

RAPPORT MONDIAL
SUR LA SCIENCE 1996



ÉDITIONS UNESCO



RAPPORT MONDIAL
SUR LA SCIENCE
1996



RAPPORT MONDIAL
SUR LA SCIENCE
1996

Rédacteur en chef : Howard Moore
Rédactrice adjointe : Safoura Clément
Secrétaire d'édition : Pascale Murugaiyan

Les désignations utilisées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'UNESCO aucune prise de position quant au statut juridique de tel ou tel pays ou territoire, ville ou région, ou de ses autorités, ni quant au tracé de ses frontières.

Les opinions exprimées dans cet ouvrage sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement le point de vue de l'UNESCO.

Publié en 1996 par
l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

ISBN 92-3-203220-1

© UNESCO 1996

Composé par les Éditions du Mouflon
(Kremlin-Bicêtre, France)
sur une maquette de Banson
(Londres, Royaume-Uni)

Imprimé en France par Imprimerie Darantière, Quetigny

Page de couverture : Alfred Pasiëka

La publication de ce deuxième *Rapport mondial sur la science* intervient au moment de la célébration du cinquantième anniversaire de la fondation de l'UNESCO. L'heure est donc à la réflexion et au bilan ; c'est aussi pour nous l'occasion de réaffirmer la mission impartie à l'UNESCO, qui est d'instaurer la paix par la coopération des nations du monde dans les domaines de l'éducation, de la science et de la culture. Il nous faut rendre hommage à la clairvoyance dont les fondateurs de l'Organisation ont fait preuve en décidant que la science devait réellement occuper une place importante dans le programme mis en œuvre par l'UNESCO pour réaliser ses objectifs de paix, de constitution de capacités endogènes et de démocratie. Dans le premier ouvrage qu'il a consacré à l'Organisation, en 1946, Julian Huxley, premier directeur général de l'UNESCO, reconnaissait en ces termes les perspectives que la science et la technologie ouvraient pour le développement : « L'application des connaissances scientifiques fournit le principal moyen d'améliorer les conditions de vie de l'homme. » Tandis que des notions comme celles de « progrès » et de « développement » se succédaient pendant les décennies qui ont suivi, l'Organisation gardait la conviction que la science était une force majeure dans le processus de développement.

Pourtant, et c'est paradoxal, alors même que l'idée de la science en tant que moteur du progrès économique et social fait la quasi-unanimité dans le monde, force est de constater, malheureusement, que le partage des connaissances demeure extrêmement inégal et que la volonté politique de promouvoir la science continue de faire défaut dans bien des régions. Comme le montre la première partie de ce *Rapport*, il est des pays où la communauté et l'infrastructure scientifiques sont bien en deçà de ce qui doit être considéré comme le minimum viable. Au moment où nous nous apprêtons à franchir le seuil éminemment

symbolique du troisième millénaire, l'heure est peut-être venue de demander aux dirigeants politiques de faire la preuve de leur engagement en faveur de la science. Tous les pays du monde, en particulier les pays moins avancés, pourraient se fixer comme objectif de consacrer au moins 0,4 % de leur produit national brut à la recherche-développement scientifique d'ici à l'an 2000, ce qui serait à la fois réaliste et réalisable. De même, comme je l'ai proposé en d'autres occasions, les États membres pourraient envisager d'affecter à la science et à la technologie au moins 3 % de l'assistance reçue du Programme des Nations Unies pour le développement.

La première partie du *Rapport* décrit l'état de la science dans le monde. L'impression qui domine est celle du changement. Les pays les plus riches sont dans l'obligation de repenser complètement leurs priorités et leurs stratégies scientifiques et technologiques face aux contraintes économiques, à la situation des marchés et aux nouveaux défis politiques — et éthiques ; les États en transition économique et sociale s'attaquent à la tâche, ô combien délicate, d'édifier des infrastructures scientifiques nouvelles tout en conservant ce qui mérite de l'être dans les anciennes ; et les pays en développement doivent trouver les moyens d'assurer en matière d'enseignement et de recherche la masse critique indispensable à la constitution de capacités et au développement durable. Tous, à un degré ou à un autre, ont entrepris de modifier leur activité scientifique pour l'adapter à une situation qui change.

La deuxième partie du *Rapport* traite d'un certain nombre de questions importantes auxquelles la science et les scientifiques doivent faire face aujourd'hui. Il était impensable de publier un rapport sur la science sans aborder le problème crucial de l'éthique à laquelle elle doit obéir. De même, comment esquivait la question de la coopération inter-

nationale sans laquelle aucune activité scientifique d'envergure ne serait possible aujourd'hui ? Ce *Rapport*, pas plus que le précédent, ne prétend être exhaustif ; nous avons toutefois choisi de compléter les analyses descriptives nationales et régionales par l'étude de certains thèmes importants relatifs à l'environnement et par celle des trois grandes technologies nouvelles — biotechnologie, technologie de l'information et science des matériaux — sous l'angle de leur impact sur la société et de leur importance dans les stratégies nationales en matière de science et de technologie.

La place faite aux femmes dans la science retient depuis peu l'attention et figure à l'ordre du jour de réunions d'instances internationales et nationales. La quatrième Conférence mondiale des Nations Unies sur les femmes, tenue à Beijing en septembre 1995, a été une importante occasion de faire le point. La troisième partie du *Rapport* examine donc la place des femmes dans la science et la technologie et soulève deux questions essentielles : « La science *par* qui ? » et « La science *pour* qui ? » La première recouvre les questions évidentes de disparité entre les sexes en matière d'accès aux formations, aux carrières scientifiques et technologiques et à la prise de décision dans ce secteur ; la seconde introduit une réflexion sur les incidences des avancées de la science et de la technologie dans la vie des femmes et des hommes et sur les besoins et centres d'intérêt spécifiques de chacun. Quelques-unes des raisons qui poussent les

gouvernements et les organisations à se préoccuper d'égalité entre les sexes en matière de science et de technologie sont étudiées et le rôle des organisations internationales, intergouvernementales et non gouvernementales, est examiné. La prise en charge de leur destin par les femmes — qui suppose aussi leur accession « au pouvoir » (elles ne représentent que 5 % des effectifs aux postes de décision et 10 % des parlementaires) — est indispensable pour modifier de façon significative les tendances actuelles.

S'il est un message dont ce *Rapport* est porteur, c'est que la science et la technologie sont une activité dont il faut développer le potentiel au maximum pour relever le défi mondial d'un développement humain durable. Cet objectif exige à son tour un meilleur partage des connaissances scientifiques, au sein des sociétés et entre les nations, ainsi qu'un engagement résolu en faveur de la science de la part de la société dans son ensemble, aussi bien des simples citoyens que des dirigeants politiques et des scientifiques eux-mêmes.



Federico Mayor
Directeur général de l'UNESCO

Sommaire

AVANT-PROPOS

La culture scientifique de base

Francisco J. Ayala 1

1 ÉTAT DE LA SCIENCE DANS LE MONDE 7

Les systèmes de la science et de la technologie : panorama mondial

Pierre Papon et Rémi Barré 8

L'Amérique du Nord

Rodney W. Nichols et J. Thomas Ratchford 24

L'Amérique latine

Guillermo Cardoza et Raimundo Villegas 48

L'Europe occidentale

Ros Herman 66

L'Europe centrale

Antoni Kuklinski et Bogdan Kacprzyński 84

La Communauté des États indépendants

Leonid Gokhberg 95

Les États arabes

Subhi Qasem 125

L'Afrique

Thomas R. Odhiambo 141

L'Asie du Sud

A. R. Rajeswari 155

L'Iran

Cyrus Yeganeh 171

L'Asie du Sud-Est et la ceinture Pacifique

Stephen Hill, Tim Turpin et Heather Spence 176

La Chine

Zhou Guangzhao 198

2 DÉBATS CONTEMPORAINS 211

L'éthique de la science, entre humanisme et modernité

Noëlle Lenoir 212

La mégascience

J. Thomas Ratchford et Umberto Colombo 222

Les sciences de la Terre et l'environnement : étude des impacts humains sur les processus naturels

Antony R. Berger 234

La dégradation des sols

Herman T. Verstappen 246

La biodiversité

Francesco di Castri 253

Biotechnologie et développement

Rita R. Colwell et Albert Sasson 265

Les technologies de l'information

Georges Ferné 283

Science et génie des matériaux

Lakis C. Kaounides 297

3 LA PLACE DES FEMMES DANS LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE 317

Le cadre conceptuel

Sandra Harding et Elizabeth McGregor 319

La science par qui ?

Elizabeth McGregor et Sandra Harding 322

La science pour qui ?

Sandra Harding et Elizabeth McGregor 338

Un potentiel inexploité

Elizabeth McGregor et Sandra Harding 343

Perspectives mondiales

Interprétation des données : un défi

Ann Hibner Koblitz 346

La place des femmes dans la science : le cas de l'Afrique

Lydia P. Makhubu 348

La place des femmes dans la science : le cas de l'Inde

Radhika Ramasubban 354

Les initiatives et les acteurs internationaux

Elizabeth McGregor et Sandra Harding 356

Les femmes dans la recherche scientifique moderne : aperçu historique

Prina G. Abir-Am 369

Remerciements

L'UNESCO exprime sa reconnaissance à tous les membres du Groupe consultatif *ad hoc* qui ont bien voulu apporter leur conseil et leur assistance à la conception du *Rapport* : Rémi Barré (Directeur de l'Observatoire des sciences et des techniques, Paris) ; Jorge Flores (Directeur du Musée des sciences, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexique) ; Abdul-Razzak Kaddoura (ancien Sous-Directeur général pour les sciences, UNESCO) ; Manfredo Maciotti (ancien conseiller scientifique du Directeur général pour la science, la recherche et le développement, Commission des Communautés européennes, Bruxelles) ; Rodney Nichols (Président et Directeur général de l'Académie des sciences de New York, États-Unis d'Amérique) ; Thomas Odhiambo (Président de l'Académie africaine des sciences, Nairobi, Kenya) ; Geoffrey Oldham (conseiller scientifique du Directeur général, Centre de recherche pour le développement international, Ottawa, Canada) ; David Price (conservateur adjoint, Radcliffe Science Library, Université d'Oxford, Royaume-Uni) ; Beatriz Ruivo (Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, Lisbonne, Portugal).

La culture scientifique de base

FRANCISCO J. AYALA

On s'accorde à reconnaître que la révolution copernicienne a changé la conception que l'homme se faisait de lui-même et de sa place dans l'univers. Il a cessé alors de penser que la Terre était le centre du monde, comme le croyaient les Anciens, et elle lui est désormais apparue comme une petite planète tournant autour d'une étoile moyenne.

Les découvertes de Copernic, de Kepler, de Galilée et de Newton ont, en effet, montré que l'univers était immense dans l'espace et dans le temps, que les mouvements des planètes autour du Soleil pouvaient s'expliquer par des lois simples, celles-là mêmes qui rendaient compte du mouvement des objets physiques sur notre Terre, et que les marées étaient causées par l'attraction gravitationnelle de la Lune. Cet ensemble de découvertes accrût considérablement le savoir de l'homme. Pourtant la révolution copernicienne, dans son essence, dépassait l'accumulation de telles ou telles découvertes, si merveilleuses fussent-elles. Son grand accomplissement fut d'introduire l'idée d'un univers conçu comme de la matière en mouvement régie par des lois naturelles et de montrer que cet univers obéissait à des lois immanentes rendant compte des phénomènes naturels. Les phénomènes physiques pouvaient donc être prévus chaque fois que leurs causes étaient dûment connues. La science pouvait dès lors se définir comme une explication par des lois naturelles. La connaissance étendue que nous avons maintenant du monde de la nature est l'un des résultats de la révolution copernicienne ; la révolution industrielle en est un autre.

En tant que mode de recherche la science a fait ses preuves, mais elle est aussi un moyen de résoudre les problèmes. Elle est ainsi à l'origine de l'extraordinaire technologie à l'œuvre dans le monde moderne : gratte-ciel, autoroutes et ponts à très longue portée, fusées transportant des hommes jusqu'à la Lune, téléphones permettant de communiquer instantanément d'un continent à un autre, ordinateurs exécutant des calculs complexes en quelques millièmes de seconde, culture de plantes possédant les propriétés désirées, vaccins et médicaments nous protégeant des parasites bactériens et thérapies géniques qui remplacent l'ADN des cellules défectueuses. Les réalisations de la technologie ne constituent peut-être pas toutes

des bienfaits sans mélange, mais la science et la technologie ont transformé le monde dans lequel nous vivons et elles continueront sûrement à le transformer encore.

Ces rappels visaient à préparer le terrain pour la cause que je voudrais plaider, à savoir qu'une culture scientifique de base (ou « alphabétisme scientifique »), entendue comme une connaissance pratique de la science dans la vie de tous les jours, est aussi nécessaire que la lecture et l'écriture (c'est-à-dire l'alphabétisme au sens communément admis) pour qui veut mener une vie satisfaisante dans le monde moderne. Je tiens à affirmer ici que la culture scientifique de base est indispensable à la constitution d'une main-d'œuvre compétente, à la santé économique de la société et à l'exercice de la démocratie participative.

LA CULTURE SCIENTIFIQUE DE BASE

Je voudrais préciser d'emblée que par « culture scientifique de base » je n'entends pas une connaissance détaillée des concepts scientifiques tels que les enseignent les manuels de physique, chimie, physiologie ou génétique. Je veux parler d'une compréhension de ce qu'on pourrait appeler l'approche scientifique, ou la façon scientifique de connaître, ou bien encore la méthode scientifique. Cette compréhension exige un minimum de connaissances scientifiques spécifiques, mais elles n'ont pas besoin d'être étendues ou détaillées, ni de concerner toutes les disciplines. Dotée d'une culture scientifique de base ainsi définie, une personne saurait que l'astrologie n'est pas une science ou que les enfants ne naissent pas avec des muscles particulièrement développés si leurs parents font de la gymnastique ; mais il n'est nullement question pour cette personne de connaître la définition du moment angulaire ou de savoir que l'expression de l'ADN est médiée par des molécules d'ARN de transfert. La culture scientifique de base permet à quiconque d'approuver ou de rejeter des programmes présentés par les pouvoirs publics (de la fluoruration de l'eau à la construction d'une centrale nucléaire), sans que cette décision se fonde sur des idées préconçues (« Toute manipulation de ressources naturelles est nuisible, ou, à l'autre extrême, totalement bénéfique », par

exemple), et sans ignorer que tout choix de ce genre comporte des avantages et des inconvénients comme dans l'alternative d'une centrale nucléaire ou d'une centrale fonctionnant au charbon.

L'UNESCO a défini l'alphabétisme comme la capacité d'une personne « de lire et écrire un exposé simple et bref de faits en rapport avec sa vie quotidienne¹ ». Quand je parle d'une personne « scientifiquement alphabète », je ne veux pas dire qu'elle doit être érudite en matière de science ni non plus qu'il lui suffise de savoir lire et écrire. Je songe plutôt à ce qu'on appelle depuis quelque temps « l'alphabétisation fonctionnelle », définie comme la capacité de lecture et d'écriture suffisante pour être adapté à la société, soit pour communiquer avec autrui afin de servir ses intérêts, économiques ou autres, soit pour participer à une vie démocratique². L'alphabétisme scientifique implique cette fonctionnalité, à savoir la capacité de réagir intelligemment face aux questions techniques qui se posent constamment dans nos vies quotidiennes et dans le monde de l'action politique.

NÉCESSITÉ D'UN ALPHABÉTISME SCIENTIFIQUE

Il existe un besoin universel d'alphabétisme scientifique. A l'appui de cette affirmation, je ferai valoir des arguments empruntés à deux domaines où les demandes se font de plus en plus pressantes dans les nations modernes : le besoin d'une main-d'œuvre techniquement formée ; la nécessité pour l'ensemble des citoyens de se prononcer sur les promesses et sur les actes de leur gouvernement ainsi que sur le bien-fondé des publicités destinées à leur faire acheter des biens de consommation.

Aux États-Unis d'Amérique, le président Clinton a écrit récemment que « la technologie, moteur de la croissance économique, crée des emplois, édifie des industries nouvelles et améliore notre niveau de vie. La science est le carburant qui fait tourner le moteur de la technologie³ ». Je ne discuterai pas ici de la justesse de l'enchaînement de causes et d'effets en question : science → technologie → croissance économique. Je ferai néanmoins valoir à l'appui de cette causalité l'existence d'une forte corrélation entre l'importance de l'investissement consacré par un pays à la recherche scientifique et technologique (importance exprimée d'ordinaire en fraction du PIB consacrée à la recherche-développement) et le niveau de vie et autres indicateurs du bien-être économique dans le pays considéré.

Dans toute nation industrielle, le secteur productif de l'économie a besoin d'une main-d'œuvre scientifiquement alphabète⁴. Le bien-être économique d'un pays dépend donc de l'existence d'un niveau élevé d'alphabétisme scientifique et technique. Les innovations scientifiques, en particulier dans les sciences de l'ingénieur, sont à la base de la productivité industrielle, mais le développement économique et industriel trouve plus immédiatement sa source dans l'adaptation des idées scientifiques : matériaux et procédés de fabrication nouveaux, progrès de la productivité et de la performance des ouvriers, contrôle de la qualité des produits, séduction des consommateurs et commercialisation. Le développement économique dépend certainement des scientifiques et des ingénieurs qui découvrent et inventent et de ceux qui mettent au point ces innovations, mais la mise en œuvre réussie des innovations dépend de l'existence d'un ensemble de travailleurs instruits, ayant la compétence voulue pour s'occuper des

1. Cité par Stephen R. Graubard dans « Nothing to fear, much to do », *Daedalus, Journal of the American Academy of Arts and Sciences*, printemps 1983, vol. 112 (2), p. 231-248.

2. S. R. Graubard, *ibid.*, définit l'alphabétisme fonctionnel comme « la capacité pour l'individu de lire et d'écrire pour pouvoir fonctionner efficacement dans le groupe ou la communauté à laquelle il appartient ».

3. Président William J. Clinton et vice-président Albert Gore, Jr., *Science in the national interest*, Washington, D.C., Executive Office of the President, 1994.

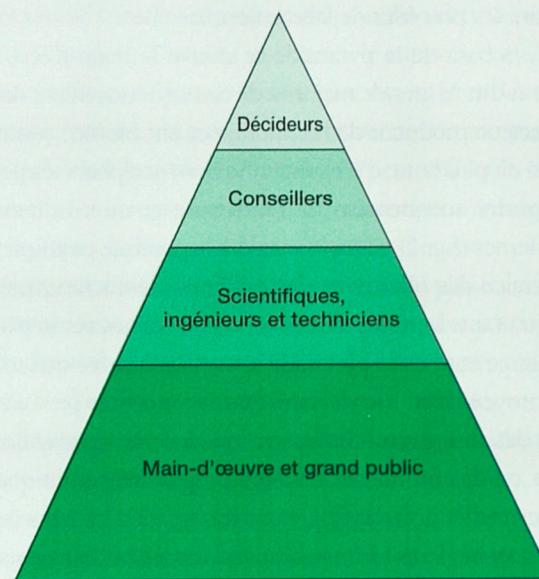
4. La proportion de la population active travaillant dans les « industries du savoir », c'est-à-dire les entreprises qui produisent, traitent et distribuent des biens et des services dans le domaine de l'information, est passée aux États-Unis d'environ 5 % en 1860 à quelque 50 % en 1980 (Daniel Bell, « The Social Framework of the Information Society », dans *The microelectronics revolution*, publié sous la direction de Tom Forester, Cambridge, Mass., MIT Press, 1981, p. 521, cité par Herbert J. Walberg, « Scientific literacy and economic productivity », *Daedalus, Journal of the American Academy of Arts and Sciences*, printemps 1983, vol. 112 (2), p. 1-28).

machines, des ordinateurs, des centres de contrôle, de l'information quantitative et des matériaux.

Les industries modernes ont besoin de travailleurs qui soient en mesure de comprendre des instructions technologiquement complexes pour faire fonctionner les machines et pour communiquer et coopérer dans des tâches qui sont loin d'être purement répétitives. Ce besoin d'alphabétisme scientifique et les avantages qu'il comporte dépassent le cadre de l'industrie et s'étendent à d'autres secteurs de l'activité économique, comme l'agriculture. L'accroissement considérable de la productivité agricole depuis quelques dizaines d'années, dans des pays comme les États-Unis, est largement imputable à l'introduction et à la généralisation de pratiques culturelles modernes et à l'utilisation d'une machinerie efficace ne pouvant fonctionner qu'avec un personnel dûment formé.

Un minimum de connaissances scientifiques de base est également nécessaire aux citoyens pour participer en connaissance de cause à la vie politique et publique de leur pays. Une proportion de plus en plus grande des décisions prises aux niveaux les plus élevés de l'État exige une information sur des questions technologiques et scientifiques. Qu'il s'agisse de savoir si un réseau d'autoroutes doit être créé, sur quel tracé et de quelle façon, qu'il s'agisse de décider si l'on fera appel pour l'énergie aux combustibles, à l'hydroélectricité ou au nucléaire, qu'il s'agisse de savoir comment protéger et améliorer l'approvisionnement en eau et la qualité de l'air, d'exploiter des ressources minérales ou marines, de préserver et d'utiliser commercialement les forêts, les cours d'eau et les côtes, les décisions politiques ne sauraient être prises judicieusement en l'absence de connaissances scientifiques et technologiques. Les décideurs doivent pouvoir se fier à des conseillers scientifiquement et technologiquement qualifiés pour fournir aux gouvernants et autres responsables les informations voulues sur ce genre de questions. Mais les décideurs doivent eux-mêmes être scientifiquement alphabètes pour interpréter, évaluer et utiliser l'avis des experts afin de prendre les décisions de principe et d'en assurer l'applica-

FIGURE 1
LA PYRAMIDE SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE
DU CORPS POLITIQUE



tion aux divers stades de la filière politique. Les législateurs démocratiquement élus et les gouvernants sont les représentants du peuple ; ils doivent assumer la responsabilité de leurs décisions et ne pas se contenter de déléguer cette responsabilité à des experts.

La participation du corps politique au processus de prise de décisions en matière de science et de technologie peut être représentée par une pyramide⁵. Au sommet sont placées les autorités de l'État (pouvoir exécutif, législatif et judiciaire) chargées de prendre et d'exécuter les décisions politiques ; juste au-dessous on trouve les conseillers, à savoir des experts qui fournissent aux dirigeants une analyse scientifique et technologique des questions, ainsi que des conséquences des décisions prises sur l'économie et la santé publique. Le troisième niveau est constitué par les scientifiques, les ingénieurs et les techniciens qui réunis-

5. La pyramide utilisée ici s'inspire de l'image proposée par Gabriel Almond dans *The American people and foreign policy*, New York, Harcourt Brace, 1950.

sent les compétences technologiques à la disposition du corps politique ; ce sont eux qui font tourner le moteur industriel et technologique en introduisant des inventions nouvelles, en mettant au point des technologies, en améliorant les procédés de fabrication, etc.

A la base de la pyramide se trouve la main-d'œuvre, c'est-à-dire la grande majorité de ceux qui travaillent dans le secteur productif de l'économie et ont besoin, comme je l'ai dit plus haut, d'être scientifiquement alphabètes pour répondre aux besoins de l'industrie et du commerce modernes (fig. 1). Si l'on considère la pratique politique et l'exercice des libertés et des pouvoirs démocratiques, il apparaît que le public tout entier doit aussi trouver sa place à la large base de la pyramide scientifique parce que tous les citoyens sont (ou devraient être) concernés par l'élection des dirigeants, choisis en fonction de leurs réalisations ou des promesses de leurs programmes politiques. La science et la technologie ont des incidences commerciales, stratégiques, administratives et sanitaires qui ne sont pas marginales, mais se situent au cœur même des éléments constitutifs essentiels du processus politique. Dans une démocratie participative, il est indispensable que l'électorat, c'est-à-dire le grand public, soit scientifiquement alphabète pour pouvoir ou non soutenir les propositions ou les décisions des gouvernants et concourir ou non à leur élection en ayant un minimum de compréhension des incidences que peuvent avoir lesdites propositions ou décisions.

Il n'y aura pas de démocratie participative si l'importance des considérations techniques à l'origine de décisions politiques, qui sont lourdes de conséquences économiques et ont des répercussions sur l'état présent et futur d'une nation, ne peut être comprise que par une petite fraction de la population. Les citoyens peuvent et doivent avoir connaissance des arguments échangés par des experts soutenant des thèses opposées. Mais un public ignorant des questions techniques en jeu livre le processus démocratique à l'exploitation de groupes d'intérêts, de démagogues et même d'imposteurs (du genre de ceux qui drapent dans le manteau de la science des pseudo-sciences comme l'astrologie ou la parapsychologie). Le public n'a

pas besoin de posséder des connaissances scientifiques telles que celles dispensées dans les classes et les manuels de sciences, mais il doit au moins pouvoir juger de la pertinence des arguments avancés par les experts et comprendre les conséquences éventuelles des mesures envisagées sur l'économie, la conservation de la nature ou la santé.

Pour formuler une politique, il faut commencer par faire en connaissance de cause des conjectures sur ce que les interventions du gouvernement peuvent apporter à la société. Un public possédant un minimum de connaissances scientifiques sera préparé à porter un jugement sur les plans, les promesses ou les programmes politiques qui lui sont soumis en tenant compte des tendances et des résultats du passé. L'alphabétisme scientifique suffira souvent pour voir ce qui se cache derrière des promesses vides de sens, programmes sociaux gratuits, décisions sans risques en matière d'environnement ou publicité trompeuse pour des biens de consommation. Quand les questions soulevées sont complexes, le public devrait à tout le moins pouvoir évaluer la pertinence des analyses faites par les commentateurs politiques, les critiques sociaux et les médias sérieux.

LE RÔLE DE L'ÉCOLE

L'objectif de l'alphabétisme scientifique exige qu'un enseignement scientifique intelligent soit dispensé à l'école. Cette question est trop vaste, trop complexe et trop délicate pour être étudiée ici, mais je voudrais présenter brièvement trois observations.

La première est que l'enseignement des sciences devrait s'adresser à la totalité des élèves. Si l'on accepte l'argumentation que j'ai esquissée, cela va de soi. L'enseignement des sciences dans les établissements primaires et secondaires doit remplir plusieurs conditions. Il doit préparer les élèves qui poursuivront l'étude des sciences dans les écoles techniques, les grandes écoles et les universités et qui deviendront les scientifiques et les ingénieurs destinés à occuper des postes de première importance pour le développement industriel et économique des pays

modernes (ce sont eux qui occupent le premier étage de notre pyramide de la science et de la technologie). L'école doit également préparer la main-d'œuvre qu'exigent les industries à base scientifique et les entreprises de plus en plus nombreuses qui réclament aussi un personnel techniquement qualifié. Enfin, l'école doit donner au minimum une certaine compréhension de la nature du savoir scientifique afin de préparer les élèves à devenir des citoyens responsables d'une démocratie participative, c'est-à-dire, comme je l'ai déjà dit, capables de prendre des décisions personnelles ayant une incidence sur leur vie quotidienne et sur leur participation à la vie sociale et politique. En raison de l'ampleur de ces objectifs, il est indispensable que l'enseignement des sciences commence dès les premières années de l'école et qu'il se poursuive pendant toute la durée de la scolarité obligatoire.

