and the personality and all research the results of which are potentially threatening to health and life or violate the dignity of man.

The issue of the violation of ethical standards, therefore, implies a negative control of research in that some problems which may appear highly interesting in terms of the internal scientific criteria of relevance should *not* be pursued. The call for a moratorium and the imposition of guidelines in the case of recombinant DNA research is the best recent example. The conflict of research with ethical standards does not allow the scientific community to appeal to the public as it does in the planning issue. However, the faction which represents the traditional academic science and its values invariably sees the solution in the (ethical) responsibility of the individual scientist. A recent survey of the literature in Germany on the 'Science and Ethics' issue over the period from 1965 to 1976 reveals that hardly one of the many scientists writing on the subject saw the problem in terms of structural forces and constraints determining the relation of science and society. (A notable exception is Wagner [8]). If they see anything at fault at all with advanced unreigned research into genetic engineering for example they put the responsibility either into the hands of the researcher or call for a "new system of ethical standards". (Eberwein, Weingart [9]). This is not a problem of the intellectual incapability of individual scientists or of their moral irresponsibility. Rather, the clash between scientific research and ethical standards of society can develop because of the relative autonomy of the science system: it is not the ethical standards of society but criteria of relevance defined within that system that direct the research process; the rewards and most of the institutions put a premium on individual achievement and close the research

process off from all other concerns (or information inputs) other than those immediately connected with the specific subject matter the scientist works on. It must be noted, however, that it is exactly this structural differentiation of science from other parts of society which accounts for its success.

3. A PROGRAM FOR ACTION — SOME POLICY SUGGESTIONS

This account of the demands and pressures on science and its reactions to them almost completely ignored the many attempts on the part of scientists to institutionalize interdisciplinary research, to ensure political and ethical responsibility in research, to announce controls or moratoria in certain areas of research and to provide for more social relevance and problem orientation in research and teaching. Apart from the fact that these endeavours may themselves be taken as an indication of the demands on science as well as of the awareness and good intentions of the scientists who support these ideas we tried to show that for structural reasons they are bound to remain largely ineffective. There are no recipes and simple formulas to deal with the 'crisis' and consequently our policy suggestion cannot claim to be more original and far reaching than what is common knowledge. What can be claimed at most is that certain aspects are accentuated that normally do not receive much attention.

One class of suggestions may be termed long term structural policies for research. W. D. McElroy (in reference [I]) develops the idea of "lead institutions" or "consortium of institutions" that would carry out large-scale problem oriented research operations. This is based on the notion that different types of research tasks may best be handled by different types of research institutions, universities, federal or federally supported laboratories or industry. As we pointed out, however, particularly the university, as an institution, presents problems with respect to problem-oriented research. Here it is suggested that provisions are made for the creation of inter-departmental research units working on specific areas of basic research connected with "general problems areas" such as 'energy', 'environment', 'health' etc. The idea is that scientists who are interested in doing "practically relevant" research but who neither want to leave the academic setting nor want to lose touch with basic research in their discipline could freely move into these units and back out again into their respective departments. The units would thus have a dual function. One would be a 'scouting function' in that university scientists were free to initiate and

persue lines of research which would not otherwise be followed up but which are likely to yield results of a more basic nature. The other concomitant function would be that the university's research potential could be tapped for other purposes than the undirected advancement of knowledge.

The basic principle behind this concept is that the university remains the institution which incorporates the 'internal criteria of relevance' directing the research process, however allowing for its structure to adapt more flexibly to other criteria to become references of orientation. Where the university structure is subject to legal and budgetary provisions regulating the personnel structure — as in Germany — these provisions are the principal barrier to the flexibility of the structure and would have to be changed.

Another suggestion is to improve the communication and the mobility between all government and other mission-oriented research installations and thereby in a way, organizing the entire non-university research sector as a self-sufficient system. The immediate purpose is to counteract the problem of 'post-goal-attainment re-commissioning'. By providing for closer communication and specific career patterns the entire scientific manpower outside the university would become available for a variety of (changing) research missions. The closing down of one operation and the opening up of another — given a minimum size of the manpower and range of qualifications — would present no particular problem if there were always a core of scientists motivated and qualified to take on problem-oriented research tasks.

The longer range purpose of organizing the non-university research installations as a system parallel to academic science would be to create and develop a problem-oriented scientific community. By providing career patterns and opportunities of mobility, the dependence on and orientation towards the academic (basic research) community would be weakened. Thus, eventually it could be expected that this system develops its own specific rewards, criteria of relevance and standards of evaluation, in other words, that it becomes professionalized in its own right. Consequently, the resistance of the academic community would simply be circumvented. To suggest this is not very radical as that development is already under way. It is not a process, however, that is the result of an intentional policy. In fact, its significance with respect to the social organization of science is not widely realized. Rather, it is the outcome of ad-hoc political responses to the exigencies of situations in which because the existing institutions of

science are not responsive to particular science policy objectives new institutions are set up.