Dans presque tous les pays, cet enseignement est jugé insatisfaisant. Cela amène ma deuxième observation. Les sciences sont, en général, enseignées à l'école comme une discipline théorique comprenant des connaissances apprises dans un manuel et qu'on doit pouvoir régurgiter ensuite lors des examens. On dispose pourtant, semble-t-il, d'une profusion d'éléments d'appréciation montrant que les sciences s'apprennent beaucoup mieux (et que les élèves ont beaucoup plus de chances de s'y intéresser en les apprenant) quand on les enseigne sur le tas, en illustrant les principes par des observations et expériences pratiques, ce qui, pendant toute la scolarité primaire et une grande partie de la scolarité secondaire, peut se faire simplement en partant de l'expérience quotidienne des élèves⁶.

Ma dernière observation concerne l'enseignement des sciences dans les pays où le niveau général d'alphabétisme est bas, ou dans les villages ou les zones reculées, ou bien encore là où la scolarité est très courte et où les maîtres ne

disposent de presque aucun matériel scientifique pour leur cours. Il existe dans une salle de classe et dans ses environs immédiats de nombreuses possibilités de mesurer, de compter et de classer (les élèves eux-mêmes et les objets se trouvant dans la salle de classe peuvent servir à beaucoup d'usages). On peut enseigner le rapport entre les formes et les nombres en faisant faire aux enfants des travaux de couture, de tissage, de menuiserie, de comptabilité et de cartographie. De même, on peut utiliser la chaleur et la lumière, le son et le mouvement pour enseigner la physique. L'observation des enfants qui naissent et qui grandissent dans la famille, la croissance des plantes et des animaux, les conséquences physiologiques des saisons et bien d'autres phénomènes relevant de l'expérience immédiate de l'enfant serviront à enseigner la biologie. Ma conclusion générale est que, pendant toute la scolarité primaire et une grande partie de la scolarité secondaire, non seulement un enseignement scientifique de qualité n'exige pas de matériel technique, mais encore qu'il donnera de bien meilleurs résultats s'il se fonde sur l'expérience quotidienne des élèves.

Bien entendu, le succès de l'enseignement des sciences et des mathématiques dépendra dans une large mesure de la préparation et du dévouement des enseignants du premier et du second degré, question qui dépasse le cadre de cet article.

Pour terminer, je voudrais souligner que l'enseignement des sciences ne doit pas nécessairement prendre fin avec les années de scolarité, ni pour ceux qui deviendront des scientifiques et des ingénieurs, ni pour le reste de la population. Les médias destinés au grand public peuvent éduquer celui-ci en présentant et en commentant les informations politiques, économiques et médicales ayant un intérêt technologique, mais aussi en divertissant. La télé-

6. La littérature sur l'enseignement des sciences à l'école est très abondante. Un exemple qui mérite d'être mentionné est celui du « Project 2061 » de l'Association américaine pour l'avancement des sciences (AAAS). Ce plan à long terme, qui comporte trois phases, a été lancé en 1986 dans le but d'améliorer l'enseignement scolaire des sciences, des mathématiques et de la technologie. La phase I, qui a pris fin en 1988, portait essentiellement sur la substance même de l'alphabétisme scientifique et a donné lieu à la publication de plusieurs documents, le plus important étant *Science for all Americans* (Washington, D.C., American Association for the Advancement of Science, 1988). La phase II a fait intervenir des équipes d'éducateurs et de scientifiques qui, à partir du contenu de *Science for all Americans*, ont élaboré divers modèles de programmes d'études destinés à être utilisés dans différents contextes économiques, culturels et sociaux. La publication de l'ouvrage *Benchmarks for science literacy* (New York, Oxford University Press, 1993) constitue une retombée importante de la phase II. La phase III devrait être un vaste effort de collaboration, poursuivi pendant une décennie ou davantage, auquel participeront de nombreux groupes désireux de tirer parti des acquis des phases I et II pour atteindre l'objectif consistant à réaliser l'alphabétisme scientifique par l'enseignement scolaire.

vision, en particulier, est un puissant instrument pour la poursuite de l'enseignement des sciences dans la population. A l'heure actuelle, des intérêts commerciaux compromettent cette possibilité, mais cela vient du fait que les journalistes et les producteurs de programmes spécialisés ne savent pas faire partager à leur public la passion et l'attrait de la découverte et du savoir technologique. Le temps est venu pour la presse, la radio et la télévision de faire leur devoir au service de l'alphabétisation scientifique tout en s'acquittant des autres fonctions, irremplaçables et essentielles, qui leur incombent dans la société moderne.

Francisco J. Ayala est professeur de sciences biologiques (chaire Donald Bren) et professeur de philosophie à l'Université de Californie, à Irvine, et fait partie du Comité des conseillers du Président des États-Unis pour la science et la technologie. En février 1993, il a été élu président de l'American Association for the Advancement of Science (AAAS), qui est la plus grande organisation scientifique du monde. Il est actuellement président du Conseil de l'AAAS.

Le professeur Ayala a occupé des postes importants dans un certain nombre d'autres sociétés savantes et a fait partie de divers organismes consultatifs nationaux. Il donne fréquemment des conférences dans des universités et autres institutions, aux États-Unis et ailleurs, et il a plus de cinq cents articles et dix livres à son actif.



1

ÉTAT DE LA SCIENCE
DANS LE MONDE

Les systèmes de la science et de la technologie : panorama mondial

PIERRE PAPON ET RÉMI BARRÉ

Dans toutes les civilisations, l'homme a éprouvé le besoin de connaître et de comprendre le monde et la société dans lesquels il vit et il a été nécessaire d'organiser progressivement l'activité de production de connaissances nouvelles. C'est ainsi qu'est apparue la recherche scientifique dont la finalité est de procéder à des mesures, de concevoir des expériences et des modèles théoriques pour comprendre et interpréter les phénomènes naturels, mettre au jour les structures de la matière et du vivant, etc. Parallèlement, dans les sociétés industrielles, la tâche de développer des techniques nouvelles est devenue une entreprise essentielle qui, à partir de la seconde moitié du XIX^e siècle, s'est beaucoup rapprochée de la recherche scientifique.

Aucune civilisation n'a eu le monopole sur le long terme de la recherche scientifique et du développement technologique. Les sciences et les techniques sont les unes et les autres un produit de l'histoire : la place éminente qu'occupent aujourd'hui la science et la technologie (S et T) est l'aboutissement d'une très longue évolution qui a vu progressivement émerger la « science moderne » et les savoirs techniques qui ont donné corps à la technologie. Chaque civilisation a ainsi imprimé sa marque à des institutions scientifiques lui permettant de conduire une activité scientifique et technologique en symbiose plus ou moins étroite avec son organisation sociale, sa culture et ses structures politiques. La Chine et les pays musulmans étaient parvenus à donner une forme relativement organisée et développée à l'activité scientifique bien avant les pays européens et ils sont à l'origine de grandes découvertes dans les domaines du magnétisme, de l'acoustique et de l'optique. Nombre de grandes villes du monde islamique ont possédé très tôt un observatoire astronomique : ceux de Bagdad, du Caire et de Samarkand ont joué un rôle de premier plan dans le développement de l'astronomie dès le IX^e siècle. Dans les pays musulmans, le système d'éducation est l'instrument essentiel de la diffusion des connaissances ; l'université al-Azhar au Caire est à cet égard exemplaire. De même, en Chine, l'État impérial s'était-il doté d'une administration aux fonctions très étendues au sein de laquelle la production des connaissances scientifiques et techniques tenait une place importante. L'astronomie,

par exemple, était considérée, en quelque sorte, comme une science officielle, car, dans un pays agraire, les astronomes étaient employés à la confection des calendriers officiels ; il en allait de même pour les mathématiques, la physique et surtout l'hydraulique. La plupart des sociétés ont donc cherché à donner, très tôt, une forme stable et viable à long terme à l'activité de production systématique et organisée des connaissances scientifiques et technologiques, c'est-à-dire à ce que nous appelons aujourd'hui la recherche et le développement.

Toutefois, c'est en Europe occidentale, à partir du XVI^e siècle, que la science a pu prendre une forme institutionnelle stable tout en affirmant son autonomie par rapport à la philosophie et à la théologie. C'est aussi une période où l'expansion du commerce international, avec les grandes découvertes maritimes, favorise l'émergence, en Europe, d'une classe de commerçants prompts à utiliser les innovations techniques. Pendant longtemps, à partir de cette époque, l'activité des savants (on ne parlait pas encore de « recherche scientifique ») aura pour siège des académies ainsi que les chaires d'enseignement des universités et des grandes écoles. La première institution scientifique de l'époque moderne en Occident fut l'Accademia dei Lincei, fondée à Rome en 1609 ; Galilée en fut membre. Les académies des sciences de Londres et de Paris, créées respectivement en 1660 et en 1666, étaient de véritables innovations institutionnelles ; elles s'étaient fixé comme mission de substituer à la spéculation purement philosophique l'observation et l'expérience. Elles instituaient aussi un nouveau mode de relation entre la science et le pouvoir politique qui permettait de donner un « statut » social avec une reconnaissance politique à l'entreprise scientifique, et donc à la recherche.

Depuis lors, cette institutionnalisation de la recherche scientifique s'est poursuivie et consolidée, en particulier à partir du XIX^e siècle : des scientifiques et des administrateurs d'universités avisés ainsi que des hommes politiques clairvoyants prirent conscience, en Europe, que la production des connaissances ne pouvait plus être seulement une affaire d'individualités brillantes isolées. La recherche requiert des moyens importants : des laboratoires avec des

appareils, des professeurs aidés par des équipes d'étudiants, de chercheurs, de techniciens. La création, en 1911, de l'Institut Kaiser-Wilhelm pour la recherche (aujourd'hui Société Max-Planck) constitua un véritable tournant : pour la première fois un État, l'Allemagne, créait des instituts de recherche en dehors du système universitaire.

Beaucoup de pays européens devaient suivre cet exemple après la première guerre mondiale, en particulier la France, qui fonda en 1939 le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), ainsi que la Chine, qui créa son Académie des sciences. A la même époque l'industrie créait, elle aussi, ses propres laboratoires de recherche ; les découvertes scientifiques étaient la source d'innovations technologiques, tout particulièrement en chimie organique.

Aujourd'hui, la science et la technologie sont des composantes essentielles de l'activité humaine. Elles déterminent largement la vision que nos sociétés ont de leur avenir et leur permettent de répondre à des demandes économiques, sociales et culturelles. C'est pourquoi le soutien à la recherche scientifique, qui est source de connaissances nouvelles, la promotion de l'innovation technologique sont désormais parties intégrantes des politiques publiques — avec leurs composantes économiques, sociales et militaires — ainsi que des stratégies d'entreprises industrielles. Lancer des programmes de recherche, valoriser et transférer les résultats de la recherche publique, promouvoir les innovations et les stratégies de recherche industrielle, répondre à la demande sociale, monter des programmes de coopération internationale, former des spécialistes, requiert une pluralité d'acteurs et d'institutions pour la prise de décision. Tout cela constitue un véritable « système » de la science et de la technologie avec ses composantes nationales et internationales. Les politiques nationales de la recherche et de la technologie et celles des groupes industriels ont la tâche de faire vivre et évoluer ce système. Au niveau national, c'est en particulier le rôle des ministères chargés de la recherche de mettre au jour les enjeux, d'opérer les choix de priorités avec les arbitrages nécessaires, dans le cadre de stratégies porteuses d'ambitions collectives.

LES GRANDES FINALITÉS DE LA RECHERCHE ET DE LA TECHNOLOGIE

La recherche scientifique ainsi que la plupart des activités de développement technologique exigent aujourd'hui dans tous les pays la mobilisation de compétences d'un très grand nombre de professionnels (universitaires, chercheurs, ingénieurs, techniciens) : le monde de la science et de la technologie s'est professionnalisé. Les finalités de ces activités et donc les fonctions occupées par ces professionnels sont évidemment multiples. On peut très schématiquement les répartir en cinq grandes catégories :

La production de connaissances de S et T de base
Elle est l'objectif essentiel de la recherche de base, ou fondamentale. Son horizon est, en général, à long terme ; ses résultats sont publiés dans des articles de revues scientifiques (près de 75 000 titres de journaux périodiques spécialisés toutes disciplines confondues ont été recensés) et diffusés dans des congrès. Cette activité contribue à alimenter des bases de données.

La formation

Dans tous les systèmes universitaires, les enseignants sont engagés dans une activité de recherche. Celle-ci constitue une garantie de la qualité de l'enseignement supérieur et elle est formatrice pour les étudiants, en particulier pour ceux qui s'engagent dans la préparation d'une thèse. Il faut souligner qu'aujourd'hui, dans de nombreux pays, cette activité de formation est aussi assurée par des chercheurs et ingénieurs de recherche de laboratoires publics et privés. Elle est de plus en plus prise en charge par des programmes de coopération internationaux.

La production de connaissances et d'expertises

Une partie très importante de l'action gouvernementale consiste à définir des normes et des réglementations techniques à travers divers types de procédures que l'on pourrait qualifier de « pratique de l'expertise scientifique et de l'évaluation technologique au quotidien » : commissions de contrôle de nouveaux produits chimiques et pharmaceu-

tiques, évaluation des risques industriels et technologiques, suivi de la qualité des eaux, etc. Tous ces travaux s'appuient sur l'expertise de chercheurs (et donc sur une recherche finalisée) qui travaillent pour la plupart au sein d'établissements publics. L'environnement, la santé, l'agroalimentaire sont des exemples de secteurs concernés par cette activité d'expertise qui prend une place de plus en plus grande dans nos sociétés. Elle se traduit par des avis, des diagnostics, des rapports analysant des situations, des problèmes techniques de toutes sortes (état d'un environnement, sécurité d'une installation industrielle, etc.). Dans nombre de pays, des organismes de recherche ont la double mission de promouvoir la recherche dans leur champ de compétence et de mettre leur capacité d'expertise au service de l'État pour préparer les décisions politiques ou administratives sur la base d'avis scientifiques. Le développement d'une recherche scientifique et technologique de haut niveau permet à l'État de se doter d'une capacité d'expertise spécialisée indispensable à l'exercice de ses missions.

La contribution aux programmes stratégiques de l'État

Les États modernes ont très souvent des objectifs « stratégiques », au sens large du terme, qui correspondent à des priorités publiques nationales fortes. Ils participent le plus souvent à une logique de puissance ; ils veulent disposer de systèmes d'armes complexes sans dépendre de l'étranger, posséder des satellites pour être en mesure de maîtriser leurs télécommunications, et assurer leur indépendance énergétique. Pour atteindre ces objectifs, il faut lancer des programmes de recherche et de développement technologique importants au sein de grands organismes de recherche publics chargés, par exemple, de la recherche nucléaire ou spatiale. Ces programmes sont également mis en œuvre, dans les pays industrialisés tout au moins, au sein de laboratoires d'entreprises industrielles (du secteur public ou privé) dans des domaines comme l'électronique et l'aéronautique. Les résultats des travaux poursuivis dans ce cadre ne sont en général pas diffusés : ils sont l'enjeu d'une compétition internationale qui n'est pas celle d'un marché libre. Cette notion de programmes stratégiques a

été étendue récemment à des secteurs industriels jugés prioritaires, comme les télécommunications, et à certaines technologies de production comme la robotique.

La participation à l'innovation industrielle

Les phases dites de « recherche et développement » précèdent l'innovation, c'est-à-dire la première utilisation ou commercialisation d'un bien ou d'un service. Les chercheurs et les ingénieurs de recherche, tout particulièrement dans les entreprises industrielles, sont donc impliqués dans un processus qui débouche sur la mise au point de nouveaux produits et de nouveaux procédés qui vont être industrialisés et mis sur le marché. Les travaux de recherche, en général de caractère appliqué ou finalisé, obéissent souvent à une logique économique basée sur la promotion de l'innovation par les entreprises. Il faut souligner cependant que toutes les innovations ne sont pas issues de travaux de recherche. Les bureaux d'études, les services de fabrication de l'industrie ainsi que le secteur tertiaire sont aussi à l'origine d'innovations (les logiciels sont de plus en plus eux-mêmes des innovations).

On peut dire, par analogie avec la recherche scientifique, que le brevet est le produit de base de l'activité technologique. C'est un bien immatériel, comme une publication scientifique, mais il confère un monopole à celui qui l'a déposé : il a une valeur marchande, ce que n'a pas une publication scientifique. Le brevet reconnaît une invention : un procédé industriel, un nouveau produit, un matériau, etc. Au plan quantitatif, il apparaît que, pour tous les domaines technologiques confondus, 81 000 brevets ont été déposés aux États-Unis d'Amérique en 1991 par des inventeurs de toutes nationalités (62 000 en 1986) et 41 000 en Europe (brevets déposés directement par la « voie européenne »).

L'innovation technologique est aussi incorporée dans les biens d'équipement et les composants de diverses natures qu'une entreprise met au point ou utilise pour produire. Ainsi, une chaîne de production automobile utilise-t-elle de nombreux ordinateurs qui pilotent des robots intervenant dans le processus de fabrication. L'innovation est donc le produit de processus très diversifiés.

L'ensemble de ces activités scientifiques et technologiques, dont certaines sont très anciennes comme on l'a vu, est englobé dans un concept qui a émergé progressivement, au début des années 60, celui de recherche-développement (R-D). Les travaux de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) sur les statistiques de dépenses de recherche ont joué un grand rôle pour que les experts s'accordent sur une typologie commune, qui correspond à ce que l'on appelle, depuis trente ans, le « manuel de Frascati ». Ce manuel définit trois catégories d'activités de recherche-développement.

La *recherche fondamentale* regroupe tous les travaux expérimentaux et théoriques entrepris pour acquérir des connaissances de base sur les phénomènes et les faits observables sans que les chercheurs n'aient, *a priori*, de perspectives d'application pour leurs travaux. De grands noms de la science comme Albert Einstein, Max Planck, Vankata Raman, Jacques Monod et bien d'autres ont travaillé et travaillent dans cet état d'esprit et on peut les qualifier de « fondamentalistes ».

La *recherche appliquée* correspond, elle, aux travaux originaux qui visent à acquérir des connaissances nouvelles en vue d'une application pratique (industrielle par exemple). Louis Pasteur, lorsqu'il mena ses travaux, au XIX^e siècle, sur la fermentation ou la maladie du ver à soie, faisait de la recherche appliquée, même si certaines de ses découvertes d'alors eurent dans la réalité un caractère « fondamental ». Il reste enfin une troisième catégorie de travaux : le *développement expérimental*. Il s'agit là de travaux systématiques basés sur des connaissances existantes obtenues grâce à des travaux de recherche ou à l'expérience pratique en vue de fabriquer de nouveaux produits ou de mettre au point de nouveaux procédés industriels. Ainsi, la découverte de nouveaux polymères dans des laboratoires de recherche permet de fabriquer des matières plastiques, mais le passage à l'industrialisation ne fut possible qu'au prix de travaux de développement nécessitant la construction de pilotes pour des essais et de la mise au point.

On voit comment se situent la recherche fondamentale, la recherche appliquée et le développement par rap-

port à notre typologie des activités scientifiques et technologiques (nos cinq catégories précédentes). Si la frontière entre recherche fondamentale et recherche appliquée est souvent floue, on peut néanmoins constater que, dans la quasi-totalité des systèmes nationaux de la science et de la technologie, ce sont essentiellement les entreprises et certains organismes technologiques d'État (centres nucléaires civils et militaires, instituts de recherche sur le pétrole, par exemple) qui réalisent des travaux de développement, en relation soit avec l'objectif de promouvoir l'innovation industrielle, soit en liaison étroite avec des programmes stratégiques des États. La recherche fondamentale est très souvent liée à la formation. Quant à la recherche appliquée, elle est présente aussi bien dans les institutions produisant des connaissances et des expertises nécessaires aux politiques publiques (dans des domaines comme la santé, l'environnement, les ressources marines, les transports, etc.) que dans celles impliquées dans la mise en œuvre de programmes stratégiques des États, et bien sûr dans les laboratoires de recherche industrielle.

Comme toute classification, celle du « manuel de Frascati » prête le flanc à la critique. Pourquoi, pourrait-on dire, vouloir disposer d'une taxinomie des activités scientifiques et technologiques qui fasse l'unanimité ? Ce souci de classification, en fait, n'est pas seulement une obsession de statisticiens ou d'administrateurs de la recherche et de la technologie. Il est motivé, en effet, dans chaque pays, par la volonté des autorités politiques et administratives et des responsables d'entreprises d'avoir des bases de choix de stratégies. Les contraintes budgétaires de ces dernières années, les nécessités de réorienter des programmes pour tenir compte de priorités nouvelles ont conforté cette volonté.

Il faut reconnaître d'ailleurs que si la notion de développement est à peu près claire lorsqu'elle se réfère à des activités industrielles, elle est par contre plus floue lorsqu'il s'agit d'activités à finalité militaire (la mise au point de nouvelles armes). Les ministères de la défense des grands pays industriels (États-Unis, France, Royaume-Uni, Russie, etc.) classent en effet dans cette rubrique des travaux d'essais de prototypes (ceux d'avions militaires, par

exemple) qui, en général, sont coûteux. Il faudra donc être prudent dans l'analyse des stratégies nationales de R-D, car il faut tenir compte pour certains pays de l'élargissement du concept de développement pour certains travaux à finalité militaire.

De même, la dichotomie recherche fondamentale/recherche appliquée n'est-elle pas toujours pertinente au plan de la pratique scientifique comme au plan budgétaire. Les recherches pour comprendre le rôle du gaz carbonique ou de certaines substances chimiques dans l'effet de serre, par exemple, sont-elles fondamentales ou appliquées ? La distinction est parfois spéieuse, il faut bien le reconnaître. Dans certains pays, industrialisés ou en développement, où le secteur public de la recherche est très important, on est conduit à discerner au sein des dépenses publiques de recherche-développement, d'une part celles affectées à la recherche fondamentale (ou de base) et, d'autre part, celles qui concernent des programmes de recherche d'intérêt collectif.

Dans des domaines comme la santé publique, l'environnement, l'énergie, les télécommunications et les transports, des organismes de recherche publics exécutent des recherches de base et appliquées qui sont en relation directe avec des missions publiques au sens large du terme : améliorer la santé de nos concitoyens, comprendre les évolutions de notre environnement, etc. Une partie très notable de leurs travaux étant donc « finalisée », nous pouvons considérer qu'il s'agit d'une recherche « finalisée » qui vise à répondre à une demande sociale. Dans la terminologie anglo-saxonne de la R-D, cette recherche est qualifiée de *mission oriented*. C'est, en quelque sorte, une activité à la frontière de la recherche fondamentale et de la recherche appliquée. On peut classer dans cette catégorie une grande partie des travaux dans les sciences biomédicales (par exemple, ceux sur le virus du sida, les maladies tropicales, l'épidémiologie, etc.), dans le domaine de l'environnement, de la maîtrise de l'énergie, dans les sciences de l'ingénieur, les recherches technologiques de base en informatique et en robotique, etc. Ces travaux sont menés au sein d'instituts, conseils, agences de recherche de statut public en liaison avec les administrations ou de grands

services publics et donc avec les politiques publiques d'intérêt national.

LES INDICATEURS

Les indicateurs de la science et de la technologie sont des mesures quantitatives des paramètres qui définissent l'état et la dynamique du système de la recherche et de la technologie. Les utilisations possibles des indicateurs sont très diversifiées : panorama national pour les responsables de la politique scientifique ou le pouvoir législatif, analyses stratégiques pour des décisions relevant d'une institution de recherche, veille scientifique et technologique, évaluation de grands programmes, etc. C'est ainsi que, de plus en plus, les responsables dans les domaines de la science et de la technologie sont confrontés à des décisions et à des choix qui doivent s'appuyer sur de tels indicateurs.

Ceux utilisés dans ce panorama mondial doivent permettre les comparaisons internationales ou interrégionales et sont de trois types :

Ressources consacrées aux activités de S et T

La mesure de ces ressources est réalisée au niveau de chaque pays par des enquêtes nationales sur les dépenses de R-D et les personnels scientifiques.

Mesure de la production scientifique par les publications

L'activité scientifique est mesurée essentiellement par la production de publications scientifiques (« bibliométrie science »), quoique, comme on l'a vu, elle génère également d'autres productions, par exemple la formation supérieure ou l'expertise. L'indicateur se focalise ici sur un aspect particulier de la recherche scientifique.

Les indicateurs correspondants ont été calculés à partir de la base de données du *Science Citation Index* (SCI) et de *Compumath* établis par l'Institute for Scientific Information (ISI) basé à Philadelphie. Les 3 500 journaux scientifiques dont les publications sont répertoriées dans la base sont regroupés en huit disciplines, définies à partir des journaux dans lesquels les publications sont faites.

Mesure de la production technologique par les brevets

L'activité technologique est mesurée par la production de brevets (« bibliométrie brevet »), qui témoigne de l'activité inventive et de la création dans le domaine de la technologie à finalité industrielle.

Ces indicateurs ont été largement développés et définis dans le premier *Rapport mondial sur la science*. Malgré leur imperfection, ce sont les seuls moyens à notre disposition pour mesurer et comparer les activités de S et T dans le monde.

Quelques-unes de leurs limites sont présentées ci-dessous :

- Pour les *indicateurs de ressources*, les difficultés tiennent, d'une part, à la définition de l'activité de recherche et à celle du chercheur, qui peuvent être variables d'un pays à l'autre, et, d'autre part, à l'inexistence de taux de change « en parité de pouvoir d'achat » pour la plupart des pays hors OCDE, ce qui oblige à prendre des taux de change simples. Notons, enfin, que les indicateurs de ressources ne permettent guère de distinguer entre les disciplines scientifiques ou technologiques.
- Pour les *indicateurs de production scientifique* (publications), la critique consiste à s'interroger sur la représentativité des journaux scientifiques sélectionnés dans la base de données choisie, ici le SCI. Malgré les critères solides utilisés pour la sélection des journaux scientifiques dans cette base (la notoriété, mesurée par l'indice de citation moyen reçu par les publications de chaque journal), il est clair que les journaux des pays développés publiés en anglais sont surreprésentés.

Cette question fait l'objet de nombreux débats et articles et soulève un réel problème pour la diffusion des activités de recherche menées dans les pays en développement. En effet, les chercheurs de ces pays doivent faire face au dilemme suivant : publier les résultats de leurs recherches dans des revues nationales, qui ne sont ni diffusées mondialement, ni indexées dans les principales bases de données, ou bien essayer de publier dans des revues prestigieuses de portée internationale, privant ainsi les revues nationales de leur contribution. De même, les éditeurs des

revues nationales se plaignent de la difficulté d'être acceptés dans les bases de données internationales. Ces problèmes sont examinés par nombre d'organisations internationales, en coopération avec des organismes nationaux, afin de trouver une solution pour favoriser la diffusion des résultats de la recherche menée dans les pays en développement, améliorer la qualité des revues nationales et créer des bases de données régionales.

- Pour les *indicateurs de production technologique* mesurée par les brevets, la critique ne porte pas sur les bases de données (elles sont exhaustives et exactes), mais sur l'interprétation qu'on peut faire des indicateurs. Une première source d'erreur possible découle du fait que les entreprises peuvent avoir des stratégies différentes en ce qui concerne les dépôts de brevets, ce qui entraîne, pour une capacité identique, un nombre de brevets différent. Toutefois, les chiffres actuels sont le reflet de l'évaluation de tous les brevets et de toutes les entreprises, ce qui tend à compenser ces différences minimes. Une seconde source possible d'erreurs se rattache au fait que les entreprises d'un pays donné ont tendance à y déposer davantage de brevets, étant donné qu'elles sont étroitement liées au marché intérieur. Pour faire face à ce problème, les indicateurs sont basés sur les brevets provenant des deux principaux marchés ouverts, à savoir les États-Unis et l'Europe. Néanmoins, les pays qui ne se fixent pas pour objectif d'exporter vers les États-Unis ou l'Europe auront toujours tendance à être sous-représentés.

Il est important de considérer que chaque indicateur ne représente (et encore imparfaitement) qu'une facette de la réalité : les indicateurs de ressources ne disent rien sur les résultats ; les indicateurs de publications scientifiques ne disent rien sur les activités de formation ou d'expertise ; les indicateurs de brevets ne disent rien sur les domaines technologiques où l'on ne dépose pas de brevet ni sur l'utilisation du brevet pour l'innovation. Ainsi, ce qui a un sens, c'est un ensemble d'indicateurs, puisque à l'évidence il ne saurait exister de mesure unique d'un système complexe.

Malgré toutes leurs limites, les indicateurs actuels don-

TABLEAU 1
PRODUIT INTÉRIEUR BRUT (PIB), DÉPENSE INTÉRIEURE BRUTE DE R-D (DIRD) ET RATIO DIRD/PIB
DANS DIFFÉRENTES PARTIES DU MONDE, 1992

	PIB ¹	DIRD ^{1, 2}	DIRD/PIB (%)
Union européenne ^{3, 6}	6 079	117,67	1,9
Association européenne de libre-échange ^{3, 7}	233	5,47	2,3
Pays d'Europe centrale et orientale ^{4, 8}	188	2,89	1,5
Israël ⁴	64	1,24	1,9
Communauté des États indépendants ^{4, 9}	496	4,13	0,9
États-Unis d'Amérique ³	5 953	167,01	2,8
Canada ³	537	8,13	1,5
Amérique latine ⁵	1 063	3,93	0,4
Afrique du Nord ⁵	160	0,72	0,4
Moyen et Proche-Orient ^{5, 10}	598	3,11	0,5
Afrique subsaharienne ⁵	245	1,09	0,4
Japon ³	2 437	68,31	2,8
Nouveaux pays industrialisés d'Asie ^{4, 11}	824	10,73	1,3
Chine ⁴	3 155	22,24	0,7
Inde ⁴	940	7,10	0,8
Autres pays d'Extrême-Orient ⁵	982	0,69	0,1
Australie/Nouvelle-Zélande ³	341	4,12	1,2
Total mondial	24 295	428,58	1,8

Note : Pour les pays ne faisant pas partie de l'OCDE, la correspondance entre devises nationales et dollar américain ainsi que la définition de ce qui appartient aux « activités de R-D » soulèvent de nombreux problèmes. Les chiffres proposés ne peuvent être considérés que comme donnant un ordre de grandeur. Les estimations récentes de DIRD faites par l'Université de Cambridge et publiées dans le *Rapport européen sur les indicateurs des S et T* font état, pour la Chine et l'Inde, de chiffres beaucoup plus élevés que ceux donnés antérieurement, en raison de la valeur du taux de change de la parité de pouvoir d'achat ; l'inverse se vérifie également pour les pays de la Communauté des États indépendants.

1. L'unité monétaire est le milliard de dollars des États-Unis courant calculé en « parité de pouvoir d'achat » (ppa) sauf pour les pays renvoyant à la note 5.
2. La dépense intérieure brute de R-D (DIRD) est la dépense d'exécution de R-D effectuée sur le territoire national, toutes sources de financements (y compris ceux venant de l'étranger) confondues.
3. Données OCDE.
4. Données *Rapport européen sur les indicateurs des S et T*, Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg.
5. Valeurs en milliard de dollars des États-Unis calculées d'après le taux de change des devises nationales ; données UNESCO et estimations de l'Observatoire des sciences et des techniques (OST).
6. Union européenne : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni et Suède.
7. Association européenne de libre-échange : Islande, Liechtenstein, Norvège et Suisse.
8. Pays d'Europe centrale et orientale, comprenant les États baltes (Estonie, Lettonie et Lituanie) mais excluant l'ex-Yougoslavie.
9. Communauté des États indépendants, comprenant les républiques de l'ex-URSS sauf les États baltes.
10. De la Turquie au Pakistan.
11. Nouveaux pays (ou économies) industrialisés d'Asie (République de Corée, Malaisie, Hong Kong, Singapour et Taiwan).

Source : OCDE, pour les pays de l'OCDE ; *Rapport européen sur les indicateurs des S et T*, pour les autres pays pour lesquels le PIB et la DIRD sont présentés au taux de parité de pouvoir d'achat ; UNESCO, pour les pays pour lesquels le PIB et la DIRD sont présentés au taux de change des devises nationales. Pour les données incomplètes les évaluations et prévisions sont faites par l'OST.

ment néanmoins des ordres de grandeur corrects des paramètres mesurés et, considérés dans leur ensemble, offrent une représentation assez fiable de la réalité.

RESSOURCES FINANCIÈRES ET HUMAINES

L'examen des dépenses intérieures brutes imputables aux activités de R-D (DIRD) dans les différentes parties du monde (tableau 1) met en évidence le rôle prédominant joué par les pays membres de l'OCDE qui, à eux seuls, réalisent environ 85 % du total des dépenses mondiales pour la science et la technologie. Il est important de noter que, en raison des développements économiques récents et d'une réévaluation des taux de change, la Chine, l'Inde et les nouveaux pays industrialisés représentent presque 10 % de la R-D mondiale. Si l'on y ajoute le Japon, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et les autres pays d'Extrême-Orient, ce chiffre dépasse alors 26 %.

Lorsque les activités de DIRD sont rapportées au produit intérieur brut (PIB) — pour lequel les pays de l'OCDE représentent seulement 62 % — on peut déceler un autre trait marquant : à savoir qu'elles forment un ensemble plus compact que les activités économiques en général. Pour être plus précis, les États-Unis et le Japon ont le rapport DIRD/PIB le plus élevé, puisqu'il représente 2,8 %, alors que pour l'Europe (l'Union européenne et les pays de l'Association européenne de libre-échange — AEE — pris ensemble) et Israël le ratio est d'environ 2 %. Le Canada, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, les pays d'Europe centrale et d'Europe orientale ainsi que les nouveaux pays industrialisés occupent une position intermédiaire avec des ratios se situant entre 1,2 % et 1,5 %.

L'Inde, la Chine et les pays de la Communauté des États indépendants (CEI) ont un ratio DIRD/PIB proche de 1 %, tandis que dans les autres régions du monde ce ratio est en dessous de 0,5 %, bien qu'au sein de ces régions il existe des exceptions importantes (ainsi pour l'Afrique du Sud, le Brésil et l'Argentine, les ratios dépassent de beaucoup la moyenne des régions).

L'étude de la répartition du personnel de R-D dans le monde (tableau 2) fait ressortir une situation différente,

TABLEAU 2
SCIENTIFIQUES ET INGÉNIEURS DE R-D ET RATIO À LA POPULATION DANS DIFFÉRENTES PARTIES DU MONDE, 1992

	Scientifiques et ingénieurs de R-D (milliers)	Population (millions)	Scientifiques par milliers d'habitants
Union européenne*	740,9	369,0	2,0
Association européenne de libre-échange	32,6	11,9	2,7
Pays d'Europe centrale et orientale	285,5	131,0	2,2
Israël	20,1	5,4	3,8
Communauté des États indépendants	452,8	283,0	1,6
États-Unis d'Amérique	949,3	257,5	3,7
Canada	64,6	27,8	2,3
Amérique latine	158,5	464,6	0,3
Afrique du Nord	81,6	219,7	0,4
Moyen et Proche-Orient	117,4	465,9	0,3
Afrique subsaharienne	176,8	482,6	0,4
Japon	511,4	124,8	4,1
Nouveaux pays industrialisés d'Asie	136,7	92,5	1,5
Chine	391,1	1 205,0	0,3
Inde	106,0	887,7	0,1
Autres pays d'Extrême-Orient	60,3	513,5	0,1
Australie/Nouvelle-Zélande	48,5	21,2	2,3
Total mondial	4 334,1	5 563,1	0,8

* Voir le tableau 1 pour les définitions, les sources et les notes.

Note : Les chiffres pour la Chine et l'Inde sont nettement sous-estimés et ne correspondent pas aux valeurs de DIRD données dans le tableau 1.

Source : Données OCDE ; *Rapport européen sur les indicateurs des S et T* ; UNESCO ; estimations et traitements OST (OST, 1995).

dans laquelle les pays de l'OCDE représentent seulement la moitié des scientifiques et ingénieurs du monde et où les pays d'Asie, de l'Inde au Japon, occupent presque un tiers du total mondial. L'Afrique représente 6 %, l'Amérique latine 4 %, et les pays du Moyen et du Proche-Orient 3 %.

TABEAU 3
LA PRODUCTION SCIENTIFIQUE MESURÉE
PAR LES PUBLICATIONS, 1993

	Part mondiale 1993 (%)	Part 1993 (en base 100 pour 1982)
Union européenne*	31,5	107
Association européenne de libre-échange	1,7	100
Pays d'Europe centrale et orientale	2,3	87
Israël	1,0	90
Communauté des États indépendants	4,8	56
États-Unis d'Amérique	35,3	96
Canada	4,5	108
Amérique latine	1,5	127
Afrique du Nord	0,4	111
Moyen et Proche-Orient	0,6	186
Afrique subsaharienne	0,8	89
Japon	8,1	119
Nouveaux pays industrialisés d'Asie	1,4	412
Chine	1,2	347
Inde	2,1	83
Autres pays d'Extrême-Orient	0,1	113
Australie/Nouvelle-Zélande	2,7	94
Total mondial	100,0	100

* Voir le tableau 1 pour les définitions.

Note : La production scientifique est mesurée ici par le nombre des publications scientifiques (c'est-à-dire d'articles) paraissant dans les revues citées dans le *Science Citation Index (SCI)* et *Compumath*, bases de données établies par l'Institute for Scientific Information (ISI) de Philadelphie.

Les sciences humaines et sociales ne sont pas comptabilisées ici, car leur modèle de publication n'est pas internationalisé et ne permet pas d'établir des comparaisons significatives entre pays.

Source : Données ISI (*SCI*, *Compumath*) ; traitements OST (OST, 1995).

L'examen des chiffres par rapport à la population totale fait apparaître une nette différence entre pays développés (avec un ratio égal ou supérieur à 2 pour mille, le Japon atteignant un pic de 4,1) et pays en développement (avec un ratio oscillant entre 0,1 et 0,4 pour mille). Les pays de la Communauté des États indépendants et les pays nouvellement industrialisés se trouvent dans une position intermédiaire avec respectivement 1,6 et 1,5 pour mille.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Les chiffres de la production scientifique pour les différentes régions du monde, tels qu'ils sont mesurés par le taux de publication (tableau 3), montrent la prépondérance de l'Amérique du Nord, avec environ la moitié de la part mondiale, et de l'Europe (Union européenne, AELE et pays de l'Europe centrale et orientale réunis), avec un peu plus d'un tiers. Les pays de l'OCDE comptent pour quasiment 85 %, proportion équivalente à celle de leurs dépenses de R-D. Les pays d'Asie, de l'Inde au Japon (y compris l'Australie et la Nouvelle-Zélande) comptent seulement pour 15,6 % du total mondial, pourcentage nettement inférieur à leur part de dépenses en recherche.

L'analyse du total des publications scientifiques dans le monde au cours des dix dernières années fait ressortir un contraste frappant entre la forte diminution des pays de la Communauté des États indépendants — avec une réduction de presque la moitié — et l'augmentation considérable de la part des nouveaux pays industrialisés et de la Chine — avec des augmentations respectives de 4,1 % et 3,5 %.

L'Amérique latine, l'Afrique du Nord, le Moyen-Orient, le Proche-Orient et d'autres pays d'Extrême-Orient sont des régions en développement qui ont augmenté leur part de production scientifique. Parmi les pays industrialisés, ce sont les membres de l'Union européenne, le Canada et — plus encore — le Japon qui ont augmenté leur part.

Les différentes régions du monde ont des domaines de spécialisation (ou points forts) scientifique : en d'autres termes, des disciplines pour lesquelles elles détiennent une part mondiale plus élevée que leur part globale de publications scientifiques. De même, dans certaines disciplines, elles présentent une faiblesse relative (tableau 4).

L'Europe présente un profil relativement équilibré, avec néanmoins des points forts en médecine clinique et une faiblesse relative dans les sciences de l'ingénieur. L'Amérique du Nord présente un profil quelque peu différent, avec comme domaines forts la recherche biomédicale, les sciences de l'univers et les sciences de l'ingénieur, le point faible étant la chimie. L'Asie industrielle, elle, offre un

TABEAU 4
LA PRODUCTION SCIENTIFIQUE PAR DISCIPLINE MESURÉE D'APRÈS LES PUBLICATIONS, 1993

Disciplines scientifiques	Europe ¹	Amérique CEI	Amérique du Nord	Amérique latine	Monde musulman ²	Afrique sub-saharienne	Asie industrielle ³	Autres pays d'Extrême-Orient ⁴	Australie/Nouvelle-Zélande
Médecine clinique	41,0	1,4	41,4	1,3	0,9	1,2	8,1	1,6	3,2
Recherche biomédicale	36,8	2,9	44,9	1,3	0,4	0,5	9,5	1,4	2,3
Biologie	31,5	2,2	43,6	2,5	1,2	2,1	7,6	3,3	6,0
Chimie	36,9	9,9	27,9	1,3	1,7	0,5	14,0	6,1	1,7
Physique	34,4	10,7	32,8	1,9	0,8	0,3	11,7	6,1	1,3
Sciences de l'univers	32,7	5,7	45,5	2,1	1,1	1,2	4,1	3,5	4,1
Sciences de l'ingénieur	29,6	4,3	44,0	0,9	1,6	0,4	12,6	4,8	1,8
Mathématiques	38,0	4,8	39,7	1,6	1,2	0,6	6,3	5,6	2,3
Total	36,5	4,8	39,8	1,5	1,0	0,8	9,5	3,4	2,7

Note : Dans ce tableau, nous avons regroupé certaines régions, de manière à présenter des chiffres par « continents ». Voir le tableau 1 pour les définitions.

1. Union européenne, Association européenne de libre-échange et pays d'Europe centrale et orientale.

2. Afrique du Nord et pays du Proche et Moyen-Orient.

3. Japon et nouveaux pays industrialisés.

4. Inde, Chine et autres.

Source : Données ISI (*SCI, Compumath*) ; traitements OST (OST, 1995).

schéma complètement différent, avec pour points forts la chimie, la physique et les sciences de l'ingénieur, alors que les sciences de la vie sont juste en dessous de la moyenne et que les mathématiques et les sciences de l'univers sont très en dessous.

Les pays de la Communauté des États indépendants semblent très faibles dans les sciences de la vie, mais forts en physique, chimie, sciences de l'univers.

Les continents moins développés tendent à être spécialisés dans les sciences de l'univers ainsi qu'en biologie et présentent une faiblesse relative en recherche biomédicale.

Le monde musulman et les pays d'Extrême-Orient, le Japon et les nouveaux pays industrialisés exceptés, ont une préférence pour la chimie, les sciences de l'ingénieur et les mathématiques, alors que l'Amérique latine accorde plus d'importance à la physique.

PRODUCTION TECHNOLOGIQUE

Le volume des brevets déposés dans un pays permet de mesurer la capacité technologique de ce même pays.

Comme le montrent les chiffres des dépôts de brevets en Europe (tableau 5), l'Europe (avec 50 % du total mondial), les États-Unis (27 %) et le Japon (21 %) se partagent l'essentiel des capacités technologiques. Aucun autre pays ne dépasse 1 %. En termes d'évolution on remarque que les pays de l'Union européenne ont perdu 9 % de leur part en six ans (indice 91), tandis que les États-Unis ont gagné 3 % et le Japon 29 %. Les nouveaux pays industrialisés ont multiplié leur part par 2,4.

Si l'on examine les dépôts de brevets aux États-Unis la situation apparaît différente à certains égards : en effet, les États-Unis comptent pour 48,7 % alors que l'Union euro-

TABLEAU 5
ÉVALUATION DE LA PRODUCTION TECHNOLOGIQUE À L'AIDE DES DÉPÔTS DE BREVETS EN EUROPE ET AUX ÉTATS-UNIS, 1993

	Brevet européen		Brevet américain	
	Part mondiale 1993 (%)	En base 100 pour 1987	Part mondiale 1993 (%)	En base 100 pour 1987
Union européenne*	45,4	91	18,6	76
Association européenne de libre-échange	3,2	86	1,5	73
Pays d'Europe centrale et orientale	0,2	58	0,1	41
Israël	0,4	124	0,4	114
Communauté des États indépendants	0,2	174	0,1	54
États-Unis d'Amérique	27,3	103	48,7	105
Canada	0,8	82	2,3	102
Amérique latine	0,1	120	0,2	123
Afrique du Nord	0,0	ns	0,0	ns
Moyen et Proche-Orient	0,0	ns	0,0	ns
Afrique subsaharienne	0,1	68	0,1	73
Japon	20,9	129	25,0	111
Nouveaux pays industrialisés d'Asie	0,5	241	1,3	189
Chine	0,0	ns	0,1	153
Inde	0,0	ns	0,0	ns
Autres pays d'Extrême-Orient	0,0	ns	0,0	ns
Australie/Nouvelle-Zélande	0,6	59	0,5	79
Total mondial	100,0	100	100,0	100

* Voir le tableau 1 pour les définitions.

Note : Ici, les brevets européens font référence à des brevets provenant du « système européen » des dépôts : il s'agit d'une procédure par laquelle un brevet peut être accordé simultanément par plusieurs pays européens ; les brevets américains, eux, font référence à des brevets provenant du système des dépôts américain.

ns : Chiffre non significatif.

Source : Données INPI (Institut français de la propriété industrielle)/EPO (Office européen des brevets) et USPTO (Office américain des brevets), traitements OST et CHI-Research (OST, 1995).

peenne et le Japon représentent respectivement 18,6 % et 25 %, ce qui prouve que le Japon est plus fort aux États-Unis qu'en Europe. De surcroît, la position du Japon s'accroît régulièrement (11 % de sa part en six ans), alors que celle des États-Unis s'accroît faiblement (pour la même période, une croissance de 5 %) ; les pays de l'Union européenne sont en nette régression (24 %). La part des nouveaux pays industrialisés, qui représente quasiment 1,3 %,

est un trait marquant de la situation des dépôts de brevets aux États-Unis. Cette part, qui représente 55 % de celle du Canada, 5 % de celle du Japon et 7 % de celle des pays de l'Union européenne, s'est multipliée par environ 2 au cours des six années en question.

En divisant les parts mondiales par le PIB des régions, il est possible de comparer la production scientifique et technologique, tout en éliminant les effets secondaires créés

par leurs économies respectives (tableau 6). Du point de vue de la production scientifique, les pays ou régions les plus orientés vers la science sont alors Israël, les pays d'Europe centrale et orientale, les pays de la Communauté des États indépendants, le Canada, l'Australie et la Nouvelle-Zélande (2 à 4 fois l'indice moyen). L'Europe (entendons l'Union européenne et l'AELE) et les États-Unis se placent environ à 50 % au-dessus de la moyenne. Le Japon, dans ce secteur, occupe un rang modeste (19 % au-dessous de la moyenne).

D'autre part, lorsque l'on examine le contenu technologique des économies, la performance du Japon est frappante : elle dépasse de deux fois la moyenne des brevets européens et de 2,5 fois celle des brevets américains, ce qui donne un indice supérieur à celui des Européens en Europe (208 contre 181 pour l'Europe) ou à celui des Américains aux États-Unis (indice 251 contre 200 pour les États-Unis). Les performances des pays de l'AELE (essentiellement Suisse et Norvège) et d'Israël sont également remarquables.

Les États-Unis sont en position relativement forte par rapport aux brevets américains (indice 200) et européens (indice 112), alors que l'Europe est forte sur son propre marché (indice 181), mais en position faible par rapport aux exportations à l'étranger (indice 73 dans les dépôts américains).

Il faut remarquer l'indice des nouveaux pays industrialisés, qui atteint plus de la moitié du niveau des pays de l'Union européenne dans les dépôts américains (indice 38 contre 73).

COMPARAISON ENTRE L'EUROPE, LES ÉTATS-UNIS ET LE JAPON

Le financement de la R-D dans les trois régions de la triade vient de sources très différentes (tableau 7). En Europe, la dépense financée par l'État à titre civil est de 38 %, alors qu'aux États-Unis elle n'est que de 17 %. Par contre, aux États-Unis, 24 % des fonds proviennent de la R-D militaire (qui au Japon ne représente que 1,4 %) ; enfin au Japon, le secteur des entreprises contribue pour 76 % à la R-D contre 53 % en Europe.

La structure de l'exécution de la R-D présente davantage de similarités. Entre 13 % et 18 % de la R-D s'effectuent dans des établissements publics de recherche, entre 13 % et 19 % dans les universités et entre 63 % et 74 % dans les entreprises.

TABLEAU 6
INDICE DE LA PRODUCTION DE S ET T
PAR RAPPORT AU PIB, 1993

	Indice publications/ PIB	Indice brevet européen/ PIB	Indice brevet américain/ PIB
Union européenne*	126	181	73
Association européenne de libre-échange	176	330	157
Pays d'Europe centrale et orientale	295	32	16
Israël	376	140	146
Communauté des États indépendants	235	10	4
États-Unis d'Amérique	144	112	200
Canada	202	37	103
Amérique latine	33	3	4
Afrique du Nord	59	ns	ns
Moyen et Proche-Orient	25	ns	ns
Afrique subsaharienne	83	13	11
Japon	81	208	251
Nouveaux pays industrialisés d'Asie	42	15	38
Chine	9	ns	ns
Inde	54	ns	ns
Autres pays d'Extrême-Orient	3	ns	ns
Australie/Nouvelle-Zélande	191	44	38
Total mondial	100	100	100

* Voir tableau 1 pour les définitions.

Note : Les parts des publications scientifiques mondiales et celles des brevets européens et américains ont été divisées par le PIB des régions en question ; la valeur mondiale de l'indice (valeur moyenne) a été rapportée à la base 100 pour faciliter la lecture.

ns : Chiffre non significatif.

Source : Données ISI (*SCI* et *Compumath*) ; INPI/EPO et USPTO ; traitements OST et CHI-Research (OST, 1995).

TABEAU 7
STRUCTURES COMPARÉES DU FINANCEMENT ET DE L'EXÉCUTION DE LA R-D DANS LA TRIADE, 1992 (%)

	Union européenne	États-Unis	Japon	Total
Financement DIRD				
Public (civil)	37,8	16,9	22,5	25,7
Public (militaire)	9,4	24,0	1,4	11,6
Entreprises	52,8	59,1	76,1	62,7
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
Exécution DIRD				
Institutions publiques	18,1	14,5	12,9	15,2
Universités	18,9	12,9	13,6	15,1
Entreprises	63,0	72,6	73,5	69,7
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Source : Données OCDE ; traitements OST (OST, 1995).

TABEAU 8
ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION TECHNOLOGIQUE
DANS LES PAYS DE LA TRIADE MESURÉE
PAR LES DÉPÔTS DE BREVETS EUROPÉENS
ET AMÉRICAINS, 1987-1993 (%)

	Brevet européen		Brevet américain	
	1987	1993	1987	1993
Union européenne	49,9	45,4	24,4	18,6
États-Unis d'Amérique	26,6	27,3	46,3	48,7
Japon	16,2	20,9	22,5	25,0

Source : Données INPI/EPO et USPTO ; traitements OST et CHI-Research (OST, 1995).

En Europe, les pays de l'Union européenne ont toujours une assez forte capacité technologique, bien qu'ayant perdu 4,5 points en six ans, les États-Unis se trouvent à peu près au même niveau alors qu'au cours de la même période le Japon a gagné 4,7 points (tableau 8).

La part des États-Unis dans les brevets américains a augmenté de 2,4 points en six ans, atteignant 48,7 %, et les pays de l'Union européenne ont perdu 5,8 points. Pendant ce temps, le Japon, lui, a gagné 2,5 points, atteignant maintenant 25 %, ce qui représente environ 50 % de la part des Américains.

En Europe, les trois régions de la triade atteignent une part pratiquement équivalente dans le domaine de l'électronique-électricité ; les États-Unis sont aussi en position de force dans l'instrumentation optique et dans la chimie-pharmacie, où ils sont proches des Européens (tableau 9). Les Européens sont forts dans la plupart des domaines, mais ils perdent du terrain dans l'électronique-électricité (- 17 % en six ans) et l'instrumentation optique (- 16 %). Les Japonais progressent sensiblement dans tous les domaines, y compris les biens de consommation, à l'exception de la chimie-pharmacie. Les États-Unis restent stables.

Aux États-Unis, le Japon a plus de 75 % du nombre de brevets américains que les Américains eux-mêmes dans le domaine de l'électronique-électricité (35,4 % contre 46,7 %), et une excellente performance dans le domaine

de l'instrumentation optique. Dans ces domaines les pays de l'Union européenne sont extrêmement faibles, mais ils ont une meilleure position en chimie-pharmacie, en mécanique et en transports, où ils devancent le Japon ; dans le dernier domaine ils dépassent les Américains de 50 % (23,6 % contre 45,4 %).

Au cours des six dernières années, la part mondiale des États-Unis a augmenté dans tous les domaines excepté en électronique-électricité où elle a diminué de 2 %. Dans les mêmes secteurs, les pays de l'Union européenne ont

perdu 36 % de leur part déjà modeste ; dans tous les autres secteurs ils ont perdu 10 % ou plus. Le Japon a gagné du terrain de manière homogène dans tous les secteurs, sauf dans l'électronique-électricité où il a progressé de 17 % en six ans.

LA MOBILITÉ INTERNATIONALE DES ÉTUDIANTS

Plus de 1,3 million d'étudiants effectuent leurs études ou une partie de leurs études dans un pays étranger

TABEAU 9
POSITION DES PAYS DE LA TRIADE PAR DOMAINE TECHNOLOGIQUE, 1993

	Parts mondiales des brevets européens					
	1993 (%)			1993 (en base 100 pour 1987)		
	Union européenne	États-Unis	Japon	Union européenne	États-Unis	Japon
Électronique-électricité	34,2	30,0	31,8	83	101	129
Instrumentation optique	37,8	32,4	23,4	84	106	136
Chimie-pharmacie	40,3	33,7	20,0	95	103	107
Procédés industriels	50,1	25,6	16,6	95	100	125
Mécanique-Transport	58,5	19,2	15,5	96	100	134
Biens de consommation	64,0	16,9	8,0	99	98	142
Total	45,4	27,3	20,9	91	103	129

	Parts mondiales des brevets américains					
	1993 (%)			1993 (en base 100 pour 1987)		
	Union européenne	États-Unis	Japon	Union européenne	États-Unis	Japon
Électronique-électricité	11,5	46,7	35,4	64	98	117
Instrumentation optique	14,9	50,8	28,0	74	111	100
Chimie-pharmacie	23,2	51,0	19,7	90	103	108
Procédés industriels	22,3	50,5	19,3	79	106	115
Mécanique-Transport	23,6	45,4	22,5	80	110	102
Biens de consommation	19,1	51,0	12,5	76	103	106
Total	18,6	48,7	25,0	76	105	111

Source : Données INPI/EPO (EPAT) ; USPTO ; traitements OST et CHI-Research (OST, 1995).

TABLEAU 10
MOBILITÉ INTERNATIONALE DES ÉTUDIANTS, 1992

	Nombre total d'étudiants	Étudiants expatriés	Taux d'expatriation (%)
Union européenne ^{1,*}	10 740 000	232 000	2,2
Association européenne de libre-échange*	326 000	18 000	5,5
Pays d'Europe centrale et orientale*	1 639 000	42 000	2,6
Israël	149 000	23 000	15,6
Communauté des États indépendants	5 283 000	122 000	2,3
États-Unis d'Amérique	14 556 000	25 000	0,2
Canada	2 001 000	26 000	1,3
Amérique latine*	7 715 000	73 000	1,0
Afrique du Nord*	1 834 000	90 000	4,9
Moyen et Proche-Orient*	3 407 000	153 000	4,5
Afrique subsaharienne*	1 393 000	84 000	6,0
Japon	2 918 000	55 000	1,9
Nouveaux pays industrialisés d'Asie*	2 581 000	132 000	5,1
Chine	2 302 000	129 000	5,6
Inde	4 936 000	43 000	0,9
Autres pays d'Extrême-Orient*	5 918 000	60 000	1,0
Australie/Nouvelle-Zélande*	711 000	15 000	2,1
Non spécifié		32 000	
Total mondial	68 408 000	1 354 000	2,0

* Mobilité intrazone incluse.