The suggestions leave open a fair number of problems. The crucial one is that a balance has to be struck between the necessary discretion for the scientists to decide on the feasibility of problem formulations and their translation into research strategies on the one hand and the control over the actual pursuit of the program goal on the other. Problems such as this one lead to another final suggestion. Science policy measures in the wider sense, like those proposed, deal with and intervene into the very complex and delicate social mechanisms of the system of knowledge production and diffusion. Ignorance of the nature of this system entails either the failure of the policy measures or their bringing about unintended secondary consequences. Although these risks will probably never be reduced completely they can be minimized by increasing the knowledge about the intricate relations between the cognitive and social process in science, between science and its social and political environment. It is thus suggested to actively support research on the nature and conditions of the research process, on its inherent dynamics and the possibility to direct it to goals defined in different social contents. This suggestion, too, is far from being original as the scientific study of science is already a growing field of research. Yet, because it has emerged in the context of the demand for a more rational policy for science, it still meets with the suspicion of and resistance towards that demand. It is necessary, therefore, to actively support this research as an ancillary measure to a comprehensive and long term structural science policy. There is no conceivable reason why science policy should remain the only policy proceeding without systematic knowledge of the subject matter which it regulates.

REFERENCES

- 1 McELROY, W. D., "The Global Age : Roles of Basic and Applied Research", *Science*, 196, (4287) pp. 267-270 (1977).
- 2 BROOKS, H., "Applied Research — Definition, Concepts, Themes", National Academy of Sciences, *Applied Science and Technological Progress*, Washington, D.C., 1970, 21-55.
- 3 VAN DEN DAELE, W., KROHN, W., WEINGART, P., "The Political Direction of Scientific Development", MENDELSON, E., WEINGART, P., WHITLEY, R.,

- (eds.) *The Social Production of Scientific Knowledge*. Sociology of the Sciences, Volume I, pp. 219-242, Dordrecht, 1977.
- 4 Bundesminister für wissenschaftliche Forschung, *Bundesbericht Forschung II*, Bonn 1967 ; Bundesminister für Forschung und Technologie, *Bundesbericht Forschung V*, Bonn 1975.
 - 5 "Für die Universitäten sehen Professoren rabenschwarz", *Frankfurter Rundschau*, 100 (30. April, 1977), 14.
 - 6 WEINGART, P., "The Integration of Learning and Research in Mass Higher Education: Towards A New Concept of Science", OECD, Structure of Studies and Place of Research in Mass Higher Education, Paris, 1974.
 - 7 VAN DEN DAELE, W., WEINGART, P., "Resistance and Receptivity of Science to External Direction: the Emergence of New Disciplines under the Impact of Science Policy", LEMAINE, G. *et al.*, *Perspectives on the Emergence of Scientific Disciplines*, The Hague, 1976. Pp. 247-275.
 - 8 WAGNER, F., *Die Wissenschaft und die gefährdete Welt — Eine Wissenschaftssoziologie der Atomphysik*, München, 1969.
 - 9 EBERWEIN, W. D., WEINGART, P., "The Issue of Science and Ethics from the German Perspective: An Annotated Bibliography, 1965-1976", to be published, *Newsletter on Science, Technology and Human Values*, 1977.

PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DES HAUTES ÉTUDES
DE BELGIQUE (depuis 1968)

- M. Pierre GOFFIN, *Histoire de l'Institut des Hautes Etudes de Belgique* (1968).
- Colloque international relatif aux *Problèmes d'Édition de textes français du XVIII^e s.* (1969).
- Colloque d'histoire médiévale : *Le gouvernement des principautés au Moyen-Age : la Basse-Lotharingie du X^e au XIV^e siècle* (1969).
- Colloque de sinologie : *La valeur des classiques chinois pour notre temps* (1970).
- Colloque sur *L'Idéologie des Lumières* (1971).
- M^{me} Andrée DESPY-MEYER, *Inventaire des Archives de l'Université Nouvelle (1894-1919)* (1973).
- Colloque sur *La Voix de l'Opposition en Mésopotamie* (1973).
- Colloque sur *La théorie des graphes* (1973).
- Colloque sur *Le Mouvement Symboliste en Littérature* (1973).
- Colloque sur *Les phénomènes de reconnaissance cellulaire* (1973).
- Colloque sur *Philosophie et Méthode* (1974).
- Colloque sur *La programmation mathématique* (1974).
- Hommage à Charles VAN DEN BORREN (1974).