1. Voir le tableau 1 pour les définitions.

Source : Données UNESCO ; traitements OST (OST, 1995).

TABLEAU 11
LES DOUZE PAYS ACCUEILLANT LE PLUS GRAND NOMBRE
D'ÉTUDIANTS ÉTRANGERS, 1992

	Étudiants étrangers dans le pays	Répartition par pays	Taux d'accueil* (%)
États-Unis d'Amérique	439 000	32,4	3,0
France	138 000	10,2	7,0
Communauté des États indépendants	134 000	9,9	2,5
Allemagne	117 000	8,6	4,7
Royaume-Uni	88 000	6,5	6,3
Japon	45 000	3,3	1,5
Australie	39 000	2,9	7,0
Canada	37 000	2,8	1,9
Belgique	27 000	2,0	9,8
Suisse	25 000	1,9	16,8
Autriche	22 000	1,6	9,7
Italie	21 000	1,5	1,3
Total 12 premiers pays	1 132 000	83,6	
Total mondial	1 354 000	100,0	2,0

* Taux d'étudiants étrangers par rapport au nombre total d'étudiants de chaque pays.

Source : Données UNESCO ; traitements OST (OST, 1995).

(tableau 10). Ces étudiants viennent de l'Union européenne, des pays de la Communauté des États indépendants, des pays du Moyen et du Proche-Orient, des nouveaux pays industrialisés et de la Chine.

Les plus grands taux d'expatriation concernent Israël, les pays du Moyen et du Proche-Orient, les pays d'Afrique, les nouveaux pays industrialisés et la Chine. Les étudiants américains sont les moins mobiles au niveau international.

Les États-Unis accueillent environ 0,4 million d'étudiants étrangers chaque année et l'Europe en accueille 0,5 million, ce qui représente environ 70 % du total mondial ; le Japon n'en accueille que 3,3 % (tableau 11). Dans plusieurs pays européens (Royaume-Uni, France, Belgique et Autriche) la proportion d'étudiants étrangers dépasse 6 %. En Suisse, elle atteint 16,9 %. En Australie, la proportion est aussi relativement élevée.

Pierre Papon est professeur de physique à l'École supérieure de physique et chimie industrielle de Paris et président de l'Observatoire des sciences et des techniques (OST). Il a été auparavant directeur général du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et directeur général de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER).

Rémi Barré a une formation d'ingénieur civil (École des mines) et d'économiste. Il est le directeur de l'Observatoire des sciences et des techniques (OST) depuis sa création en 1990. Il a été auparavant le directeur d'un bureau d'études économiques, a travaillé au Ministère de la recherche et de la technologie en France et a enseigné au Conservatoire national des arts et métiers (CNAM).

L'Amérique du Nord

RODNEY W. NICHOLS ET J. THOMAS RATCHFORD

VUE D'ENSEMBLE

La science et la technologie constituent un secteur qui apparaît globalement en bonne santé sur le continent nord-américain (Canada, États-Unis d'Amérique et Mexique). La communauté scientifique est néanmoins constamment confrontée à des difficultés dues aux restrictions budgétaires mises en œuvre par les pouvoirs publics, les entreprises et les universités. Parallèlement, l'horizon temporel de l'activité technologique tend à se raccourcir sous la pression d'objectifs économiques de plus en plus précis. Ce chapitre présente une analyse des évolutions dans chaque pays, ainsi qu'un aperçu de l'activité régionale et diverses comparaisons interrégionales. Les profils nationaux mettent en lumière une situation paradoxale : on escompte toujours plus des progrès rapides de la recherche alors que le financement de ses activités est de plus en plus limité.

La dépense globale annuelle de recherche-développement (R-D) des trois pays considérés sur la période 1992-1994 s'élève à quelque 180 milliards de dollars des États-Unis. La région compte environ 400 millions d'habitants et génère un produit intérieur brut de 7 000 milliards de dollars. L'Amérique du Nord assure presque 45 % du financement total de la R-D à l'échelle mondiale. Depuis quelques années, les gouvernements comme les entreprises mettent l'accent sur des objectifs de plus en plus précis et à court terme. Tout en admettant la nécessité croissante d'une coopération scientifique internationale, chaque nation est soucieuse d'assurer la compétitivité technologique de ses produits et services sur le marché mondial.

Le regroupement des trois pays considérés en une seule région a quelque chose d'arbitraire eu égard aux différences sensibles qui existent entre eux, notamment sur le plan de la population, de la langue et du niveau de développement économique. Toutefois, l'Accord de libre-échange nord-américain (ALENA) a donné à la région une impulsion nouvelle dans le sens de la cohérence économique et un environnement commercial plus favorable. Les relations régionales dans le domaine de la science et de la technologie, bien qu'encore modestes et en retard par rapport à l'intégration économique, continuent de se déve-

lopper. Elles revêtent la forme d'alliances et d'apports financiers entre sociétés privées, d'échanges divers entre sociétés professionnelles et institutions universitaires et aussi de consultations et de programmes organisés par les gouvernements.

Évolutions et continuités de l'action gouvernementale

Aux États-Unis, les autorités fédérales ont poursuivi, en 1994, la mise en œuvre de l'initiative présidentielle visant à accélérer la commercialisation de technologies prometteuses par le développement de partenariats entre le gouvernement et les entreprises. Le lancement de nouveaux programmes, destinés, par exemple, à développer une « voiture propre » ou à aider les entreprises travaillant pour la défense à se reconvertir à des activités civiles, illustrent cette nouvelle orientation. Au début de 1995, cependant, avec l'arrivée d'une majorité républicaine au Congrès, d'importantes réévaluations ont été engagées et l'on s'attend à une réduction des crédits gouvernementaux affectés à ces initiatives en faveur de l'industrie.

D'une manière générale, le facteur qui a dominé la politique scientifique du Gouvernement des États-Unis depuis le début des années 90 est une stricte austérité budgétaire, en vertu de laquelle toutes les dépenses publiques de R-D sont soumises à un contrôle extrêmement rigoureux. De ce fait, les universités et les centres de recherche médicale sont contraints de remettre en cause leurs ambitions traditionnelles ainsi que leurs modes de financement et d'organisation. Au Canada et au Mexique, des mesures de rigueur financière comparables font peser sur la recherche des contraintes encore plus lourdes.

La R-D industrielle des États-Unis a elle aussi connu des changements importants. Le montant total de la R-D financée par les entreprises, qui avait augmenté de 140 % dans les deux dernières décennies, cesse de progresser depuis quelques années. Les apports des entreprises à la recherche fondamentale ont changé, un plus grand accent étant mis sur le court terme, alors que la R-D dans le secteur des services enregistre une progression sensible. Nombre de firmes, contraintes d'accélérer le rythme des améliorations

apportées à leurs produits, ont raccourci l'horizon temporel de leurs objectifs de recherche. Au Canada et au Mexique, au moment même où la R-D des entreprises prenait de l'ampleur pour soutenir les objectifs commerciaux de ces pays sur le marché mondial, les difficultés de l'économie nationale ont conduit à une réduction des ressources tant publiques que privées.

Malgré les pressions économiques, la politique scientifique et technologique de la région se caractérise aussi par un certain nombre de continuités, en particulier par les efforts concertés entrepris pour : améliorer l'enseignement des sciences et des mathématiques aux niveaux élémentaire et secondaire, jugé vital pour préparer l'avenir ; privilégier les centres d'excellence en matière de recherche, afin de les prémunir contre des réductions de crédits appliquées uniformément ; et élaborer des critères de performance pour la R-D, qui portent non seulement sur la qualité des travaux mais aussi sur leur contribution à la prospérité économique.

Les voies ouvertes à la recherche

Les scientifiques, ingénieurs et médecins qui participent à la recherche en Amérique du Nord figurent parmi les leaders mondiaux dans la plupart des disciplines. Dans l'espace limité de cette étude, nous nous bornerons à évoquer brièvement, à l'aide de quelques exemples, les immenses possibilités qui s'ouvrent à la recherche contemporaine.

Dans les sciences de la vie, les énormes progrès réalisés dans la compréhension des phénomènes moléculaires en génétique, en immunologie, en virologie et en neurologie continuent de soutenir la mise au point de produits pharmaceutiques et d'appareils médicaux toujours plus performants. Les sciences de la vie non seulement alimentent les progrès de la médecine, mais renforcent les fondements de l'agriculture moderne. Il n'est plus interdit d'espérer que l'on pourra un jour apporter une réponse à des problèmes médicaux aussi redoutables que le sida, la maladie d'Alzheimer, la tuberculose pharmacorésistante, le cancer et les affections cardiaques.

De même, l'approfondissement des travaux sur l'environnement — sans doute le thème de recherche le plus

interdisciplinaire de par la nécessité d'y faire intervenir concurremment les sciences biologiques, physiques, chimiques et humaines — permet d'entrevoir l'influence que le changement climatique peut avoir sur l'avenir de la planète. De nouvelles sciences et techniques liées à l'environnement contribuent à définir des actions économiques prudentes, respectueuses de l'environnement. De plus, la plupart des estimations laissent entrevoir d'excellentes perspectives commerciales pour les technologies environnementales incorporées dans des produits et services nouveaux.

La science et le génie des matériaux — qui comportent aussi bien des aspects transdisciplinaires — réunit des physiciens, des chimistes, des céramistes, des métallurgistes et d'autres chercheurs s'appuyant sur des instruments d'analyse de plus en plus puissants. Ces travaux visent aussi bien à étudier la composition de la matière qu'à rechercher les moyens d'exploiter le progrès des connaissances pour concevoir de nouveaux matériaux et améliorer les techniques de fabrication.

Dans le domaine des sciences de l'information et des télécommunications, on observe de brillantes avancées concernant aussi bien les matériels que les logiciels. Non seulement la performance des matériels continue de doubler tous les deux ans, mais leurs prix diminuent. Les ordinateurs haute performance et les réseaux d'information renforcent l'efficacité des entreprises et des institutions et assurent une communication plus intense et plus efficiente entre personnes collaborant à un même projet. Les techniques modernes de traitement des données permettent d'approfondir, d'amplifier et de rendre plus productifs les travaux menés dans la plupart des filières de la recherche — qu'il s'agisse du cerveau, des océans, du génome humain ou des origines de l'univers.

Cette dernière décennie du xx^e siècle nous fournit quotidiennement l'occasion d'évoquer l'intuition de Pasteur : « La science et l'application de la science sont une seule et même chose ; elles sont liées comme le fruit l'est à l'arbre. » Ce siècle est souvent qualifié d'âge d'or de la science. Pourtant, les résultats et les conséquences des travaux engagés sont souvent imprévisibles. Les scientifiques et les admi-

nistrateurs de la recherche en Amérique du Nord s'épuisent à tenter de résoudre les conflits que posent la définition de programmes qui soient à la fois ouverts aux multiples possibilités de la recherche à long terme et en harmonie avec les objectifs plus étroits dictés par d'urgentes nécessités économiques et sociales. Nombre d'observateurs signalent un risque croissant de sous-investissement qui affaiblirait le réservoir mondial de la science fondamentale, auquel puisent tous les pays pour renouveler leur potentiel de talent et d'innovation.

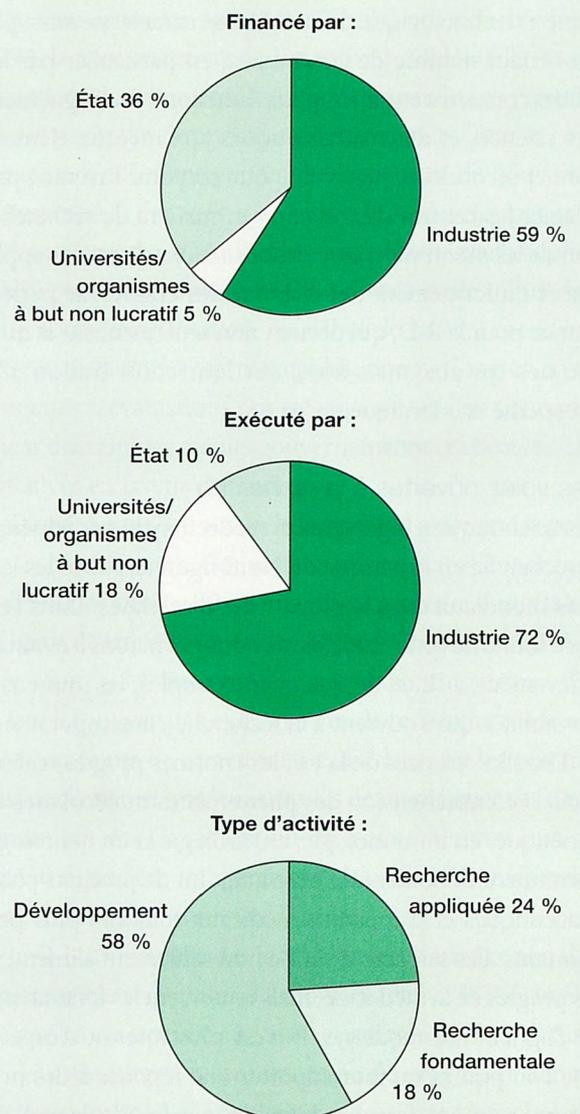
Champ de l'étude

Dans le cours de cette étude, nous nous attacherons spécialement à l'expérience des États-Unis dans trois domaines : la R-D des entreprises, la collaboration universités-entreprises et la R-D militaire. Il serait souhaitable que cette expérience soit étudiée dans chaque région pour clarifier les enseignements à en tirer en ce qui concerne la création d'alliances productives entre le public et le privé et les mesures propres à aider les entreprises, les universités et les laboratoires nationaux à transformer leurs objectifs traditionnels en des missions définies à la lumière du marché.

Nous examinerons les dépenses de R-D dans l'ensemble des secteurs publics et privés. Si nous avons traité le thème plus large de la science et de la technologie dans la société, nous aurions dû prendre en compte les très nombreux emplois qui impliquent un minimum de culture scientifique et mathématique et l'utilisation d'instruments technologiques de pointe. Ce ne sera pas le cas ici ; nous limiterons le champ de notre étude aux activités professionnelles et d'appui normalement associées aux programmes et infrastructures relevant de la R-D, telle que définie par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), l'UNESCO et les sources nationales. Étant donné que les gouvernements attachent aujourd'hui beaucoup d'importance aux comparaisons internationales, notamment en ce qui concerne le financement de la R-D par le secteur privé, il conviendra d'élargir l'analyse afin de mieux cerner le contenu des indicateurs utilisés tant en Amérique du Nord qu'à l'échelle internationale.

FIGURE 1
EFFORT DE R-D DES ÉTATS-UNIS, 1994

Dépense nationale totale : 173 milliards de dollars
Pourcentage du PIB : 2,6 %
Croissance réelle : 1 %



Source : NSF, 1994, AAAS.

L'INVESTISSEMENT SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

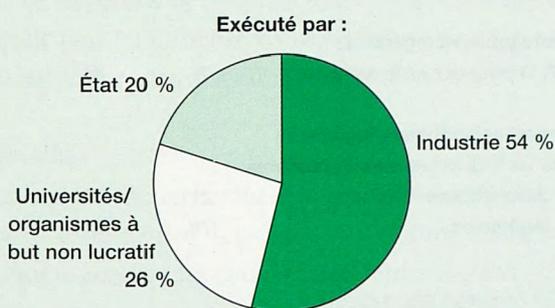
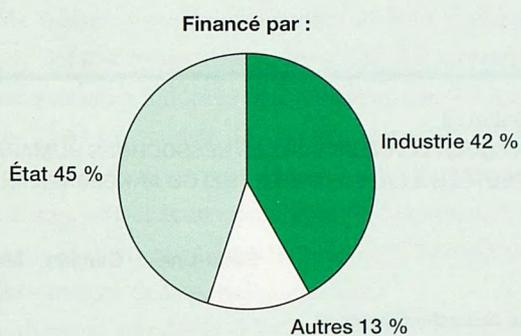
Nous étudierons brièvement dans cette section les dépenses globales de R-D et les principaux acteurs de la R-D. Nous présenterons un certain nombre d'indicateurs comparatifs faisant apparaître l'évolution des ressources humaines affectées à la R-D ainsi que les données économiques fondamentales au niveau régional et au niveau mondial.

Dépenses globales de R-D

La figure 1 illustre la répartition des dépenses de R-D (science fondamentale comprise) des États-Unis en 1994.

FIGURE 2
EFFORT DE R-D DU CANADA, 1993

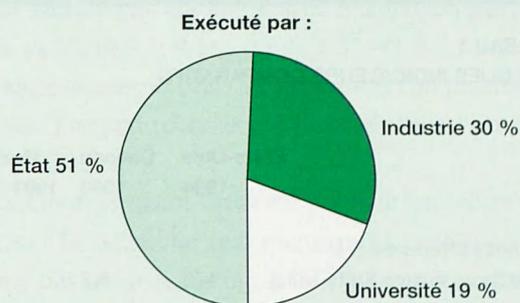
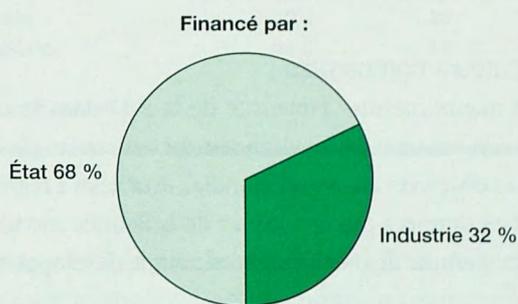
Dépense nationale totale : 8,5 milliards de dollars des États-Unis
Pourcentage du PIB : 1,5 %
Croissance réelle : 1,9 %



Source : NSF, 1994 ; Industrie Canada, 1994 ; OCDE, 1994.

FIGURE 3
EFFORT DE R-D DU MEXIQUE, 1991-1992

Dépense nationale totale : 1,5 milliard de dollars des États-Unis
Pourcentage du PIB : 0,3 %
Croissance réelle : 2 % (estimation)



Source : CONACYT, 1994 ; OCDE, 1994 ; NSF, 1994.

Le début des années 90 a été une période d'adaptation progressive au resserrement continu des budgets de R-D dans le secteur public comme dans le secteur privé. Les financements ont atteint un plafond dans la plupart des domaines scientifiques et techniques. Seuls quelques secteurs de la recherche appliquée ont maintenu un certain rythme de croissance, par exemple la recherche sur le changement climatique dans le secteur public et le développement de logiciels dans le secteur privé.

Pour le Canada et le Mexique, les figures 2 et 3 présentent des données similaires couvrant les périodes 1993

et 1991-1992 respectivement. Les données varient d'un pays à l'autre et ne correspondent pas toutes à la même année, ce qui interdit des comparaisons précises à l'échelle de la région. Les difficultés économiques considérables qu'a connues le Mexique en 1995 et l'extrême austérité des budgets publics au Canada sont les principaux facteurs généraux qui ont influencé l'évolution de la R-D dans ces pays au cours de la période récente.

Indicateurs comparatifs

Pour mieux mesurer l'intensité de la R-D dans les trois pays compte tenu de l'environnement national et des tendances observées au niveau mondial, le tableau 1 regroupe diverses données puisées auprès de la Banque mondiale, du Programme des Nations Unies pour le développement

TABLEAU 1
QUELQUES INDICATEURS COMPARATIFS

	États-Unis 1994	Canada 1993	Mexique 1991-1992
Dépenses totales de R-D (milliards de dollars États-Unis)	173	8,5	1,5
R-D totale en pourcentage du PIB	2,6	1,5	0,3
Pourcentage de la R-D totale			
exécuté par l'industrie	72	54	30
financé par l'industrie	59	42	32
exécuté par l'État	10	20	51
exécuté par les universités/ organismes à but non lucratif	18	26	19
Population (1992) (millions)	255	27	88
PIB réel par habitant (1991) (milliers de dollars en PPA ¹) (Ensemble du monde : 5,5)	22,1	19,3	7,2

1. PPA : Parité de pouvoir d'achat.

Source : PNUD, 1994 ; NSF, 1994 ; Banque mondiale, 1994.

(PNUD) et de l'OCDE. Les données relatives à la région confirment un schéma que l'on retrouve ailleurs : il existe une corrélation entre le degré d'industrialisation et le niveau de la R-D du secteur privé, et le rôle croissant du secteur privé entraîne une baisse relative d'activité dans les laboratoires publics. Mais l'on doit admettre que ces corrélations n'éclairent en rien la question de savoir comment faire aboutir les grandes priorités concrètes de la politique scientifique et technologique et en assurer l'articulation avec la politique économique nationale.

Les ressources humaines

Le dynamisme de la R-D repose sur les compétences que prépare le système éducatif et que recèlent les milieux scientifiques, techniques et médicaux. Le tableau 2 regroupe divers indicateurs des ressources humaines disponibles pour la R-D dans les trois pays d'Amérique du Nord. Comme dans d'autres cas, les définitions diffèrent et les périodes auxquelles se rapportent les données ne concordent pas strictement. Il est clair néanmoins que le Mexique n'a pas encore atteint le stade d'une économie à

TABLEAU 2
QUELQUES DONNÉES SUR LES RESSOURCES HUMAINES
AFFECTÉES À LA R-D (ANNÉE 1990 OU ANNÉES VOISINES)

	États-Unis	Canada	Mexique
Total des scientifiques et ingénieurs de R-D (milliers)	950	63	10
Scientifiques et ingénieurs de R-D pour dix mille salariés	76	46	5
Rapport scientifiques/ingénieurs dans les industries manufacturières			
Scientifiques	21	39	—
Ingénieurs	79	61	—

— Données non disponibles.

Source : NSF-NSB-93-1 ; PNUD, 1994 ; Banque mondiale, 1994 ; OCDE, 1994.

forte intensité de R-D ; en conséquence, malgré les difficultés économiques qu'il a connues en 1995, il est vraisemblable que ce pays, soucieux de poursuivre son industrialisation et de préparer une main-d'œuvre techniquement qualifiée, maintiendra la haute priorité qu'il a assignée à la science et à la technologie.

LA SCIENCE DANS LES UNIVERSITÉS

Dans toute l'Amérique du Nord, les universités sont confrontées à un triple défi : la prédominance d'objectifs concrets dans la définition de leur mission en matière d'éducation et de recherche, l'extrême austérité de leurs budgets et le resserrement des contrôles destinés à mesurer leur performance. La fin des années 90 sera une période difficile d'ajustement à ces nouvelles exigences.

Nombre d'observateurs prévoient que les universités seront amenées à revoir radicalement leur forme d'organisation. Les centres de recherche seront contraints non seulement de réduire l'éventail et le niveau de leurs activités, mais aussi de reformuler les termes et les objectifs des accords passés avec les entreprises et les organismes publics. Dans le même temps, les collèges et universités devront s'attacher à donner aux étudiants une formation élargie. Dans un monde du travail caractérisé par une concurrence de plus en plus vive, le changement technologique impose à chacun une adaptabilité et une mobilité accrues, aussi bien parmi les scientifiques et les ingénieurs que dans le reste de la population active.

On trouvera au tableau 3 les données les plus récentes sur les dépenses de R-D des universités. Comme on le signale plus loin, l'année écoulée a été marquée par une tendance croissante à réduire ce type de dépense.

Canada

Les budgets de recherche des universités canadiennes seront fortement réduits en 1995 et continueront de décroître pendant les deux ou trois années à venir. Selon une estimation, les ressources de la recherche universitaire devraient baisser de 15 % environ en dollars courants (ce qui correspond à une diminution plus importante encore

TABEAU 3
DÉPENSES DE R-D DANS LES UNIVERSITÉS, 1992

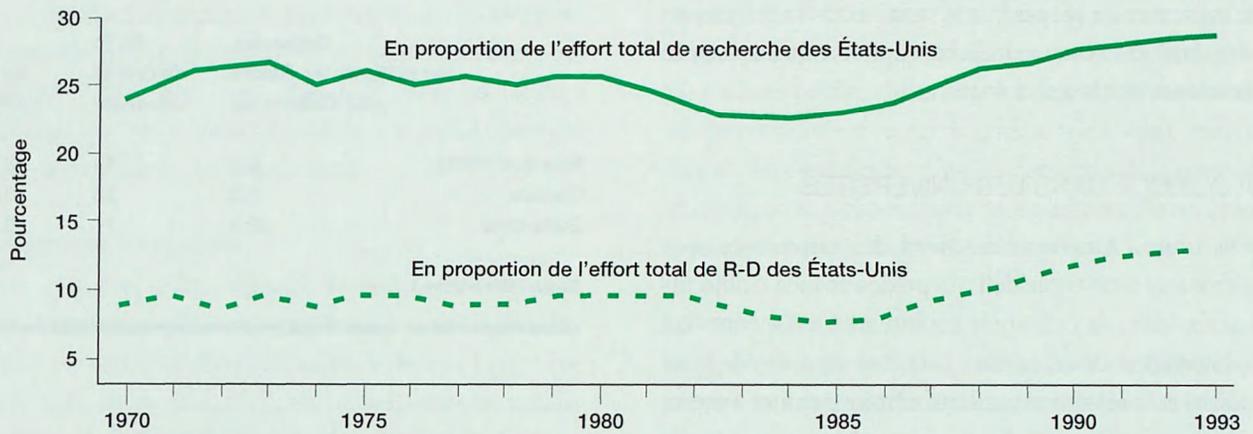
	Dépenses (en milliards de dollars des États-Unis)	En % de la R-D nationale	En % du PIB
Mexique (1991)	0,3	19	0,06
Canada	2,2	23	0,40
États-Unis	24,0	14	0,40

Source : Voir tableau 1.

en pouvoir d'achat) sur la période 1995-1998. Au moment où nous écrivons (mi-1995), les prévisions sont trop incertaines pour que l'on puisse en apprécier les incidences en détail. Néanmoins, compte tenu de la réduction globale de l'aide publique à la R-D, estimée à 35-40 % au cours des quelques années à venir, les universités continueront de recevoir une part relativement élevée de l'effort public de R-D au Canada.

Le Gouvernement canadien poursuit son effort pour orienter la recherche vers une commercialisation plus rapide des résultats, même si les programmes technologiques axés sur l'industrie sont les programmes soumis aux plus fortes coupes budgétaires. Les universités sont considérées comme des acteurs clés de cette évolution. Qu'il s'agisse de projets concernant l'espace, les sciences sociales ou la recherche médicale, les budgets seront limités et les priorités devront être reformulées. Malheureusement, l'ensemble des universités n'ayant pas encore fait connaître leur réaction aux changements récents affectant leurs ressources, les séries chronologiques retraçant le mouvement des financements dans les diverses disciplines ne peuvent être utilisées pour interpréter les évolutions en cours ou à venir. Les travaux de recherche fondamentale à long terme pourraient connaître un ralentissement, comme cela s'est produit dans d'autres pays soumis à des contraintes budgétaires analogues et à des exigences similaires concernant la pertinence économique à court terme de la R-D. Ce mou-

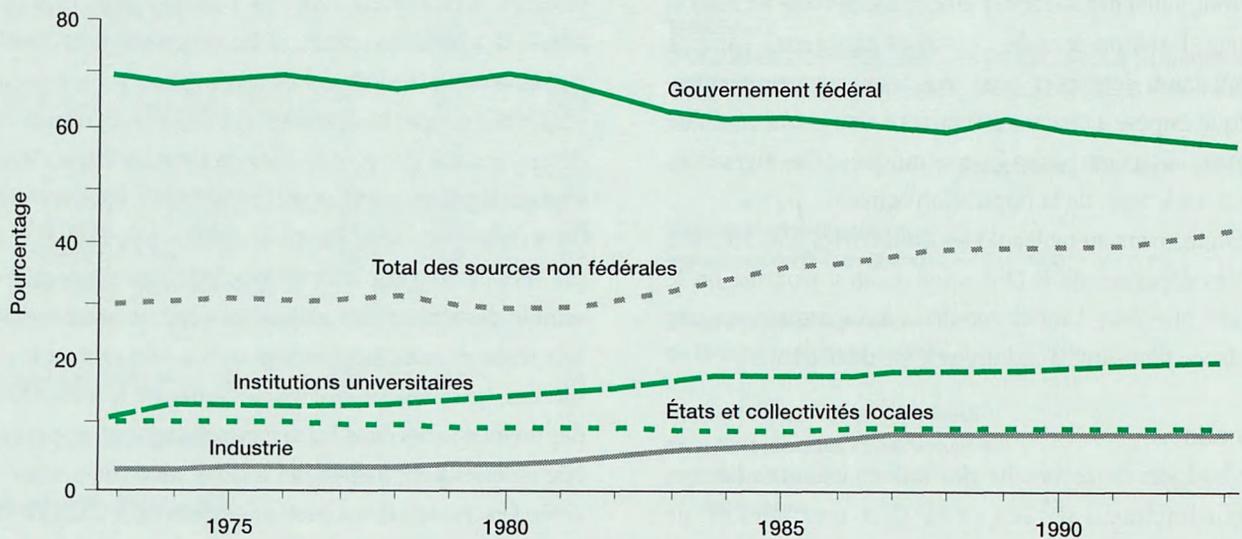
FIGURE 4
PART DE LA R-D ET DE LA RECHERCHE UNIVERSITAIRES DANS L'EFFORT TOTAL DES ÉTATS-UNIS



Note : La recherche universitaire englobe la recherche fondamentale et la recherche appliquée. Les données pour 1992 et 1993 sont des estimations.

Source : NSB, 1993.

FIGURE 5
SOURCES DE FINANCEMENT DE LA R-D UNIVERSITAIRE PAR SECTEUR AUX ÉTATS-UNIS



Note : Les données pour 1992 et 1993 sont des estimations.

Source : NSB, 1993.

vement, s'il se vérifiait, pourrait devenir une contre-incitation à la poursuite d'études doctorales en science et en technologie et limiter l'ampleur et la portée de la participation du Canada à la coopération scientifique internationale.

Mexique

La dévalorisation brutale du peso dans les premiers mois de 1995 a réduit les investissements du Mexique dans tous les secteurs. Cela n'a pas été sans conséquence pour l'enseignement en général et la science universitaire. Mais il est difficile de prévoir dans quelle mesure ces restrictions retarderont l'extraordinaire renouveau de la science mexicaine du début des années 90. L'annonce, en mars 1995, de la création d'une Fondation nationale de la recherche — conçue sur le modèle du National Research Council des États-Unis — illustre toute l'importance accordée à la mise en place de groupes de scientifiques chargés d'étudier les grands problèmes de la nation. Ces travaux devraient conduire à souligner l'impérative nécessité de construire une base scientifique et universitaire au service des objectifs économiques et sociaux. Toutefois, eu égard à la politique d'austérité budgétaire adoptée en 1995, les ressources publiques et privées disponibles pour la recherche universitaire devraient demeurer extrêmement rares jusque vers la fin de la décennie.

États-Unis d'Amérique

Au cours des décennies passées, les universités ont eu tendance à s'appuyer de plus en plus sur des sources externes pour financer leurs travaux de recherche fondamentale. Un des grands sujets de préoccupation est que les diverses missions menées pour le compte d'entités extérieures n'en viennent à affaiblir l'indépendance des universités et leur capacité à assurer leurs fonctions essentielles de recherche et d'enseignement auprès d'étudiants de tous niveaux. La situation est d'autant plus grave que les universités sont confrontées à de nouvelles coupes budgétaires et cherchent à apaiser les doutes de l'opinion concernant l'utilité de la science fondamentale. Le « contrat social » de l'après-guerre entre les universités et la nation américaine est en voie de renégociation.

La figure 4 éclaire bien à la fois la santé et la vulnérabilité de la R-D universitaire ; on y voit que la part de celle-ci dans la recherche totale et la R-D totale des États-Unis a augmenté au cours des vingt dernières années. De ce fait, les universités sont soumises à des pressions croissantes pour que ces investissements soient maintenus. En revanche, la figure 5 montre que, sur la même période, le soutien du Gouvernement fédéral à la R-D universitaire a lentement diminué, passant de près de 70 % du financement total des universités en 1973 à moins de 60 % en 1993. Dans le même temps, la part des sources non fédérales est passée de 30 % environ à plus de 40 %, et la contribution des institutions universitaires à leurs propres activités a pratiquement doublé. Les apports de l'industrie ont certes augmenté pour diverses raisons, mais leur part dans le financement total de la R-D universitaire demeure relativement faible.

Les données du tableau 4 indiquent les tendances de la recherche fondamentale, qui a longtemps été une mis-

TABLEAU 4
FINANCEMENT ET EXÉCUTION DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE AUX ÉTATS-UNIS
(en milliards de dollars 1987)

	1965	1975	1985	1994
Financement				
Total États-Unis	9	9,9	15	25
Gouvernement fédéral	6,4	6,8	9,7	15
Industrie	1,6	1,4	3,0	5,9
Universités	0,6	1,0	1,5	2,9
Organismes à but non lucratif	0,4	0,6	0,7	1,2
Exécution				
Total États-Unis	9	9,9	15	25
Gouvernement fédéral	1,3	1,5	2	2,2
Industrie	2,1	1,5	3	7,6
Universités	4,0	5,1	7	11,1
Organismes à but non lucratif/Autres	1,6	1,8	3	4,1

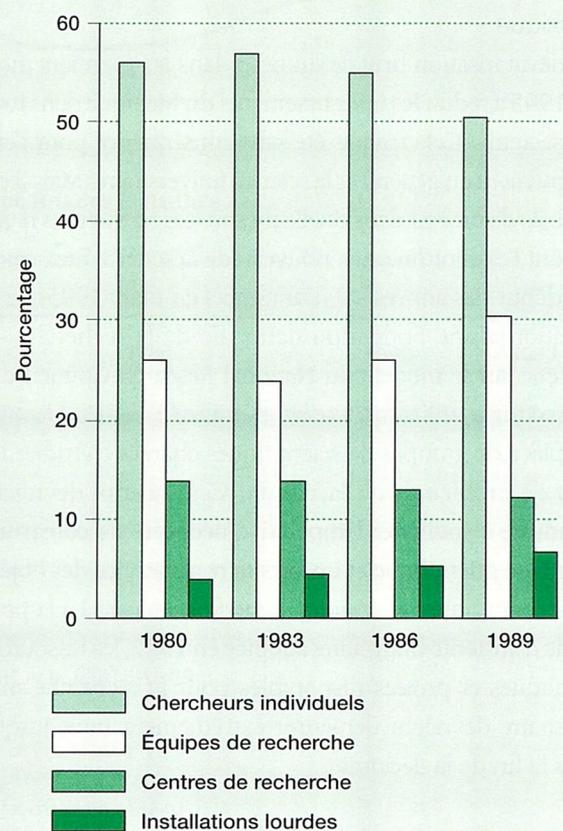
Source : NSF, 1994.

sion dominante des grandes universités américaines. Au cours des trente dernières années (1965-1994), les universités tournées vers la recherche ont presque triplé leur effort. L'augmentation apparente de l'activité des entreprises durant la dernière décennie est pour une grande part davantage imputable à un échantillonnage plus précis et plus large de leur activité effective qu'à un renforcement de leurs priorités dans ce domaine, comme on le montrera plus en détail à la section suivante. Vu l'état d'esprit de la nation et la situation économique en 1995, une croissance des ressources affectées à la recherche fondamentale universitaire dans les prochaines années est hautement improbable.

Deux autres indicateurs retiennent l'attention des chercheurs et administrateurs des universités. Le premier, illustré par la figure 6, est la diminution du pourcentage des financements allant aux chercheurs individuels au cours des années 80. Bien que relativement faible (d'un peu plus de 55 % à 50 % environ), ce recul confirme le fait que la concurrence pour les subventions d'un montant modeste s'est encore accentuée. Ce serait une simplification excessive de dire que cette baisse traduit une volonté délibérée de marginaliser la « recherche de curiosité ». Néanmoins, le soutien accru apporté aux grandes équipes, aux nouveaux centres de recherche et aux équipements lourds fait qu'il est de plus en plus difficile d'aider le grand nombre de scientifiques qualifiés qui souhaitent mener des « recherches légères » dans les universités. Les files d'attente s'allongent, le pourcentage des demandes de subvention acceptées diminue, et les perspectives deviennent peu encourageantes.

Un second indicateur, illustré par la figure 7, est la croissance explosive des centres de recherche associant universités et entreprises, dont le nombre a presque quadruplé au cours des années 80. Ces centres ne sont pas permanents : leur survie est entre les mains de ceux qui les financent. Pendant les trente années précédentes, ces centres n'ont joué qu'un rôle mineur aux États-Unis. Mais le souci croissant d'accélérer les applications commerciales de la recherche en rapprochant les chercheurs et leurs travaux du marché a suscité la création d'équipes université-indus-

FIGURE 6
AIDES FÉDÉRALES (HORS DÉFENSE)
À LA RECHERCHE UNIVERSITAIRE,
PAR CATÉGORIE DE BÉNÉFICIAIRES



Source : NSB, 1993.

trie, généreusement soutenues par le Gouvernement fédéral et les entreprises, ainsi que par les administrations des États et les universités. En 1990, les apports combinés des autorités fédérales et des entreprises représentaient environ les deux tiers des sources de financement de ces centres.

Dans l'avenir, quel que soit le niveau des crédits fédéraux affectés à la recherche fondamentale et appliquée, les universités seront contraintes de renforcer leur contribution à la croissance économique, ce qui les conduira à élargir et à approfondir leurs liens avec des entreprises de

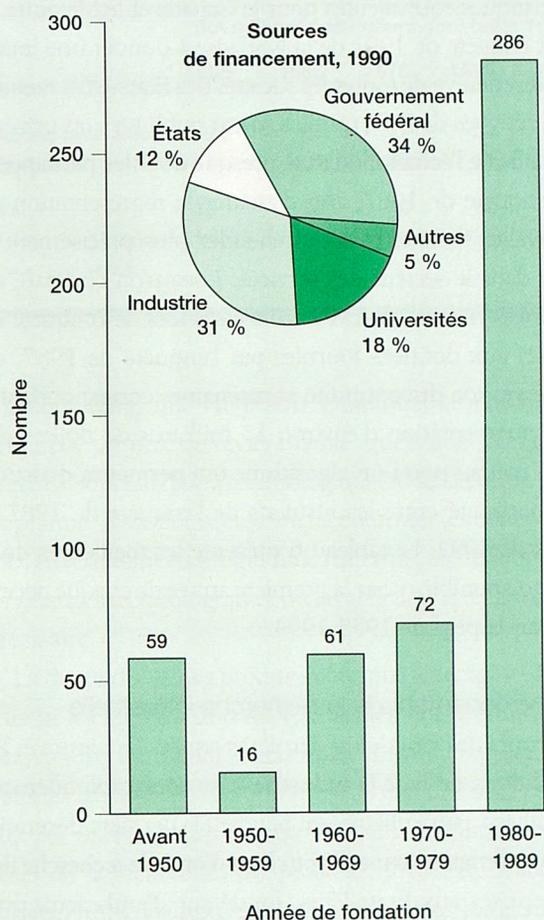
R-D à vocation commerciale. Parallèlement, les universités américaines s'attacheront à exploiter leurs droits de propriété intellectuelle avec encore plus de subtilité, d'agressivité et de souplesse dans des secteurs comme la

biotechnologie, l'informatique, les nouveaux matériaux et l'électronique.

Les universités américaines tournées vers la recherche sont en train de revoir leur action et leurs politiques dans divers domaines. Leur réflexion porte notamment sur les points suivants :

- La modernisation d'installations et d'équipements vieillissants, problème qui ne date pas d'aujourd'hui et qui ne trouvera certainement pas de solution immédiate, surtout en une période de rarefaction des financements publics.
- La possibilité de créer des emplois initiaux et permanents pour de jeunes chercheurs, notamment pour des femmes et des personnes appartenant aux minorités, objectif formulé de longue date mais dont la réalisation se trouve compliquée par de nouvelles dispositions législatives autorisant les universitaires à prendre leur retraite à un âge plus tardif.
- Les menaces et restrictions de plus en plus lourdes pesant sur les centres hospitaliers universitaires, dont les recettes se trouvent réduites par les mesures nationales visant à contenir les dépenses de santé, ce qui amenuise les ressources disponibles pour la recherche et pour la formation des générations suivantes de chercheurs.

FIGURE 7
ÉVOLUTION DES CENTRES DE RECHERCHE
UNIVERSITÉ-INDUSTRIE,
ET SOURCES DE FINANCEMENT



Note : Les données concernent les centres en activité en 1990. Sur un total estimé de 1058 centres, 458 ont fourni des informations sur leur financement et 494 sur leur date de fondation.

Source : Cohen, Florida et Goe, 1993.

Perspectives

Pour les collèges et universités des États-Unis menant des activités de recherche, les perspectives jusqu'à la fin des années 90 sont contrastées et incertaines. Bien que le pays continue d'avoir besoin de scientifiques, d'ingénieurs et de médecins correctement formés — sans parler du besoin croissant de personnel d'appui techniquement qualifié dans les laboratoires d'entreprises, les services financiers, les communications, l'informatique, etc. —, les universités devront faire face à des restrictions budgétaires et repenser leurs fonctions, comme les entreprises ont dû le faire dans les années 80. En une période où les « cures d'amaigrissement » sont à l'ordre du jour, les universités n'ont aucune certitude sur leur « poids idéal ». Il leur faudra déterminer les meilleurs moyens de mener à bien leur

mission propre, de renforcer leur productivité et d'instaurer une coopération efficace avec les centres de R-D publics et privés par-delà les frontières institutionnelles et géographiques.

LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE DANS L'INDUSTRIE

Pendant la décennie écoulée, les entreprises ont apporté des changements radicaux aux processus sur lesquels elles s'appuient pour acquérir les connaissances nécessaires à la mise au point de produits, de procédés et de services nouveaux ou améliorés. Ces changements sont décrits ci-après. L'analyse portera essentiellement sur les États-Unis, où les dépenses totales de R-D des entreprises sont estimées à plus de 100 milliards de dollars, soit plus de 95 % du total de la R-D financée par les entreprises dans la région.

Évolutions et comparaisons globales

Au cours des vingt dernières années, les dépenses de R-D des entreprises ont progressé nettement plus vite que celles de l'État. Aux États-Unis par exemple, les dépenses de R-D du Gouvernement fédéral (mesurées en dollars constants) ont augmenté de 30 % entre 1974 et 1994, alors que celles des entreprises se sont accrues de 144 %. Le tableau 5

TABLEAU 5
DÉPENSES DE R-D DES ENTREPRISES
(milliards de dollars des États-Unis, en PPA¹)

	1989	1991	1994 ²
Canada	3,7	4,2	4,9
Mexique	0,33	0,5	—
États-Unis	102	117	124

1. PPA : Parité de pouvoir d'achat.

2. Estimations.

— Données non disponibles.

Source : NSB, 1993 ; NSF 94-324 ; OCDE, 1994.

indique le montant de la R-D industrielle pour l'ensemble de la région sur la période 1989-1994.

Aux États-Unis, les entreprises des branches non manufacturières (services) ont fortement accru leurs dépenses de R-D depuis quelques années. Le poids du secteur des services dans le total de la R-D industrielle, qui était estimé à 3 % en 1975, était de 9 % en 1987 et atteignait 25 % en 1992, année de la dernière enquête de la National Science Foundation (NSF) sur la R-D industrielle. Cette enquête est réalisée par le Bureau of the Census (Département du commerce), avec l'appui de la NSF. On ne dispose pas de statistiques équivalentes pour le Canada et le Mexique.

L'enquête de 1992 de la NSF vise à donner une image représentative de toutes les sociétés des États-Unis menant des activités de R-D, qu'elles soient publiques ou privées. La taille de l'échantillon a été presque doublée par rapport à l'enquête de 1987, afin d'assurer la représentation de nouvelles sociétés et d'appréhender plus précisément la R-D dans le secteur des services. Lorsqu'on compare les données révisées de 1991 (collectées lors de l'enquête de 1992) aux données fournies par l'enquête de 1987, on observe une discontinuité surprenante, correspondant à une augmentation d'environ 15 milliards de dollars ; la NSF met au point un algorithme qui permettra d'assurer la continuité entre les résultats de l'enquête de 1987 et ceux de 1992. Le tableau 6 présente les meilleures données disponibles pour la première année de chaque décennie sur la période 1955-1994.

L'environnement de la recherche industrielle

Au cours des vingt-cinq dernières années, la nature et les conditions de la R-D industrielle se sont profondément modifiées, particulièrement pendant la dernière décennie. Ce que certains tiennent pour l'âge d'or de la recherche des entreprises aux États-Unis, fondé sur d'ambitieux programmes de recherche à long terme exécutés dans de grands laboratoires centralisés, est considéré comme une ère révolue, dont le retour est bien improbable.

Le moteur de la R-D industrielle est désormais le marché. Les marchés sont mondiaux, bien que subsistent quelques bastions de protectionnisme. Dans les industries

TABEAU 6
R-D EXÉCUTÉE PAR LES ENTREPRISES
AUX ÉTATS-UNIS, 1955-1994

	(En milliards de dollars)				
	1955	1965	1975	1985	1994
Sources fédérales	2,2	7,7	8,6	27	26
Entreprises	2,5	6,4	16	57	101
Total	4,6	14	24	84	127

	(En milliards de dollars constants 1987)				
	1955	1965	1975	1985	1994
Sources fédérales	9,5	27	17	29	20
Entreprises	11	22	32	60	80
Total	20	50	49	89	100

Source : NSF 94-327.

évoluées, telles que l'industrie chimique, le marché est défini par un prix de revient faible, quels que soient son degré de sophistication technologique ou sa situation géographique. Il s'avère nécessaire de contrôler les coûts de la R-D, en réduisant les programmes internes, en développant les alliances technologiques, ou en achetant la technologie nécessaire.

La durée de vie des produits continue à décroître. Pour réussir, les sociétés doivent non seulement produire des innovations de qualité, mais aussi innover rapidement. Dans les laboratoires des entreprises, cette nécessité se traduit par un raccourcissement incessant de l'horizon temporel de la recherche. Un projet de R-D à trois ans est aujourd'hui considéré comme étant à très long terme. Comme aucune entreprise ne peut mener des recherches dans tous les secteurs importants de son activité, le recours à des sources extérieures est devenu pratique courante. Ce recours prend des formes diverses : achat de services de R-D, de conception et d'ingénierie, alliances technologiques avec d'autres entreprises, participation à des consor-

tiums de R-D, coopération université-industrie et conclusion de contrats de licence technologique.

L'avenir des laboratoires centraux de recherche au sein des grandes sociétés est un point qui préoccupe nombre d'observateurs. Ces laboratoires ont, dans le passé, fait des découvertes qui ont ouvert à ces sociétés des voies entièrement nouvelles, cela grâce aux talents et aux ressources que leur effort financier avait permis d'affecter à la recherche à long terme. Aujourd'hui, le premier souci est celui du rendement immédiat et les financements sont essentiellement apportés par les divers centres d'activité des grandes entreprises. De ce fait, beaucoup pensent que les laboratoires centraux de recherche travailleront surtout à perfectionner des produits, procédés et services existants, apportant éventuellement quelques innovations à certains centres d'activité, mais qu'ils ne seront plus la source d'activités entièrement nouvelles. Pour se diversifier, les sociétés procéderont par rachat d'entreprises en démarrage. Reste à savoir si les fonds ainsi utilisés constitueront un meilleur emploi des ressources que s'ils avaient servi à soutenir la recherche à long terme dans les laboratoires de l'entreprise.

La politique technologique du Gouvernement fédéral

Avec l'entrée en fonctions du président Clinton en janvier 1993, le Gouvernement fédéral s'est rapidement attaqué à la mise en œuvre d'une politique technologique nouvelle. Dès le mois de février, le Président proposait une très forte augmentation des soutiens fédéraux au développement technologique, l'accélération de la diffusion et de la commercialisation des techniques, notamment par la création de centres de vulgarisation industrielle (*Manufacturing Extension Centres*) et d'autres initiatives, ainsi qu'une redistribution des crédits entre la R-D civile et la R-D militaire, dont le rapport passerait de 41/59 à 50/50. La plus forte augmentation de crédits proposée concernait le développement technologique. Par contraste, la politique technologique de l'Administration Bush, formulée en septembre 1990, ne prévoyait d'augmentations de crédits qu'en faveur de la recherche fondamentale. Le finance-

ment du développement technologique reposait essentiellement sur des programmes faisant appel à des partenariats avec l'industrie. La figure 8 illustre la progression rapide des financements affectés à ces programmes durant les dernières années. Les données pour l'année fiscale 1995 reflètent le budget estimé par l'Administration Clinton et non les crédits réels alloués.

La politique du président Clinton s'est trouvée vivement contestée après les élections de novembre 1994. La nouvelle majorité républicaine à la Chambre des représentants et au Sénat a proposé la suppression progressive des nouveaux programmes de coopération technologique public-privé, dans lesquels elle voyait une « politique industrielle » impliquant des dépenses publiques excé-

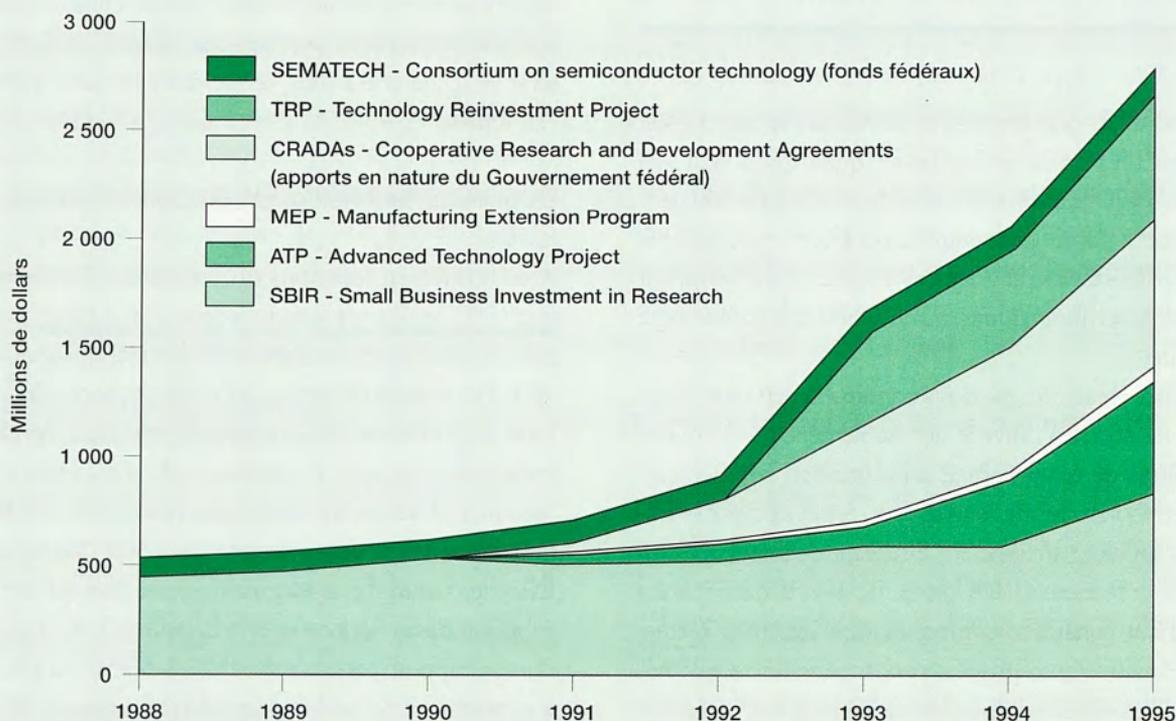
sives et trop d'interventions de l'État sur le marché. La question a fait l'objet d'un large débat, mais de nombreuses entreprises n'ont pas encore fait connaître leur position.

Le comportement des entreprises

Les entreprises s'adaptent rapidement aux énormes changements qui s'opèrent dans leur cadre réglementaire et sur les marchés. Ces changements modifient la conception que les chefs d'entreprise se font de la R-D. Trois des facteurs les plus importants à cet égard sont les fusions d'entreprises, l'action gouvernementale et les évolutions des marchés résultant du progrès technique.

Les fusions entre grandes entreprises conduisent géné-

FIGURE 8
PRINCIPAUX PARTENARIATS ENTRE AUTORITÉS FÉDÉRALES ET INDUSTRIE



Note : Les années correspondent aux années fiscales (1995 = 1^{er} octobre 1994 au 30 septembre 1995).

Source : Données Département du commerce, 1995.

ralement à une réduction de la R-D totale. Le rapprochement de deux entreprises de taille à peu près équivalente peut se traduire par un doublement du chiffre d'affaires, alors que les activités de R-D de la nouvelle entité ne seront multipliées que par 1,5 par suite de la réduction des programmes qui se chevauchent. Dans certains cas, des laboratoires entiers risquent de disparaître ; la fusion entre General Electric et RCA, par exemple, a entraîné la vente du centre de recherche David-Sarnoff, qui travaille désormais sous contrat pour le compte de nombreuses entreprises en tant que filiale de SRI International.

L'action des pouvoirs publics a parfois des incidences notables sur les laboratoires industriels. Le cas le plus connu est sans doute le démantèlement d'American Telephone and Telegraph en application de la législation anti-trust. Pour les laboratoires de Bell Telephone, cette mesure s'est traduite par une réduction générale des effectifs et une moindre place accordée à la recherche à long terme. Cette même mesure a conduit à la création de Bellcore, entreprise de R-D au service des sept sociétés d'exploitation régionales de la société Bell. D'autres changements sont en cours.

Les évolutions des marchés induites par le progrès technique ont également eu des répercussions profondes sur la R-D des entreprises. Dans l'informatique, par exemple, l'émergence de matériels et de logiciels nouveaux et la conquête de larges parts de marché par une vague de nouveaux concurrents ont amené IBM à redimensionner ses activités de R-D, dont le volume a été réduit, le champ limité et l'horizon temporel raccourci.

La valeur de la R-D pour les dirigeants et les actionnaires

Les dirigeants de société n'ont plus la même vision de la R-D que ceux de la génération précédente. Leurs décisions de financement ne se fondent plus sur une croyance générale en la fécondité de la recherche ni même sur les revenus que leurs investissements de R-D ont pu jadis apporter à l'entreprise. Les études qui mettent en valeur la rentabilité sociale de la recherche universitaire ou soulignent l'influence positive que le succès de programmes de

R-D exerce sur la capitalisation boursière ne sont plus aussi facilement acceptées.