Règles d'utilisation de copies numériques d'œuvres littéraires publiées par l'Université libre de Bruxelles et mises à disposition par les Archives & Bibliothèques de l'ULB

L'usage des copies numériques d'œuvres littéraires, ci-après dénommées « copies numériques », publiées par l'Université Libre de Bruxelles, ci-après ULB, et mises à disposition par les Archives & Bibliothèques de l'ULB, ci-après A&B, implique un certain nombre de règles de bonne conduite, précisées ici. Celles-ci sont reproduites sur la dernière page de chaque copie numérique mise en ligne par les A&B. Elles s'articulent selon les trois axes : protection, utilisation et reproduction.

Protection

1. Droits d'auteur

La première page de chaque copie numérique indique les droits d'auteur d'application sur l'œuvre littéraire.

2. Responsabilité

Malgré les efforts consentis pour garantir les meilleures qualité et accessibilité des copies numériques, certaines déficiences peuvent y subsister – telles, mais non limitées à, des incomplétudes, des erreurs dans les fichiers, un défaut empêchant l'accès au document, etc. -. Les A&B déclinent toute responsabilité concernant les dommages, coûts et dépenses, y compris des honoraires légaux, entraînés par l'accès et/ou l'utilisation des copies numériques. De plus, les A&B ne pourront être mises en cause dans l'exploitation subséquente des copies numériques ; et la dénomination des 'Archives & Bibliothèques de l'ULB' et de l'ULB, ne pourra être ni utilisée, ni ternie, au prétexte d'utiliser des copies numériques mises à disposition par eux.

3. Localisation

Chaque copie numérique dispose d'un URL (uniform resource locator) stable de la forme <http://digistore.bib.ulb.ac.be/annee/nom_du_fichier.pdf> qui permet d'accéder au document ; l'adresse physique ou logique des fichiers étant elle sujette à modifications sans préavis. Les A&B encouragent les utilisateurs à utiliser cet URL lorsqu'ils souhaitent faire référence à une copie numérique.

Utilisation

4. Gratuité

Les A&B mettent gratuitement à la disposition du public les copies numériques d'œuvres littéraires publiées par l'ULB : aucune rémunération ne peut être réclamée par des tiers ni pour leur consultation, ni au prétexte du droit d'auteur.

5. Buts poursuivis

Les copies numériques peuvent être utilisés à des fins de recherche, d'enseignement ou à usage privé. Quiconque souhaitant utiliser les copies numériques à d'autres fins et/ou les distribuer contre rémunération est tenu d'en demander l'autorisation aux Archives & Bibliothèques de l'ULB, en joignant à sa requête, l'auteur, le titre, et l'éditeur du (ou des) document(s) concerné(s).

Demande à adresser au Directeur de la Bibliothèque électronique et Collections Spéciales, Archives & Bibliothèques CP 180, Université Libre de Bruxelles, Avenue Franklin Roosevelt 50, B-1050 Bruxelles.
Courriel : bibdir@ulb.ac.be.

6. Citation

Pour toutes les utilisations autorisées, l'utilisateur s'engage à citer dans son travail, les documents utilisés, par la mention « Université Libre de Bruxelles – Archives & Bibliothèques » accompagnée des précisions indispensables à l'identification des documents (auteur, titre, date et lieu d'édition).

7. Liens profonds

Les liens profonds, donnant directement accès à une copie numérique particulière, sont autorisés si les conditions suivantes sont respectées :

- a) les sites pointant vers ces documents doivent clairement informer leurs utilisateurs qu'ils y ont accès via le site web des Archives & Bibliothèques de l'ULB ;
- b) l'utilisateur, cliquant un de ces liens profonds, devra voir le document s'ouvrir dans une nouvelle fenêtre ; cette action pourra être accompagnée de l'avertissement 'Vous accédez à un document du site web des Archives & Bibliothèques de l'ULB'.

Reproduction

8. Sous format électronique

Pour toutes les utilisations autorisées mentionnées dans ce règlement le téléchargement, la copie et le stockage des copies numériques sont permis ; à l'exception du dépôt dans une autre *base de données*, qui est interdit.

9. Sur support papier

Pour toutes les utilisations autorisées mentionnées dans ce règlement les fac-similés exacts, les impressions et les photocopies, ainsi que le copié/collé (lorsque le document est au format texte) sont permis.

10. Références

Quel que soit le support de reproduction, la suppression des références à l'ULB et aux Archives & Bibliothèques de l'ULB dans les copies numériques est interdite.