Certaines données d'observation indiquent que les actifs incorporels issus de la R-D se sont dévalorisés aux yeux des opérateurs boursiers américains au cours des années 80. Par rapport aux actifs corporels, leur valeur aurait été divisée par trois sur dix ans. Cette évolution, si elle était confirmée par les faits, pourrait avoir des causes multiples : accélération du rythme de dépréciation de ce type d'actifs (ce qui concorderait avec le raccourcissement du cycle de vie des produits), ou baisse de la rentabilité interne de la R-D, ou incertitudes croissantes quant aux avantages à attendre de ce type d'activité.

Mais d'autres données laissent à penser que la valeur boursière d'une société se trouve renforcée si la progression du chiffre d'affaires résultant de la R-D dépasse suffisamment l'augmentation des dépenses de recherche correspondantes. Ce type de calcul permet de déterminer le niveau « correct » de la R-D pour une société donnée, la variable critique étant la productivité de la R-D. Dans la plupart des cas, la valeur de ce niveau dépend de la branche dans laquelle opère la société ; pour rester compétitifs, les fabricants de semi-conducteurs et de produits pharmaceutiques, par exemple, devront consentir des dépenses de R-D par unité de chiffre d'affaires plus élevées que les entreprises sidérurgiques.

Les études de cas réalisées au niveau de l'entreprise sont souvent plus éclairantes que les indicateurs économiques globaux. Nombre de sociétés découvrent que l'étude des ventes effectives apporte plus d'arguments en faveur de la R-D que les analyses économiques faites au niveau du pays ou de la branche. Il n'est pas rare, par exemple, qu'une société propose à la vente une gamme de produits dont plus de la moitié étaient absents de son catalogue dix ans plus tôt.

La recherche et la veille technologique

Aujourd'hui, les hauts dirigeants et gestionnaires participent plus que dans le passé à la définition de la stratégie technologique de l'entreprise et à l'évaluation de ses résultats. Des techniques sophistiquées de gestion de l'infor-

mation leur permettent un suivi plus rigoureux des activités de R-D. Parallèlement, les unités de R-D industrielle ont des structures allégées, ce qui signifie que les décisions sont prises au plus bas niveau possible parce que le cycle de vie abrégé des produits impose flexibilité et responsabilité immédiates. De ce fait, l'autorité des administrateurs de la recherche se trouve entamée à la fois par le haut et par le bas.

Les structures traditionnelles d'intégration verticale tant dans les projets technologiques qu'entre les centres d'activité ont dans bien des cas cédé le pas à de nouvelles formes d'intégration des compétences techniques fondées sur des alliances entre sociétés, souvent dans le cadre de partenariats internationaux. Par ailleurs, dans les laboratoires, les scientifiques et ingénieurs (peut-être vaudrait-il mieux parler de « fournisseurs de savoir ») ne se consacrent plus à plein temps à la recherche mais sont appelés à partager leur temps entre la recherche en interne et la quête d'informations pertinentes hors de l'entreprise. La répartition des ressources s'infléchit dans le même sens et le rapport global de la veille technologique à la recherche proprement dite tend à s'accroître.

Il est important de bien comprendre la nature des alliances entre entreprises au sein d'une branche et d'une branche à l'autre. Pour définir les grandes orientations de leur activité future, les sociétés s'appuient sur une distinction fondamentale entre impératifs stratégiques et différenciations stratégiques. Les *impératifs stratégiques* sont les capacités dont toute entreprise a besoin pour s'assurer un minimum de compétitivité dans un secteur d'activité donné. Les sociétés coopèrent pour développer et maintenir ce minimum stratégique par le moyen d'alliances, de consortiums ou de coentreprises. Une telle coopération peut apporter des avantages non négligeables et les entreprises qui vont à contre-courant en recherchant seules une solution technologique à un problème commun prennent de grands risques. Les *différenciations stratégiques* renvoient à une tout autre notion. Ce sont elles qui assurent un avantage concurrentiel décisif sur le marché et elles font l'objet d'une intense compétition. La supériorité technologique est souvent la condition néces-

saire (mais non suffisante) d'une différenciation stratégique durable.

L'avenir

Les dépenses de R-D des entreprises sont restées stationnaires depuis le début des années 90. Une enquête de l'Industrial Research Institute (IRI) avance avec un optimisme mesuré qu'elles progresseront très faiblement en 1995. L'enquête 1992 de la NSF indiquait une augmentation marquée de la R-D industrielle à la fin des années 80, ainsi qu'une forte progression de la recherche et de l'ensemble de la R-D dans le secteur des services. Toutefois, on ne dispose pas encore d'explication détaillée de ces données et la plupart des administrateurs de la recherche, en accord avec des enquêtes antérieures de l'IRI, estiment que les dépenses de R-D des entreprises n'ont pas beaucoup augmenté depuis le milieu des années 80.

Aujourd'hui, l'acquisition et la mise en œuvre de connaissances nouvelles est une activité qui déborde largement la seule question du financement de la R-D. Aucune société, si importante et puissante soit-elle, n'est à même de produire dans ses propres laboratoires toutes les connaissances nouvelles dont elle a besoin. A côté des recherches exécutées en interne, les entreprises mènent de vastes enquêtes à la recherche d'informations intéressant leur marché ou leurs produits ou services. Elles sont dans la nécessité d'agir plus promptement que leurs concurrents, ce qui signifie qu'elles s'emploient à raccourcir le cycle des produits, à innover intelligemment et rapidement et à se procurer des connaissances nouvelles de manière efficace. Dans l'esprit des gestionnaires, la R-D est une dépense et pas seulement un investissement. En conséquence, les industriels se montrent extrêmement soucieux d'améliorer la productivité de la R-D dans leur entreprise.

Qu'apportera l'avenir ? Les activités de R-D et les activités connexes de veille technologique connaîtront sans doute une progression en termes réels dans les dix années à venir. Bien que de nouvelles améliorations de la productivité soient à prévoir, les mesures les moins coûteuses à cet égard ont déjà été prises, ce qui laisse escompter une

certaine augmentation des financements et des effectifs. A quelle échéance, un an ou cinq ans ? Il est bien difficile de le dire.

COOPÉRATION INTERNATIONALE

Les réflexions sur la coopération internationale peuvent se ranger sous trois rubriques. La première concerne les institutions à vocation mondiale — les besoins et les problèmes des recherches entreprises en coopération dans de nombreux domaines de la science, de la technologie et de la médecine ayant des incidences pour toutes les nations et dans tous les secteurs d'activité. La deuxième concerne les besoins et les actions de chacun des pays de la région nord-américaine, compte tenu de leurs objectifs nationaux propres. La troisième concerne les coopérations régionales engagées entre les trois pays sur la base de la proximité, de leurs intérêts scientifiques respectifs et de diverses considérations politiques, sociales et économiques.

Perspectives générales

Les scientifiques nord-américains, comme ceux d'autres pays, ont un esprit international, nourri par leur participation à des colloques et à des expériences conjointes, par l'étude de la littérature spécialisée, par la connaissance de concurrents ou de confrères dans de nombreux pays. Mais ils éprouvent une insatisfaction croissante devant nombre de mécanismes de la coopération internationale. La concurrence internationale et ses répercussions technologiques en sont en partie la cause, car la circulation des résultats de la recherche tend à être strictement contrôlée chaque fois que des intérêts commerciaux sont en jeu. Qui plus est, les institutions internationales qui ont vocation à favoriser la coopération doivent faire face à de nouvelles exigences, se font concurrence dans la quête de ressources de plus en plus rares et sont de ce fait amenées à se remettre en cause. Des arrangements *ad hoc* ont été mis en place pour coordonner des projets mondiaux à grande échelle dans des domaines comme la physique des hautes énergies et la fusion, ou comme le sida et le génome humain. L'obligation de partager les coûts, même pour les projets

modestes, rend la coopération plus nécessaire en même temps qu'elle accroît la complexité de la gestion.

Dans l'avenir, le réexamen des infrastructures internationales de coopération devra reposer sur deux méthodes complémentaires. La première, partant de la base, consiste à interroger les scientifiques, ingénieurs et médecins-chercheurs en début ou en milieu de carrière sur leur perception des possibilités et des besoins ; l'autre, partant du sommet, s'appuie sur les hauts responsables des gouvernements, des universités et de l'industrie, qui connaissent les forces et les faiblesses du système en vigueur et sont à même de faire le lien entre les objectifs à long terme des secteurs public et privé et les divers rôles de la science et de la technologie. Le but final sera de repérer les réformes institutionnelles propres à soutenir la dynamique du développement national, régional et mondial.

Les critères de décision dans ce domaine sont aujourd'hui plus complexes qu'il y a dix ans. Les communications électroniques, par exemple, constituent un nouvel instrument si puissant que la nécessité d'une coordination centralisée des personnels s'en trouve modifiée, et peut-être affaiblie. Par ailleurs, de nouvelles exigences sont apparues en ce qui concerne la planification et le financement conjoint de projets de grande envergure ou la coordination à l'échelle globale de la collecte, de l'interprétation et de la diffusion des informations gérées dans de grandes bases de données. Dans un monde où l'abondance des crédits publics n'est plus assurée, il faudra sans doute inventer, pour un large éventail de projets de recherche destinés à se prolonger jusqu'au siècle prochain, de nouveaux cadres de coopération qui permettent d'en gérer adéquatement la qualité, l'efficacité, la fiabilité, la participation et la productivité.

L'environnement est un domaine qui illustre bien la complexité de ces défis. Avec l'expansion générale de la recherche dans les sciences dites écologiques, tout investissement supplémentaire doit être mis en relation avec des améliorations tangibles des politiques destinées à rehausser la qualité de l'environnement sans négliger pour autant les perspectives de croissance économique. De l'évaluation des risques au niveau local jusqu'à la coordination

de la recherche à l'échelon national et international, chaque pays s'efforce de faire progresser ses propres connaissances scientifiques et d'apprendre comment utiliser les données les plus récentes de la recherche mondiale pour éclairer ses propres décisions en matière de politique d'environnement.

Aux États-Unis, l'intérêt porté à un élargissement de la coopération internationale découle en partie du douloureux constat que le pays ne peut plus se permettre de financer à lui seul des projets de « science lourde » (ceux qui portent sur la fusion, par exemple), qui se situent à la frontière de disciplines fondamentales, comme la physique et l'ingénierie. Les projets de ce type ont un budget qui se chiffre en centaines de millions de dollars — voire en milliards — et exigent des travaux soutenus et complexes s'étendant sur dix ans ou davantage. Les aides publiques sont fournies par le Département de l'énergie, la NASA et la NSF. Plusieurs projets de ce type ont été abandonnés à la suite de problèmes politiques et financiers complexes, y compris, dans certains cas, d'importantes augmentations de coûts. Il est indispensable que ces projets reposent à l'avenir sur une coopération internationale couvrant à la fois la planification, la conception, le financement et la gestion des activités.

La coopération régionale

Bien que l'on manque d'enquêtes fiables, des estimations sérieuses chiffrent en milliers chaque année les contacts approfondis entre scientifiques, ingénieurs et médecins-chercheurs du Canada, des États-Unis et du Mexique. Nombre de ces contacts relèvent de la « science légère », c'est-à-dire des modes traditionnels de partage de l'information au sein de la communauté scientifique. Ces relations se trouvent facilitées par de nouvelles activités trilatérales symbolisées par des accords économiques comme l'ALENA ou, plus encore, par des communications électroniques. Mais dans le même temps, l'accentuation de la concurrence économique entre les trois pays sur les marchés mondiaux peut conduire à ce que certaines possibilités de coopération soient examinées plus en détail afin de ne pas compromettre leurs avantages commerciaux.

L'une des structures formelles de la collaboration scientifique régionale est l'arrangement conclu entre la NSF des États-Unis, le Conseil national de la science et de la technologie mexicain (CONACYT) et le Conseil consultatif national des sciences et de la technologie du Canada. La collaboration trilatérale se réalise également au travers de nombreux projets *ad hoc* spécifiques, concernant aussi bien l'étude des oiseaux migrateurs que les normes à appliquer aux produits alimentaires et pharmaceutiques. Les étudiants de tous niveaux se déplacent librement d'un pays à l'autre, et même si les restrictions budgétaires actuellement en vigueur dans les trois pays doivent ralentir les flux internationaux d'étudiants et de jeunes chercheurs, la tendance à long terme restera orientée vers une intensification des échanges. Les États-Unis demeureront probablement le principal partenaire scientifique du Canada et du Mexique.

En 1993-1994, le Mexique s'est publiquement engagé à porter ses dépenses de R-D à 1 % du PIB d'ici à l'an 2000. Malgré les perturbations économiques qu'il a récemment subies, le Mexique reprendra probablement ses efforts pour atteindre cet objectif dès que la situation le permettra. Cette progression de la R-D devrait donner au pays la capacité de devenir un partenaire à part entière des efforts régionaux de recherche engagés avec le Canada et les États-Unis. Par ailleurs, il est à prévoir que la coopération scientifique et technique nord-américaine aura des prolongements dans la région de l'Asie-Pacifique et dans certaines parties de l'hémisphère occidental.

Coopération dans les domaines de la « mégascience »

Le terme « mégascience » désigne de très vastes projets ou programmes caractérisés par une prédominance de la recherche fondamentale. On distingue principalement deux sortes de « mégaprojets » selon qu'ils s'appuient sur des installations centralisées, ou sur des équipements répartis. On trouvera une étude détaillée de la mégascience au niveau mondial dans le chapitre consacré à ce sujet dans ce *Rapport*.

Les États-Unis et le Canada ont participé, et participent encore, à la construction et à l'exploitation de mégaprojets

fondés sur des installations centrales. Les scientifiques de ces pays et du Mexique ont également été les « clients » de mégaprojets de ce type implantés dans d'autres pays, et ont participé en tant que chercheurs à des mégaprojets répartis. Les projets de l'un et l'autre type revêtent une importance cruciale pour le progrès du savoir dans certaines disciplines et pour la solution de problèmes fondamentaux auxquels la communauté mondiale se trouve confrontée, comme le changement climatique mondial.

Les ressources disponibles pour financer les installations de mégaprojets se font de plus en plus rares aux États-Unis et au Canada. L'annulation du projet de collisionneur superconducteur aux États-Unis et l'abandon du projet KAON au Canada en sont la preuve patente. Un point positif est la poursuite de la construction des télescopes Gemini, auxquels participent les États-Unis et le Canada, ainsi que le Royaume-Uni.

Le problème le plus pressant que les partenaires de projets répartis aient à traiter est sans doute celui de la manipulation des données. Outre les questions fondamentales du coût et de l'efficacité des opérations de collecte, de stockage et de diffusion des données, il faudra apporter une solution aux importants problèmes des normes relatives à la qualité des données et des conditions (financières notamment) à appliquer pour en ouvrir l'accès aux chercheurs du monde entier.

Les capacités accrues et le moindre coût des communications modernes ont également influencé le débat sur les aspects institutionnels du financement et de l'administration des mégaprojets. Dans une certaine mesure, lorsqu'il s'agit de « science légère », le besoin d'institutions s'occupant de coordonner et de catalyser la coopération internationale se fait moins pressant. Mais dans le secteur de la mégascience, le mécanisme ascendant des consultations scientifiques ne peut apporter de réponse que sur les aspects les plus faciles du problème : ceux qui concernent le bien-fondé et la faisabilité des projets. Les questions de priorité scientifique et de faisabilité financière se posent sur un tout autre plan et exigent pour leur solution des décisions gouvernementales et des institutions capables de mobiliser des soutiens tant publics que privés. Les évolu-

tions futures des institutions scientifiques internationales pourraient bien déboucher sur l'apparition de nouveaux organismes puissants s'occupant de mégascience et sur une restructuration radicale des organismes de coopération pour les recherches scientifiques de moindre envergure.

LA RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT MILITAIRE

A l'intérieur de la région nord-américaine, les programmes de R-D militaire ont bien plus de poids aux États-Unis qu'au Canada et au Mexique. C'est donc essentiellement les États-Unis qui seront traités dans cette section.

La politique et les budgets de la défense

Les dépenses militaires des États-Unis sont en baisse et continuent de se réduire ; depuis 1985, le budget de la défense a diminué de plus de 40 % en termes réels. Cette contraction des ressources, et les restructurations par fusion ou acquisition qu'elle a entraînées parmi les entreprises travaillant pour la défense, ont fait disparaître plus de un million d'emplois depuis 1987. Les observateurs prévoient de nouvelles compressions de dépenses et de nombreuses suppressions d'emplois jusqu'à la fin des années 90.

Comme la plupart des entreprises et fournisseurs travaillant pour la défense sont spécialisés dans des produits et services de haute technologie, toute la R-D du secteur privé est fortement touchée. Les laboratoires publics et les universités sont eux aussi victimes de la forte réduction des crédits de R-D inclus dans le budget de la défense. Globalement, les disciplines les plus touchées sont les sciences physiques, les sciences de l'ingénieur, les mathématiques et l'informatique.

La part de la défense dans les apports totaux du Gouvernement fédéral à la recherche fondamentale, qui avait atteint plus de 50 % dans les années 50, était tombée à 25 % environ au cours des années 60. Elle a encore décliné pour s'établir à quelque 10 % dans les années 70 et 80, période au cours de laquelle les instituts nationaux de la santé et d'autres agences fédérales ont assumé une plus large part de la R-D des États-Unis. Pendant les années 80

et le début des années 90, la part des crédits de la défense dans le financement de la R-D universitaire est passée de 20 % environ à moins de 5 %.

Parallèlement, le débat sur les objectifs généraux de la R-D militaire s'est déplacé. Au cours des dix dernières années, le contenu de certains projets clés a fait l'objet de vives discussions. On s'est demandé notamment si les projets relatifs aux missiles balistiques stratégiques étaient techniquement réalisables ou compatibles avec une politique prudente de limitation des armements et de sécurité nationale. Plus récemment, on a porté un intérêt croissant à l'idée et aux promesses de la R-D « à double usage », c'est-à-dire aux efforts financés sur fonds publics qui servent simultanément des objectifs civils et militaires, comme dans le Projet de réinvestissement technologique. Plus largement, au moment où le Congrès envisage de réduire considérablement les crédits destinés aux recherches militaires sur les campus, de nouvelles craintes se sont exprimées quant à la préservation de la base scientifique et tech-

TABLEAU 7
FINANCEMENT DE LA R-D MILITAIRE AUX ÉTATS-UNIS,
1994-1995
(en milliards de dollars)

	Exercice 1994 (chiffres effectifs)	Exercice 1995 (estimations)
Recherche fondamentale	1,2	1,2
Développement exploratoire	2,7	3,0
Technologies avancées	6,2	4,3
Démonstration/Validation	2,7	4,3
Études et développement pré-industriel	7,3	8,9
Soutien administratif	3,4	3,4
Développement de systèmes opérationnels	11,2	10,2
Total*	34,6	35,4

* Les chiffres ayant été arrondis, le total n'est pas nécessairement juste.

Source : Données Département de la défense ; AAAS, 1995.

TABLEAU 8
RÉPARTITION PAR DOMAINE DES CRÉDITS FÉDÉRAUX
DE R-D AUX ÉTATS-UNIS, 1995

Fonction	% de la R-D totale	% de la recherche fondamentale
Défense	55	9
Santé	16	44
Espace	11	12
Énergie	4	7
Activités scientifiques générales	4	19
Autres (y compris environnement et agriculture)	10	9

Source : Données NSF, 1995.

nologique indispensable à la réalisation des programmes militaires des États-Unis.

Le tableau 7 présente la répartition des crédits de R-D du Département de la défense dans les années récentes. Les deux premières lignes — souvent regroupées sous la rubrique « base technologique » — représentent les activités de recherche fondamentale et appliquée qui sont la principale source de fonds pour les chercheurs des universités. Cette base, d'environ 4 milliards de dollars, a été relativement stable jusqu'ici, notamment en ce qui concerne la recherche fondamentale, mais est actuellement très menacée.

Le tableau 8 donne la ventilation par fonction des crédits affectés à la R-D et à la recherche fondamentale dans le budget 1995. Le tableau 9 présente la répartition fonctionnelle des fonds affectés à la R-D (et aux installations connexes) pour les exercices 1980 et 1994.

Les priorités de la R-D militaire aux États-Unis

En septembre 1994, le Département de la défense a publié deux importants rapports, une « Stratégie scientifique et technologique » (*Science and Technology Strategy*) et un « Plan technologique » (*Technology Plan*). Le tableau 10

TABLEAU 9
ENSEMBLE DE LA R-D ET DES ÉQUIPEMENTS DE R-D
VENTILÉ PAR DOMAINE, 1980-1994
 (en milliards de dollars constants 1987)

	Exercice 1980	Exercice 1994
Défense	21,8	30,3
Espace	6,8	6,6
Santé	6,0	9,2
Énergie	6,0	2,5
Activités scientifiques générales	2,0	2,5
Ressources naturelles/environnement	1,4	1,7

Source : Données AAAS, 1994 et 1995.

TABLEAU 10
STRATÉGIE ET PRIORITÉS SCIENTIFIQUES ET
TECHNOLOGIQUES DU DÉPARTEMENT DE LA DÉFENSE
 (septembre 1994)

Principes directeurs

- Évolution des technologies pour répondre aux besoins des opérations militaires
- Réduire les coûts
- Renforcer la base industrielle militaro-commerciale
- Promouvoir la recherche fondamentale
- Assurer la qualité

Priorités technologiques pour l'ensemble des activités touchant la défense

- Science et technologie de l'information
- Modélisation et simulation
- Capteurs

Priorités de l'armée de terre

- Sciences de la Terre et matériaux de blindage

Priorités de la marine

- Géophysique des océans et analyse des signatures acoustiques

Priorités de l'armée de l'air

- Physique de l'atmosphère et engins de lancement spatial

Source : Département de la défense, 1994.

présente les principaux éléments de la stratégie. Les plans évoluent chaque année en fonction des décisions budgétaires et des résultats de la recherche. Mais il est vraisemblable que les grandes orientations stratégiques seront maintenues dans les années à venir.

Si le Département de la défense a renouvelé son effort en faveur de la recherche fondamentale dans les années 80 et au début des années 90, ce secteur verra sans doute ses crédits diminuer dans le court terme, comme ce fut le cas en 1995. Toute réduction des crédits de la recherche militaire affectera les universités, à qui sont confiés la plupart des travaux de recherche fondamentale financés par le Département de la défense. En 1994, la part du Pentagone dans le total des apports fédéraux à la R-D universitaire (11,6 milliards de dollars environ) s'est élevée à quelque 1,5 milliard de dollars. Près de la moitié des crédits fédéraux destinés à soutenir la recherche en mathématiques et en informatique dans les universités et plus de 40 % des apports à la recherche technologique provenaient du Département de la défense. La stabilité de ces financements et leur répartition entre les grandes disciplines seront au nombre des questions clés que devront trancher les responsables de la politique scientifique et technologique en 1995-1996.

Dans les derniers mois de 1994, le Gouvernement a présenté les objectifs détaillés, les budgets et les calendriers d'exécution de recherches à mener dans dix-neuf secteurs technologiques liés à la défense. Ces secteurs prioritaires comprennent notamment la propulsion spatiale, les applications militaires de la chimie et de la biologie, de nombreuses applications avancées de l'électronique, ainsi que la modélisation et la simulation. Ces projets représentent des dizaines de milliards de dollars à consacrer au développement exploratoire, à la mise au point et à la modélisation technique sur plusieurs années. La plupart de ces travaux seront réalisés par des entreprises, mais il sera fait appel aux laboratoires publics et aux universités pour en fournir les fondements scientifiques. Les laboratoires directement administrés par le Département de la défense font l'objet d'audits et de projets d'allègement, au même titre que les autres programmes militaires.

Les laboratoires nationaux du Département de l'énergie

Les États-Unis disposent depuis longtemps d'un groupe de « laboratoires nationaux » rattachés au Département de l'énergie. Ces laboratoires polyvalents travaillent non seulement sur les armes nucléaires mais aussi sur un large éventail de sujets comme l'énergie, la gestion des déchets, le génie des matériaux, les techniques biomédicales et l'environnement. Plusieurs de ces laboratoires ont des missions fortement axées sur la défense. Les trois plus importants — Los Alamos, Lawrence Livermore et Sandia — ont un budget combiné de près de 3 milliards de dollars et un effectif total de 20 000 personnes.

Face au ralentissement des recherches sur les armements — les crédits correspondants étant passés, selon une estimation, de plus de 60 % de leur budget à 40 % environ — ces laboratoires tentent de se diversifier. Ils cherchent à s'attacher de nouveaux clients et à développer leurs relations avec des entreprises et des universités qui sont plus étroitement associées à des objectifs et à des marchés civils. Comme ces laboratoires possèdent des compétences de haut niveau et une longue tradition d'excellence, on a agi jusqu'ici avec prudence. Les évolutions prendront plusieurs années. Mais des emplois disparaîtront sous l'effet des coupes budgétaires et à mesure que les expérimentations à la recherche de nouvelles missions assureront une entrée plus ou moins réussie dans de nouveaux domaines comme les sciences et techniques de l'environnement.

Un groupe d'experts indépendants a examiné l'éventail des options envisageables pour l'avenir des laboratoires du Département de l'énergie. Les conclusions de cette étude sont que ces laboratoires n'ont pas encore défini de nouvelles missions viables et que la façon dont les autorités fédérales exercent leur tutelle est cause de dysfonctionnements. C'est au Gouvernement de décider de la marche à suivre, tâche difficile lorsqu'on sait que certains observateurs bien informés recommandent des réductions de ressources allant jusqu'à 50 %.

Le Canada et le Mexique

Les dépenses de R-D militaire du Canada ont été de l'ordre de 250 millions de dollars en 1993-1994 ; vu l'orientation restrictive de la politique budgétaire, elles ne devraient pas augmenter sensiblement dans les années à venir. Le nombre de fonctionnaires fédéraux travaillant pour la R-D militaire a légèrement diminué sur la période 1991-1994. Le Canada continue de jouer un rôle important dans les activités de l'OTAN, y compris dans un certain nombre d'opérations de maintien de la paix et d'interventions militaro-diplomatiques faisant appel à des technologies avancées. Le Mexique, quant à lui, n'a qu'un programme de défense limité et investit peu dans la R-D militaire.

L'OPINION PUBLIQUE FACE À LA SCIENCE ET À LA TECHNOLOGIE

La majorité des citoyens ont une opinion favorable de la science et de la technologie. Cette attitude positive s'exprime, par exemple, au travers du débat politique sur le financement public de la R-D. La réglementation et la fiscalité tendent aussi à favoriser la science et l'éducation, spécialement aux États-Unis. Toutefois, par-delà ces thèmes à coloration financière, de nombreuses données d'enquête concernant les États-Unis laissent entrevoir une évolution des esprits dans le sens d'une plus grande réserve.

Les points positifs

C'est un fait établi de longue date que les adultes américains ont, dans leur ensemble, une opinion positive de la science et de la technologie. Les séries chronologiques révèlent un léger progrès des opinions favorables au cours des dix années écoulées. Les attitudes positives envers la science sont en corrélation directe avec le niveau d'éducation et en corrélation inverse avec l'âge. Ce sont les jeunes adultes ayant fait des études universitaires qui professent le plus de confiance en la science. Les données de 1993 font apparaître une forte corrélation entre le niveau d'éducation et l'adhésion à l'idée que la recherche scientifique apporte plus d'avantages que d'inconvénients.

Réserves vis-à-vis de la recherche et des scientifiques

Les Américains portent un jugement positif sur la motivation des scientifiques, 80 % des sondés estimant que les chercheurs sont animés par la volonté de rendre la vie meilleure.

Cependant, la même enquête de 1993 révèle que la moitié des personnes interrogées considèrent que nombre de chercheurs manipulent ou falsifient les résultats de leurs travaux quand ils ont intérêt à le faire. Cela confirme les craintes de nombreux hommes de science, pour qui le refus d'aborder de front la question de l'intégrité de la pratique scientifique risque de fragiliser la confiance du public et fait peser une menace sur le financement public de la recherche. Une autre préoccupation latente est l'utilisation d'animaux (de mammifères en particulier) à des fins expérimentales. Sur ce point, l'opinion est presque également partagée, une faible majorité se déclarant en faveur de l'utilisation de mammifères comme les chiens dans la recherche biomédicale. Ces sujets contestés renforcent ce que nombre d'observateurs perçoivent comme un mouvement antiscientifique, encore limité mais en progrès, qui mine la confiance dans la science et dans la capacité des programmes scientifiques à promouvoir des objectifs économiques et sociaux.

Approbation des soutiens publics à la recherche

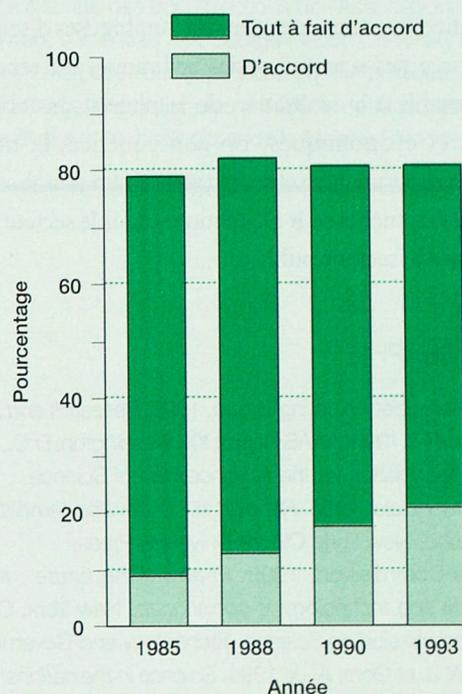
Il est de tradition aux États-Unis que les autorités apportent un soutien aux activités de R-D menées à des fins concrètes, que ce soit dans le secteur public ou dans le secteur privé, ainsi qu'en témoignent les budgets de R-D des organismes chargés de la défense, de l'énergie et de la santé. Ce n'est que depuis la seconde guerre mondiale que le Gouvernement fédéral apporte à la recherche fondamentale un soutien de quelque ampleur. Les citoyens continuent de considérer (à une majorité qui demeure aux alentours de 80 %) que c'est là une mission importante de l'État. Quatre enquêtes menées entre 1985 et 1994 révèlent cependant une tendance préoccupante : si la majorité de 80 % y est vérifiée, la figure 9 montre que la proportion de personnes « en plein accord » avec la proposition que la recherche fondamentale doit bénéficier d'un soutien

public baisse de 10 points sur la période considérée. La campagne menée pour réduire les déficits publics et les attaques portées contre le rôle et les effets de la science dans la société se conjuguent pour rendre les citoyens plus réservés envers les investissements dans la recherche.

CONCLUSION

Dans l'ensemble de l'Amérique du Nord, les budgets de la R-D sont serrés, les entreprises privées n'investissent qu'avec prudence dans ce secteur et la recherche univer-

FIGURE 9
ATTITUDES DU PUBLIC ENVERS LES AIDES FÉDÉRALES À LA RECHERCHE FONDAMENTALE, 1985-1993



Question : Même si elle n'apporte pas d'avantages immédiats, la recherche scientifique qui fait reculer les frontières du savoir est nécessaire et doit bénéficier du soutien du Gouvernement fédéral. Êtes-vous tout à fait d'accord, d'accord, pas d'accord ou pas du tout d'accord ?

sitaire est aux abois. Ces trois faits se vérifient à des degrés divers au Canada, aux États-Unis et au Mexique.

Face à la perspective d'un plafonnement continu des crédits disponibles pour soutenir la science et la technologie, les gouvernements ont entrepris un réexamen approfondi des priorités de la recherche. Le combat qu'ils mènent pour financer la recherche fondamentale et pour définir de nouvelles mesures propres à stimuler la création d'emplois et la croissance pourrait déboucher sur de nombreux réaménagements de structure. Aux États-Unis notamment, de puissants facteurs militent en faveur d'une réduction des dépenses publiques, et ces pressions auront très certainement une incidence sur la R-D. Un vif débat s'est instauré sur les objectifs, l'ampleur et le champ d'action des alliances entre secteur public et secteur privé dans les domaines liés à des marchés commerciaux à forte intensité de R-D.

La communauté scientifique ne s'est pas encore adaptée à ces exigences contradictoires. Néanmoins, de vastes perspectives sont ouvertes dans de nombreuses disciplines et l'avancée des sciences et des techniques est reconnue indispensable à la réalisation de la plupart des objectifs sociaux et économiques. En conséquence, la fin des années 90 pourrait bien être marquée par un accroissement des investissements de R-D, au moins dans le secteur privé sinon dans le secteur public.

BIBLIOGRAPHIE

- AAAS, Intersociety Working Group. 1995. *Research and Development FY 1996*, AAAS Report XX, Washington, D.C., American Association for the Advancement of Science.
- Banque mondiale. 1994. *Rapport sur le développement dans le monde*, New York, Oxford University Press.
- Carnegie Commission. 1992. *Enabling the future : linking science and technology to social goals*, New York, Carnegie Commission on Science, Technology and Government.
- Clinton, W. J. et Gore, A. Jr. 1994. *Science in the national interest*, Washington, D.C., Executive Office of the President, Office of Science and Technology Policy.
- Cohen, W., Florida, R. et Goe, W. R. 1993. *University industry research centers in the United States : final report to the Ford Foundation*, Pittsburgh, Carnegie Mellon University.
- Cole, J. R., Baxter, E. G. et Graubard, S. R. (dir. publ.). 1994. *The*

research university in a time of discontent, Baltimore et Londres, Johns Hopkins University Press.

- CONACYT. 1994. *Science and technology in Mexico*, Mexico, Conseil national de la science et de la technologie.
- Département de la défense des États-Unis. 1994. *Defense Science and Technology Strategy*, Washington D.C., US Department of Defense.
- Industrie Canada. 1994. *Manuel de référence pour les consultations sur les sciences et la technologie*, vol. I et II, Ottawa, Secrétariat de l'examen des sciences et de la technologie.
- National Science Board. 1993. *Science and engineering indicators*. Washington D.C., US Government Printing Office.
- National Science Foundation. 1994. *Science and technology pocket data book* (NSF 94-323) et autres publications, Arlington, Virginie, NSF, Division of Science Resources Studies.
- New York Academy of Sciences. 1995. *Science, technology, and the 104th Congress : perspectives on new choices*, New York, New York Academy of Sciences.
- OCDE. 1994. *Principaux indicateurs de la science et de la technologie*, Paris, Organisation pour la coopération et le développement économiques.
- PNUD. 1994. *Rapport sur le développement humain*, New York et Oxford, Oxford University Press.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur reconnaissance à Jennifer Sue Bond, de la National Science Foundation (États-Unis), dont l'aide extrêmement compétente leur a permis de disposer des données statistiques les plus récentes. Ils tiennent également à remercier Terry Jones, attaché scientifique à l'ambassade des États-Unis à Ottawa, Paul Dufour, d'Industrie Canada, Edward Goff, conseiller scientifique par intérim à l'ambassade des États-Unis à Mexico, Graham Mitchell, du Département du commerce des États-Unis, et Jon Miller, de l'Académie des sciences de Chicago. De précieux avis sur l'évolution de la R-D industrielle leur ont été fournis par James Clovis (Rohm and Haas), George Heimeier (Bellcore), Charles Larson (Industrial Research Institute) et William Ballhaus (Martin Marietta). Edward Harcourt, de l'Académie des sciences de New York, a assumé les tâches de soutien éditorial et administratif.

Rodney W. Nichols, ancien vice-président et vice-directeur général de l'Université Rockefeller (1970-1990), puis chercheur résident à la Carnegie Corporation de New York (1990-1992), est actuellement président et directeur général de la New York Academy of Sciences. Diplômé de l'Université Harvard, il a travaillé dans la physique appliquée, l'analyse de systèmes et la gestion de la R-D, aussi bien pour des entreprises privées que pour des organismes publics.

Il a été engagé comme consultant par l'Office de la politique scientifique et technologique de la Maison Blanche, les Départements d'État, de la défense et de l'énergie, la National Science Foundation, les Instituts nationaux de la santé (NIH) et l'Organisation des Nations Unies.

Membre du comité exécutif de la Carnegie Commission on Science, Technology and Government (1989-1994), il a dirigé les activités internationales de la Commission. Il mène actuellement des travaux sur les moyens de resserrer les liens entre science et technologie et croissance économique, de renforcer les universités de recherche, et d'assurer le renouveau des institutions ayant vocation à faciliter la coopération scientifique mondiale.

J. Thomas Ratchford dirige le Centre d'étude des politiques scientifique, commerciale et technologique et enseigne la politique scientifique et technologique internationale à la George Mason University. Parmi les divers aspects de politique scientifique et technologique qu'il étudie ou enseigne, il accorde une place spéciale à l'interface entre le commerce et la technologie.

À l'issue de sa formation initiale en physique de l'état solide, il a enseigné à la Washington University et à la Lee University et a travaillé comme chercheur dans divers laboratoires publics et privés. Il a dirigé un programme de recherche fondamentale pour l'Office de la recherche scientifique de l'Armée de l'air avant d'être engagé comme administrateur au service du Comité de la science et de la technologie du Congrès des États-Unis.

En tant que directeur associé de l'American Association for the Advancement of Science (AAAS), il a été appelé aux fonctions de directeur général adjoint et placé à la tête des trois directions de l'Association.

Avant son entrée à la George Mason University en 1993, il était directeur adjoint chargé des politiques et des affaires internationales à l'Office de la politique scientifique et technologique de la Maison Blanche.

L'Amérique latine

GUILLERMO CARDOZA ET RAIMUNDO VILLEGAS

Notre contribution au *Rapport mondial sur la science 1993* présentait un historique de l'évolution de la recherche scientifique en Amérique latine depuis la période coloniale jusqu'à nos jours, y compris une brève description de la structure du secteur de la science et de la technologie (S et T) dans les pays de la région. Elle faisait également un bilan général de la situation de la science, utilisant comme indicateurs le nombre de scientifiques et d'unités de recherche dans les divers domaines, les dépenses, la production scientifique et la coopération scientifique régionale et internationale. Certaines suggestions étaient également faites concernant les moyens de renforcer le secteur de la S et T national et de promouvoir la coopération scientifique régionale (Villegas et Cardoza, 1993).

Le présent chapitre traite des aspects importants du secteur de la S et T à la lumière de la situation actuelle en Amérique latine. Tout d'abord, il expose l'état de la science et, dans la mesure des informations disponibles, donne des renseignements supplémentaires sur les statistiques de la S et T données précédemment. Y figurent certains indicateurs du développement économique permettant d'alimenter l'analyse du rôle que la science et la technologie sont appelées à jouer dans la création d'un nouveau modèle de développement s'appuyant sur elles.

D'autres aspects jugés importants pour le progrès de la science en Amérique latine sont ensuite examinés : l'établissement de priorités pour le financement de la S et T ; les relations entre l'enseignement et la S et T, particulièrement en ce qui concerne le recrutement des ressources humaines pour ce secteur ; l'évaluation de la coopération scientifique en Amérique latine, mentionnant quelques grandes initiatives régionales dans ce domaine, et le rôle des nouvelles technologies des télécommunications dans la coopération scientifique.

Enfin, la situation de la science et de la technologie est examinée dans le cadre de la crise économique qui frappe les pays de la région depuis le début des années 80.

Les efforts déployés par les scientifiques n'ayant eu qu'une incidence modeste dans la plupart des pays latino-américains, il semblerait nécessaire d'harmoniser les politiques relatives à la S et T et à l'industrialisation pour que

la science et la technologie contribuent à la modernisation industrielle, condition *sine qua non* pour que la croissance économique atteigne le niveau requis pour réduire la pauvreté et intégrer la majorité de la population dans le processus de développement. Des considérations analogues pourraient également s'appliquer à d'autres secteurs ayant une importante composante scientifique et technologique, tels que la santé, l'agriculture, l'environnement et l'énergie.

Afin d'illustrer la différence que pourrait faire pour l'Amérique latine l'harmonisation de la politique de la S et T avec d'autres politiques nationales, on a établi une comparaison entre la situation de l'Argentine, du Brésil, du Chili, du Mexique et du Venezuela, les cinq pays de la région ayant la plus haute production scientifique, et la situation actuelle de la République de Corée, de Singapour et de Taiwan, trois exemples d'économies récemment industrialisées en Asie.

LA SITUATION DE LA SCIENCE EN AMÉRIQUE LATINE

Les tableaux 1 et 2 présentent les indicateurs concernant l'éducation, la science et le développement économique pour les années 1980 et 1990 afin d'étudier les variations de ces données et leurs relations possibles. Le tableau 1 donne les chiffres relatifs à la population totale, au nombre d'étudiants inscrits dans l'enseignement supérieur, au personnel de recherche-développement (R-D) et au nombre de publications scientifiques produites par les pays d'Amérique latine. Le tableau 2 présente les valeurs correspondant au produit intérieur brut (PIB), au PIB par habitant, à l'investissement intérieur brut (IIB), au taux d'inflation et aux dépenses d'éducation et de R-D en pourcentage du PIB. L'absence de systèmes statistiques nationaux efficaces relatifs à la S et T rend difficile ce type d'étude comparative.

Les données figurant dans le tableau 1 font apparaître une importante augmentation du nombre des étudiants inscrits dans l'enseignement supérieur par 100 000 habitants pour la majorité des pays de la région entre 1980 et 1990, cette augmentation étant particulièrement nette pour

TABLEAU 1
LA SCIENCE ET L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR EN AMÉRIQUE LATINE

Pays/Sous-région	Population (millions)		Étudiants dans l'enseignement supérieur (par 100 000 habitants)		Personnel de R-D (par million d'habitants)		Publications scientifiques (par million d'habitants)	
	1980	1990	1980	1990	1980 ¹	1990 ¹	1980	1990
Mexique	69,6	86,1	1 387	1 552	194 (1984)	260 (1991)	15,8	15,7
Amérique centrale								
Costa Rica	2,2	3,0	2 434	2 461	145 (1979)	538 (1989)	42,2	29,0
El Salvador	4,5	5,1	372	1 512	123 (1981)	28 (1989)	—	1,2
Guatemala	6,9	9,2	736	—	53 (1974)	219	6,1	3,6
Honduras	3,7	5,1	705	854	—	138	3,0	1,6
Nicaragua	2,7	3,8	1 259	836	197 (1985)	207 (1987)	0,4	1,3
Panama	1,9	2,4	2 064	2 181	120 (1975)	354	5,3	38,8
Caraïbes								
Cuba	9,7	10,6	1 568	2 285	553	1 205 (1989)	6,3	13,9
Rép. dominicaine	5,4	7,1	—	—	—	70	2,0	2,7
Andes								
Bolivie	5,6	7,4	1 494	1 975	—	137 (1986)	4,3	3,8
Colombie	25,9	32,3	1 024	1 496	139 (1981)	138	4,3	5,8
Équateur	8,1	10,2	3 321	1 950	194 (1979)	84 (1984)	1,7	3,9
Pérou	17,3	21,5	1 771	3 450	530	—	4,3	6,6
Venezuela	15,0	19,3	2 044	2 847	279 (1983)	284 (1989)	29,4	22,0
Brésil	121,2	150,3	1 162	1 074	298 (1983)	432	17,3	19,8
Cône sud								
Argentine	28,2	32,3	1 741	3 293	337	352 (1988)	46,5	60,4
Chili	11,1	13,1	1 305	1 938	320 (1981)	422	98,4	83,8
Paraguay	3,1	4,2	855	769	—	—	0,5	11,9
Uruguay	2,9	3,1	1 338	2 315	—	675	15,5	25,2

1. L'année précise des données est indiquée entre parenthèses.
— Données non disponibles.

Source : ACAL, 1994 ; ISI, 1980 et 1990 ; UNESCO, 1993 et 1994 ; Banque mondiale, 1992a.

l'Argentine, la Bolivie, la Colombie, le Chili, Cuba, El Salvador, le Honduras, l'Uruguay et le Venezuela. Une diminution est observée au Brésil, en Équateur, au Nicaragua et au Paraguay. Comme l'a fait observer l'UNESCO (1995), le développement quantitatif de l'enseignement supérieur dans la plupart des pays ne s'est malheureusement pas

accompagné d'une augmentation comparable de la qualité. De même, le nombre du personnel enseignant en S et T n'a pas augmenté proportionnellement à celui des étudiants.

Dans le tableau 1, les données relatives au personnel de R-D par million d'habitants font également apparaître des

TABLEAU 2
DÉPENSES POUR LA SCIENCE ET L'ENSEIGNEMENT ET VARIABLES MACROÉCONOMIQUES DES PAYS D'AMÉRIQUE LATINE

Pays/Sous-région	PIB ¹ (millions de dollars E.-U. 1988)		PIB par habitant (dollars E.-U. 1988)		Inflation Taux annuel moyen (%)	IIB ² Taux de croissance moyen (%)	Dépenses d'enseignement en % du PIB		Dépenses de R-D en % du PIB	
	1982	1990	1982	1990	1980-91	1980-90	1980	1990	1980 ³	1990 ³
Mexique	169 170	184 080	2 498	2 266	66,5	-2,0	4,7	4,1	0,43 (1980)	0,30 (1990)
Amérique centrale										
Costa Rica	3 674	5 081	1 517	1 685	22,9	0,7	7,8	4,6	0,14 (1986)	0,16 (1990)
El Salvador	4 771	5 477	1 032	1 043	14,4	-0,6	3,9	1,8	—	0,90 (1989)
Guatemala	7 376	8 290	1 008	901	15,9	-1,4	1,9	1,4	0,50 (1983)	0,20 (1988)
Honduras	3 103	3 915	788	762	6,8	0,4	3,2	4,6	—	—
Nicaragua	2 517	1 961	851	506	583,7	-3,7	3,4	—	0,37 (1985)	—
Panama	4 851	4 742	2 374	1 961	2,4	-2,8	4,9	5,5	—	0,40 (1990)
Caraïbes										
Cuba	—	—	—	—	—	—	7,2	6,6	—	0,80 (1990)
Rép. dominicaine	4 324	4 856	723	677	24,5	0,2	2,2	—	—	—
Andes										
Bolivie	6 280	6 525	1 069	892	263,4	-6,2	4,4	3,0	—	—
Colombie	34 365	46 989	1 224	1 425	25,0	0,9	1,9	2,9	0,10 (1982)	0,60 (1990)
Équateur	11 790	13 336	1 370	1 260	38,0	-4,2	5,6	2,8	0,13 (1979)	0,11 (1989)
Pérou	34 001	29 083	1 883	1 350	287,3	-5,2	3,1	—	0,20 (1984)	—
Venezuela	61 865	65 027	3 881	3 295	21,2	-7,0	4,4	4,1	0,35 (1984)	0,37 (1990)
Brésil	275 689	333 162	2 173	2 216	327,6	2,2	3,6	4,6	0,44 (1980)	0,66 (1990)
Cône sud										
Argentine	87 241	86 355	2 999	2 672	416,9	-7,0	3,6	—	0,77 (1981)	0,80 (1992)
Chili	23 571	33 289	2 046	2 527	20,5	0,6	4,6	3,7	0,44 (1980)	0,55 (1990)
Paraguay	5 278	6 659	1 572	1 557	25,1	1,2	1,5	—	0,16 (1971)	0,03 (1990)
Uruguay	7 653	8 539	2 593	2 760	6,4	-8,5	2,3	3,1	0,20 (1975)	0,20 (1987)

1. PIB : Produit intérieur brut.
 2. IIB : Investissement intérieur brut.
 3. L'année précise des données est indiquée entre parenthèses.
- Données non disponibles.

Source : ACAL, 1994 ; BID, 1992 et 1993 ; MCT, CNPq et IBICT, 1994 ; UNESCO, 1993 et 1994 ; Banque mondiale, 1991b et 1993.

augmentations dans la majorité des pays pour lesquels cette information est disponible. On remarquera que pour certains pays les données disponibles ne correspondent pas à 1980 et à 1990, mais à des années voisines ; elles ont

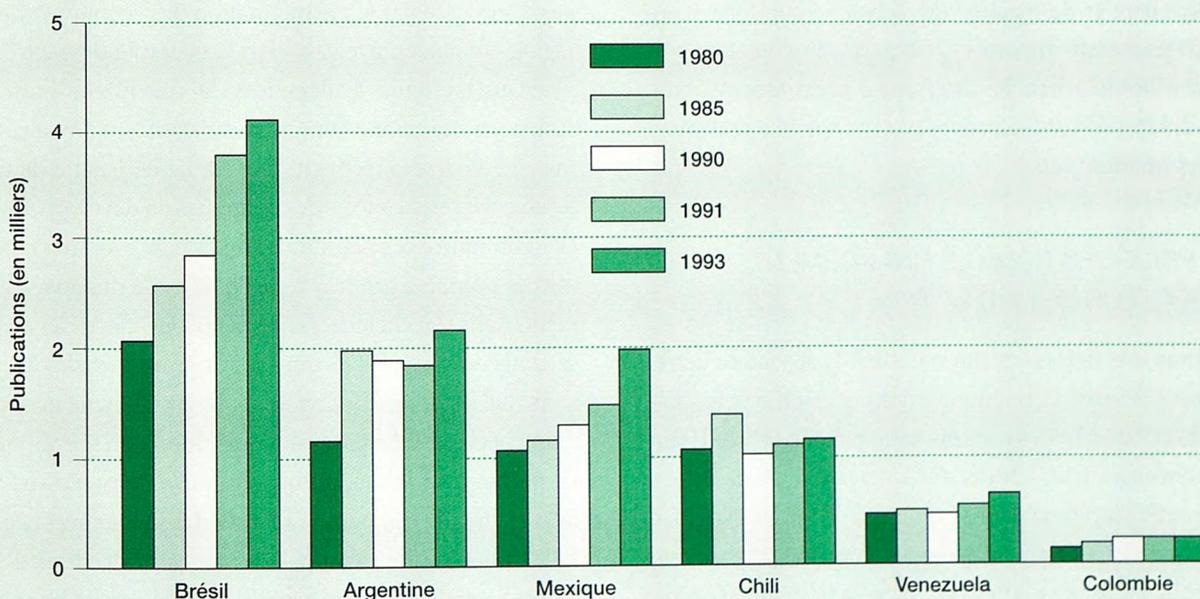
été normalisées en fonction de la population de l'année correspondante (entre parenthèses). Des augmentations significatives des chiffres concernant le personnel peuvent être observées en Argentine, au Brésil, au Chili, au Costa Rica,

à Cuba, au Guatemala, au Mexique, au Panama et au Venezuela et des réductions en Équateur et en El Salvador. La croissance du personnel de R-D n'a pas nécessairement pour résultat l'augmentation du nombre des publications scientifiques, car il faut le temps nécessaire pour que le personnel devienne productif. Par exemple, au Venezuela, l'augmentation du personnel en 1990 ne s'accompagne pas d'une augmentation des publications la même année, mais peut néanmoins expliquer celle observée en 1993 (figure 1). Toutefois, d'autres facteurs, tels que la création du Système pour la promotion des scientifiques en 1990, pourraient également avoir contribué à l'augmentation des publications dans ce pays en 1993. Dans d'autres cas, une absence de corrélation entre la croissance du personnel de R-D et le nombre de publications pourrait être le résultat de systèmes différents de classification du personnel de R-D.

Le nombre des publications scientifiques par million d'habitants, pris comme indicateur de la production scientifique, a augmenté sensiblement en 1990 par rapport à 1980 en Argentine, à Cuba et au Panama et a diminué au Chili, au Costa Rica et au Venezuela. Pour les deux années considérées, les pays où le nombre net des publications a été le plus élevé sont : l'Argentine, le Brésil, le Chili, la Colombie, le Mexique et le Venezuela. Les données correspondant à ces pays pour les années 1980, 1985, 1990, 1991 et 1993 sont indiquées dans la figure 1. Ces six pays ensemble représentent 94 % et 91,5 % respectivement du nombre total des publications scientifiques produites par l'Amérique latine en 1980 et 1990, soit 6 551 et 8 727 respectivement.

Le tableau 2 présente les données correspondant aux dépenses d'éducation et de R-D en pourcentage du PIB pour 1980 et 1990. Comme on peut l'observer, dans neuf

FIGURE 1
PUBLICATIONS DES COMMUNAUTÉS SCIENTIFIQUES, BRÉSIL, ARGENTINE, MEXIQUE, CHILI, VENEZUELA, ET COLOMBIE



Source : SCI, 1980, 1985, 1991, 1993.

pays (Bolivie, Chili, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Équateur, Guatemala, Mexique et Venezuela) sur les quatorze pour lesquels les données étaient disponibles pour ces deux années, il y a eu une diminution sensible des dépenses d'éducation. Une réduction analogue pour les dépenses de R-D est observée dans quatre pays (Guatemala, Équateur, Mexique et Paraguay) sur les onze pour lesquels les données étaient disponibles pour ces deux années. Il est important de noter que dans aucun cas les dépenses de R-D n'ont atteint 1 % du PIB.

La réduction des dépenses d'éducation et de R-D est due à la grave crise économique qui frappe la région depuis le début des années 80, et en particulier à la sortie de capitaux liée à l'endettement extérieur. Comme le montre le tableau 2, la plupart des pays d'Amérique latine ont enregistré une importante réduction du revenu par habitant et de l'investissement intérieur brut et également souffert de taux d'inflation élevés, pouvant atteindre l'hyperinflation comme en Argentine, en Bolivie, au Brésil, au Nicaragua et au Pérou. Par suite de cette crise économique et de la dévaluation des monnaies locales, les budgets des centres de recherche ont été réduits, ce qui a eu une incidence sur les salaires, l'entretien des infrastructures et l'acquisition de l'équipement et du matériel de recherche qui doivent en grande partie être importés. Quelques pays, toutefois, ont essayé d'atténuer les effets de la crise économique en obtenant des ressources financières par l'intermédiaire d'organismes multilatéraux.

LES PRIORITÉS POUR LE FINANCEMENT DU SECTEUR DE LA S ET T

Au cours des décennies qui ont suivi la seconde guerre mondiale, les pays d'Amérique latine ont établi avec le soutien de l'UNESCO des conseils nationaux de la S et T qui ont concentré leurs efforts sur la création d'une infrastructure scientifique dans l'espoir que le progrès scientifique apporterait le développement. Toutefois, la crise qui a marqué les années 80 a clairement indiqué que la production de connaissances seule ne conduit pas spontanément au développement. Les activités de recherche étant

en majorité concentrées sur les sciences fondamentales et menées dans des universités et des centres de recherche de type universitaire, les retombées ont essentiellement bénéficié au système d'enseignement supérieur et à un degré bien moindre à des secteurs tels que la santé, l'agriculture et les ressources naturelles.

Il est devenu clair que la recherche fondamentale, même lorsqu'elle est orientée, nécessite en outre l'adoption d'une politique scientifique de manière à garantir son application à d'autres secteurs. Il est tout à fait exceptionnel que les résultats de la recherche aient automatiquement des répercussions sur des domaines autres que l'éducation et la science elle-même. Prenant ces faits en considération, les gouvernements, les conseils de S et T, les établissements de recherche et les entreprises privées ont commencé à soutenir la création de centres de R-D consacrés à la recherche appliquée et/ou au développement dans des domaines présentant un intérêt particulier pour leur propre pays. Ces centres ont rapidement démontré que la S et T pouvait contribuer à la solution de problèmes dans divers secteurs.

Les réductions budgétaires qui ont frappé le secteur de la S et T dans les années 80 et la modernisation technologique imposée par la restructuration des économies de la région ont alimenté le débat sur la nécessité de mettre en place un système d'allocation de ressources pour la recherche qui tienne compte des priorités nationales en matière de développement. Il est donc nécessaire de rassembler les responsables des politiques du développement et la communauté scientifique afin de concevoir des mécanismes propres à garantir le meilleur usage des investissements dans la recherche. Aujourd'hui, les efforts devraient se concentrer sur les moyens d'instaurer ce dialogue, de sorte que les priorités adoptées pour la recherche ne sous-estiment pas les critères intrinsèques de l'action scientifique. La participation du secteur politique à ce processus est importante afin de garantir l'allocation des ressources nécessaires pour promouvoir les domaines prioritaires de la recherche fondamentale et appliquée tout en assurant à la fois le respect des normes régissant cette recherche et la réalisation des objectifs économiques et sociaux poursuivis.

LE RECRUTEMENT DES RESSOURCES HUMAINES DE LA S ET T

La diminution du nombre des étudiants inscrits dans des domaines scientifiques et techniques observée dans plusieurs pays de la région est liée à la faiblesse de l'enseignement scientifique dispensé à l'école ainsi qu'au manque d'attrait que présentent les carrières de recherche, en particulier du point de vue du revenu, de la reconnaissance sociale et de la stabilité de l'emploi. Rien n'est fait pour susciter en temps utile l'intérêt des étudiants pour ces professions.

Il est très difficile actuellement d'assurer un bon niveau d'enseignement à une population croissante d'étudiants du premier cycle, générée par le développement de l'enseignement supérieur au cours des dernières décennies (tableau 1). La même difficulté existe pour le deuxième cycle universitaire et les centres de recherche, bien qu'à ce niveau la population estudiantine reste encore assez faible. Dans le premier cycle, les facteurs limitatifs sont les réductions budgétaires répétées, le manque d'enseignants qualifiés et le nombre croissant des enseignants à temps partiel remplaçant le personnel à plein temps, ainsi que l'absence d'activités éducatives destinées à susciter le plus tôt possible un intérêt pour les carrières de la recherche. Dans les cycles supérieurs, outre la pénurie de bons conseillers et la modicité des ressources allouées à la recherche, le manque de reconnaissance et de soutien dont souffre la recherche fondamentale et appliquée de haute qualité a tendance à rendre peu attrayantes les carrières scientifiques. Tout cela compromet la continuité des projets de recherche et l'existence même du secteur de la S et T est en jeu.

On s'est rendu compte depuis longtemps que pour assurer l'essor des sciences et des arts, il fallait fertiliser le terrain au préalable. A cet égard, les pays de la région doivent faire face à un double défi : développer l'éducation et introduire l'enseignement scientifique à tous les niveaux. C'est en fait le seul moyen de produire les ressources humaines nécessaires pour parvenir à un développement plus équitable fondé sur la science et la technologie.

Krauskopf (1995) souligne que, puisqu'en Amérique latine la capacité de S et T est liée en grande partie aux universités, il est indispensable que celles-ci constituent le cadre institutionnel solide et stable nécessaire à la créativité et à la réflexion critique. Il est certain qu'universités et centres de recherche ont besoin d'aide pour pouvoir répondre comme il convient aux exigences de la modernisation de l'Amérique latine.

Les gouvernements doivent donc en redéfinir le rôle en ces temps de grandes espérances et de mutations rapides. Ce processus d'évaluation est déjà en cours dans plusieurs pays de la région, mais le plus grand danger pour les universités et les centres de recherche fondamentale est d'abandonner leur vocation essentielle de production de connaissances pour devenir principalement des fournisseurs de services techniques. Le développement des activités de recherche scientifique fondamentale et appliquée dans les universités est également indispensable afin de garantir que le corps enseignant « puisse non seulement connaître et comprendre les derniers progrès et être en mesure de les rattacher à la société où il vit, mais aussi que par l'intermédiaire de la recherche il soit capable d'enseigner les méthodologies et les approches scientifiques » (Hasselgren et Nilsson, 1990). Comme l'a indiqué Pavitt (1993), « contrairement à ce que l'on croit généralement, ce n'est pas l'application directe des résultats de la recherche fondamentale dans un petit nombre de secteurs qui produit les plus grands avantages économiques mais le fait que les connaissances de base, les techniques, les instruments et les méthodes de recherche profitent à une gamme beaucoup plus large de domaines ».

Par ailleurs, il ne faut pas oublier, dans l'élaboration des politiques de formation, la migration des scientifiques et du personnel auxiliaire de R-D vers les pays industrialisés ainsi que la baisse du nombre des étudiants inscrits dans les disciplines scientifiques et techniques qui, dans certains pays de la région, posent un réel problème de diminution du personnel scientifique. Ces tendances s'amplifient lorsque l'on considère la mondialisation croissante du marché du travail pour les scientifiques et les techniciens de haut niveau. Les prévisions pour les années à venir

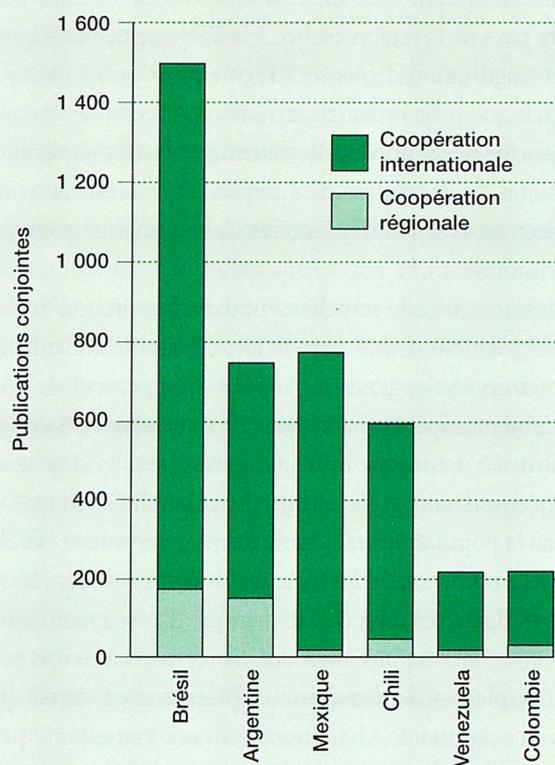
indiquent que les pays industrialisés connaîtront une pénurie croissante de personnel dans ce domaine (OCDE, 1992). Cette situation oblige les pays d'Amérique latine à prendre les mesures nécessaires pour assurer des conditions de travail compétitives afin de réfréner l'exode des compétences scientifiques et techniques. Pour cela il convient en priorité de former des enseignants, d'élaborer et de mettre à jour des programmes adéquats et de posséder les infrastructures et les établissements d'enseignement appropriés. Il existe dans la région de bons exemples de progrès accomplis pour mener à bien cette tâche d'une importance et d'une urgence extrêmes.

LA COOPÉRATION SCIENTIFIQUE EN AMÉRIQUE LATINE

Comme l'indique la figure 2, les scientifiques d'Amérique latine coopèrent en majeure partie avec ceux des pays industrialisés et, à un degré moindre, avec ceux de la région. Comme dans notre précédent rapport de 1993, nous avons retenu comme indicateur de la coopération régionale le nombre de publications scientifiques produites conjointement par des chercheurs de deux pays ou plus d'Amérique latine, et dans le cas de la coopération internationale les publications conjointes avec des scientifiques de pays extérieurs à la région.

La faiblesse relative de la coopération régionale est due dans une large mesure, semble-t-il, à l'isolement des scientifiques et aux difficultés de communication ainsi qu'au petit nombre d'entre eux qui travaillent sur le même problème ou sur des sujets scientifiques voisins. En outre, les programmes d'études universitaires supérieures étant relativement récents dans les pays de la région, cette coopération s'institue plutôt avec des collègues des pays industrialisés où la plupart des chercheurs de la région ont obtenu leur doctorat ou ont travaillé comme chargés de recherche pendant quelque temps après avoir obtenu leur diplôme. Comme Hasselgren et Nilsson (1990) l'ont fait observer, cela signifie aussi que « la plupart des scientifiques des pays du Tiers Monde [...] ont participé à des recherches intéressant les pays industrialisés mais pas

FIGURE 2
COOPÉRATION RÉGIONALE ET INTERNATIONALE,
BRÉSIL, ARGENTINE, MEXIQUE, CHILI, VENEZUELA,
ET COLOMBIE



Source : SCI, 1990.

nécessairement leur pays d'origine ». Ces liens personnels et ces thèmes de recherche communs entraînent des relations permanentes qui permettent effectivement aux scientifiques qui sont revenus dans leur pays d'origine de se maintenir au courant dans les domaines de la S et T de pointe et même, dans certains cas, de bénéficier de contributions et de moyens de financement.

Afin de lutter contre l'exode des compétences que les liens avec les pays industrialisés ont tendance à susciter en cas de difficultés locales, il est important d'offrir aux scientifiques de retour dans leur pays d'origine un environnement satisfaisant. En outre, les organismes nationaux char-

gés de la politique de la S et T devraient définir les secteurs qui ont besoin de personnel et promouvoir des programmes d'études universitaires dans ces domaines. Ces programmes devraient être rattachés d'une certaine manière aux grands centres scientifiques des pays industrialisés ; cela permettrait de renforcer la liaison entre les étudiants diplômés et les besoins de leur pays et de leur région ainsi que d'assurer la haute qualité de l'enseignement local.

Parallèlement, l'établissement de liens avec les scientifiques latino-américains vivant à l'extérieur de la région offre de grandes possibilités de coopération en donnant accès à la recherche de pointe grâce à des échanges et des projets communs.

Centres, réseaux et programmes de coopération régionaux

Au cours des cinquante dernières années, l'UNESCO a joué un rôle important dans la promotion et le développement de la coopération dans le secteur de la S et T en Amérique latine, principalement par le soutien apporté à la création de conseils nationaux de recherche en S et T, de centres régionaux de formation et de remise à niveau et d'autres initiatives régionales et nationales. Outre l'UNESCO, d'autres organisations ont également encouragé les activités scientifiques en Amérique latine, notamment l'Organisation des États américains (OEA), le Conseil international des unions scientifiques (CIUS), l'Académie des sciences du Tiers Monde (TWAS) et le Programme de science et de technologie pour le développement (CYTED).

Les centres régionaux créés conjointement par l'UNESCO et certains pays de la région ont pris leur essor à la fin des années 70 et au début des années 80. Nous aimerions mentionner notamment le Centre latino-américain de physique (CLAF), le Centre latino-américain des sciences biologiques (CLAB), le Centre international d'écologie tropicale (CIET) et le Centre international de coopération scientifique Simón-Bolívar (CICCSB), le premier ayant son siège au Brésil et les trois autres au Venezuela. Ces centres organisent des cours intensifs de brève durée

et des ateliers qui permettent à de nombreux scientifiques d'Amérique latine s'intéressant à des sujets de recherche voisins de faire connaissance. Parmi les autres centres de caractère international soutenus par d'autres organismes, on peut citer l'Institut de recherche et de technologie industrielles pour l'Amérique centrale (ICAITI) et l'Institut de nutrition de l'Amérique centrale et du Panama (INCAP), tous deux situés au Guatemala, l'Institut interaméricain des sciences agricoles (IICA) qui a son siège au Costa Rica, le Centre international de la pomme de terre (CIP) au Pérou, le Centre international d'agriculture tropicale (CIAT) et le Centre international de physique (CIF), tous deux situés en Colombie.

Il est également intéressant de noter la création de réseaux, dont l'un des premiers a été le Réseau latino-américain des sciences biologiques (RELAB), créé en 1975 sous l'égide du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et de l'UNESCO, dont le siège est au Chili. Il compte actuellement quatorze membres nationaux (Argentine, Bolivie, Brésil, Chili, Colombie, Costa Rica, Cuba, Équateur, Honduras, Mexique, Paraguay, Pérou, Uruguay et Venezuela) et six membres régionaux comprenant les associations latino-américaines de biochimie et de biologie moléculaire (PABMB), de botanique (ALB), de biologie cellulaire (SIABC), de génétique (ALAG), de pharmacologie (ALF) et des sciences physiologiques (ALACF). Il est patronné par le CIUS, l'UNESCO et l'OEA. Le RELAB a pour objectif l'intégration d'activités et de politiques régionales de recherche et de formation dans les sciences biologiques. Il réalise notamment des études sur différents facteurs ayant une incidence sur la recherche et la formation en biologie dans la région et organise des colloques, des ateliers et des cours de formation. Le RELAB fait désormais partie du Comité du CIUS sur la science et la technologie dans les pays en développement/Réseau international de biosciences (COSTED/IBN), initiative conjointe du CIUS et de l'UNESCO prise pour organiser des réseaux analogues en chimie, mathématiques, physiques, sciences de la Terre et astronomie. L'Académie des sciences de l'Amérique latine (ACAL) participe également à l'organisation de ces réseaux thématiques.

La coopération régionale et l'ACAL

L'Académie des sciences de l'Amérique latine (ACAL) est une société scientifique régionale, ayant son siège au Venezuela, patronnée par la Fondation privée Simón-Bolívar pour l'Académie des sciences de l'Amérique latine (FSB-ACAL). Elle compte actuellement 120 scientifiques d'Argentine, du Brésil, du Chili, de Colombie, du Costa Rica, de l'Équateur, du Mexique, du Pérou, de l'Uruguay et du Venezuela ; de nouveaux membres seront prochainement élus, originaires de ces mêmes pays ou d'autres, ce qui porterait leur nombre à 150.

Le programme de coopération régionale de l'ACAL a reçu le soutien de la FSB-ACAL, de l'UNESCO, du CIUS-COSTED et de la TWAS. Les activités de ce programme concernent notamment la gestion de bases de données de S et T sur les institutions de recherche, les manifestations scientifiques, les programmes d'enseignement universitaire et les bourses, et la diffusion de cette information par la publication trimestrielle de *Ciencia en América Latina*, qui paraît sous forme imprimée et électronique. Le programme de coopération régionale comprend également le soutien d'activités scientifiques, principalement pour encourager la participation de chercheurs aux cours de formation et aux activités de recherche pour de courtes périodes, la promotion de réseaux régionaux et sous-régionaux et, plus récemment, l'organisation périodique du Forum de l'ACAL sur la politique scientifique. Des scientifiques d'Argentine, de Bolivie, du Brésil, du Chili, de Colombie, du Costa Rica, de Cuba, de l'Équateur, du Guatemala, du Mexique, du Panama, du Paraguay, du Pérou, de l'Uruguay et du Venezuela ont participé à ce programme. Au siège de l'ACAL se trouve également le Centre d'études scientifiques, une unité de recherche chargée du suivi et de l'évaluation de la S et T en Amérique latine.

D'autres réseaux consacrés à des domaines de recherche spécifiques, tels que le Programme régional de biotechnologie pour l'Amérique latine et les Caraïbes (PRB) ayant son siège en Argentine, le Réseau latino-américain de botanique (RLB), situé au Chili, et le Programme andin de

recherches biologiques sur les zones situées en altitude ayant son siège au Pérou, soutiennent également des programmes de recherche et des cours de formation. L'Organisation internationale de recherche sur le cerveau (IBRO) a deux filiales en Amérique latine, CARIBRO, ayant son siège à Cuba, et SABRO au Chili.

Au niveau sous-régional, il est intéressant de citer, à titre d'exemples, le programme de S et T du Secrétariat exécutif de la Convention Andrés-Bello (SECAB) Colombie, créé par les pays andins pour renforcer la coopération dans le domaine des sciences, de l'éducation et de la culture, le Programme de S et T de l'Université andine Simón-Bolívar, située en Bolivie, qui encourage les échanges d'informations dans les domaines de la biotechnologie, des nouveaux matériaux, des technologies de l'information et de l'énergie, et le Centre argentino-brésilien pour la biotechnologie (CABBIO) qui coordonne les projets de recherche binationaux.

Le Programme Bolívar lancé par le Venezuela avec l'appui de la Banque interaméricaine de développement (BID) est une initiative notable destinée à promouvoir la coopération régionale entre le secteur de la S et T et l'industrie. Ce programme encourage les opérations en association entre les centres de R-D et les entreprises situées dans divers pays latino-américains.

LES NOUVELLES TECHNOLOGIES DES TÉLÉCOMMUNICATIONS ET LA COOPÉRATION EN MATIÈRE DE S ET T

Les nouvelles technologies des télécommunications facilitent les flux d'informations et la mise en place de réseaux de coopération dans le secteur de la S et T. En fait, le faible coût et la rapidité de ces communications permettent à des groupes de scientifiques vivant dans différents pays d'entretenir des échanges d'informations dans des domaines de travail d'intérêt commun.

Ces réseaux télématiques ont donné lieu à de nombreuses applications, à savoir : courrier électronique, accès à des banques de données bibliographiques et documentaires, utilisation des capacités de télétraitement et création

de groupes de discussion sur des sujets particuliers. Ces réseaux offrent aussi la possibilité de créer des systèmes d'information pour soutenir les travaux de recherche et la diffusion de la technologie. Ils représentent indubitablement un instrument puissant à la disposition de la communauté scientifique et technologique internationale et ils pourraient conduire à la création d'une société scientifique électronique mondiale.

Les communications informatisées deviennent également un outil très utile puisqu'elles réduisent l'isolement des scientifiques des pays en développement (Cardoza, 1993). Les communications tout d'abord établies à titre personnel peuvent finalement conduire à la conclusion d'accords officiels de coopération interinstitutionnelle.

Ces technologies des télécommunications faciliteront aussi le lancement de programmes de liaison entre les scientifiques latino-américains et leurs collègues qui ont quitté la région pour s'installer dans les pays industrialisés. Nous pouvons ainsi commencer à donner corps à l'idée, que nous avons proposée précédemment (Villegas et Cardoza, 1993), de communauté scientifique mondiale d'Amérique latine et d'un programme de coopération scientifique internationale, impliquant les scientifiques expatriés, pour le développement des sciences dans leur pays d'origine et dans la région.

LA CRISE ÉCONOMIQUE ET SON INCIDENCE SUR LA S ET T ET L'ÉDUCATION

La crise des années 80 a conditionné le développement ultérieur des pays d'Amérique latine. Au cours de cette décennie, comme l'illustre le tableau 2, la baisse du niveau de vie de la population a été associée à un processus inflationniste et à une réduction des investissements susceptibles de générer des emplois productifs. En fait, si nous comparons les données publiées par la Banque interaméricaine de développement (1993) pour les décennies 1970-1980 et 1980-1990, il est clair que pour les pays de la région le taux de croissance annuel moyen du PIB par habitant est passé de 3,3 % à -1,1 % en même temps que le taux de croissance annuel moyen de l'investissement

intérieur brut tombait de 7,2 % à -3 %. En outre, comme l'illustre le tableau 2, au cours des années 80, quelques pays connaissaient un taux d'inflation annuel à trois chiffres.

Les pays d'Amérique latine se sont trouvés confrontés à des situations extrêmement complexes, caractérisées par des pressions extérieures et des conflits sociaux dus à la non-satisfaction des besoins de vastes secteurs de la population dans les domaines de l'éducation, de la santé, du logement et des services publics. La recherche de ressources financières et l'élaboration de mesures pour répondre à la demande pressante de la population appauvrie occupaient à plein temps les équipes gouvernementales — situation dans laquelle l'État devait consacrer la plus grande partie de son énergie à gérer la crise au jour le jour, négligeant ainsi la mise en œuvre de politiques à moyen et long terme, seules capables d'assurer un développement durable et équitable.

Il convient d'indiquer que l'application prolongée de la stratégie dite de substitution aux importations jusqu'à la fin des années 70 a eu des effets néfastes sur la compétitivité à l'échelle mondiale des économies des pays d'Amérique latine. L'application de cette stratégie a permis aux économies de la région d'annoncer des taux de croissance élevés et de franchir les stades qu'il est convenu de qualifier de relativement faciles d'une industrialisation fondée sur la substitution aux importations. Toutefois, très rapidement le manque de capacités de S et T nécessaires pour passer à l'étape suivante de la fabrication locale de produits manufacturés et de biens d'équipement est devenu évident. Le résultat net a été qu'en abordant les années 80, les pays d'Amérique latine, même ceux qui étaient les plus avancés dans la mise en œuvre de la stratégie de substitution aux importations, ont souffert d'un processus de stagnation de leur croissance économique en même temps qu'ils perdaient des parts de marché dans les échanges mondiaux et qu'ils augmentaient leur dépendance à l'égard des technologies importées.

Les privilèges résultant de la protection des marchés intérieurs ont eu tendance à encourager chez les hommes d'affaires le développement d'une mentalité passive d'as-

sistés à l'égard d'un État-providence et à décourager l'esprit de compétition et d'innovation, caractéristique d'une entreprise moderne. Ces faits pourraient expliquer, du moins partiellement, les retentissements profonds suscités par les politiques d'ouverture et de libération des échanges sur la plupart des entreprises des pays d'Amérique latine.

Les programmes récents d'ajustement et de stabilisation conçus comme des solutions à la crise n'ont pas réussi à assurer équitablement la croissance économique tant attendue. C'est plutôt le contraire qui s'est produit. La crise mexicaine au cours des premiers mois de 1995 et son effet sur les autres économies régionales soulignent la fragilité des solutions à la crise appliquées par les pays d'Amérique latine. La crise a également mis en évidence à la fois le caractère stratégique du rôle des secteurs de l'éducation et de la S et T dans le développement ainsi que la nécessité de les actualiser pour les mettre en mesure de contribuer à la satisfaction des besoins de modernisation des économies latino-américaines.

L'évolution récente de l'économie mondiale, caractérisée par une mondialisation économique, financière et technologique, ne facilite pas la tâche des pays d'Amérique latine qui continuent de s'efforcer de modifier leur structure traditionnelle d'insertion dans le commerce mondial, laquelle demeure en grande partie fondée sur l'exportation de produits et de biens peu transformés. Ces pays sont appelés à remplacer cette structure d'insertion par une autre plus compétitive, centrée sur l'exportation de biens à grande valeur ajoutée, ce qui exige que les secteurs de l'éducation et de la S et T jouent un rôle de premier plan.

Malheureusement, en raison de la détérioration de la situation économique des années 80, la plupart des pays de la région ont réduit, comme nous l'avons déjà vu, leurs dépenses d'enseignement et de S et T.

A la lumière des transformations qui s'opèrent dans le monde, il semble nécessaire que les gouvernements de la région effectuent une évaluation des secteurs de l'éducation, de la S et T et de l'industrie afin de déterminer les points forts et les points faibles. Cette évaluation servirait aussi de base à des plans permettant de mettre en œuvre les réformes nécessaires pour garantir la coopération effec-

tive de chaque secteur à la réalisation des objectifs fixés pour le développement. Comme l'ont indiqué Papon et Barré (1993), le principal rôle des gouvernements nationaux à l'égard du système de S et T est celui de « régulateur ». Le gouvernement effectue les analyses et prévisions stratégiques à l'échelle nationale ainsi que l'évaluation du travail et du fonctionnement des organismes publics de recherche, des universités et des instituts de recherche et assure le suivi des interactions entre le système (secteur) national de la S et T et les secteurs industriel et éducatif, les autres domaines d'intervention de l'État et la société en général.

S ET T, INDUSTRIALISATION ET CROISSANCE ÉCONOMIQUE

Les pays industrialisés et les pays en développement diffèrent tant par leur capacité de créer de nouvelles connaissances que par leur aptitude à les appliquer. Dans la plupart des pays d'Amérique latine, la capacité limitée du secteur de la S et T de générer de nouvelles connaissances et de les appliquer au secteur industriel se manifeste par l'obsolescence de l'infrastructure dans ce domaine. Elle explique aussi la faible compétitivité des entreprises, la perte progressive des parts de marché des économies dans les échanges internationaux et la dépendance croissante à l'égard des pays industrialisés.

Les progrès rapides des technologies de production et les nouvelles conditions dans lesquelles s'exerce la concurrence dans les échanges internationaux ont entraîné une érosion rapide des avantages relatifs des pays d'Amérique latine, avantages fondés sur une abondance de ressources naturelles et une main-d'œuvre bon marché. La difficulté consiste à spécialiser la production en créant et en renforçant de nouveaux avantages relatifs dus à la conception et à l'application par l'intermédiaire de la R-D de nouvelles réalisations scientifiques et technologiques. Les pays d'Amérique latine doivent encourager la spécialisation en matière de R-D afin d'atteindre le taux d'innovation nécessaire pour maintenir les niveaux de compétitivité exigés par les marchés internationaux.

Bien qu'un certain degré de coordination du secteur de la S et T apparaisse dans plusieurs pays de la région (tableau 1), il est également vrai que la plupart des activités de recherche n'entretiennent pas de rapport avec le secteur productif. En outre, il est bien connu que très peu d'entreprises possèdent leurs propres divisions de R-D chargées de répondre aux besoins technologiques de la modernisation. Néanmoins, comme certains succès le confirment, il est juste de dire qu'au cours de ces dernières années, de sérieux efforts ont été déployés pour développer la coopération entre le secteur de la S et T et l'industrie, tant aux niveaux régional que national.

L'absence de R-D à l'intérieur de la plupart des entreprises de la région tend à limiter la diffusion des technologies ainsi que la capacité de l'entreprise de les assimiler. La création d'une division de R-D dans une société lui donne la possibilité de formuler ses besoins en matière de recherche. La R-D est une condition *sine qua non* pour atteindre les niveaux de compétitivité nécessaires pour participer aux échanges internationaux les plus dynamiques dans lesquels la technologie joue un grand rôle. A cet égard, Chesnais (1990) montre que l'innovation est le résultat d'un processus très long et très complexe d'accumulation et d'appropriation de technologies, et que la capacité d'assimiler les connaissances scientifiques d'une entreprise dépend de sa participation éventuelle à la production de connaissances dans des domaines analogues.

Étant donné qu'il est difficile de mettre en place au sein d'une entreprise une division de R-D, en raison du manque de mesures d'incitation, de la pénurie de personnel qualifié et de l'importance des investissements nécessaires, des mécanismes de coopération doivent être établis entre l'industrie et la recherche qui, du moins pour le moment, pourraient répondre aux besoins en matière de R-D dans le processus d'innovation. A cette fin, il pourrait être nécessaire que le secteur industriel prenne contact avec les centres de recherche et que le secteur de la S et T mette en place les structures nécessaires lui permettant de suivre de près les problèmes et les besoins de l'industrie.

Précisément dans l'intention de s'orienter vers des économies fortement axées sur le savoir, comme l'a suggéré

l'OCDE (1992), les organismes nationaux chargés de la S et T, ainsi que la capacité nationale de R-D du secteur industriel, les établissements d'enseignement et de formation et les sociétés d'ingénierie devraient concourir à l'établissement de systèmes d'innovation nationaux pour favoriser la coopération entre les divers acteurs participant au processus d'innovation. Ces systèmes d'innovation devraient également encourager la formation d'alliances stratégiques avec des entreprises multinationales prêtes à fournir des ressources technologiques et financières ainsi qu'à permettre l'accès aux marchés internationaux. Ainsi sera créée la capacité endogène de R-D minimale requise pour le transfert et l'adaptation des technologies, ce qui facilitera l'accès aux réseaux mondiaux de coopération technique et aux systèmes modernes de gestion et d'organisation de la production.

Les perspectives économiques de l'Amérique latine dépendront de la compétitivité potentielle d'économies particulièrement exposées à la concurrence internationale (Quenan *et al.*, 1994). A cette fin, il faudra procéder en permanence à des ajustements de la qualité de la spécialisation pour maintenir les avantages compétitifs provenant essentiellement de l'innovation technologique.

EXEMPLES D'HARMONISATION RÉUSSIE DES POLITIQUES DE LA S ET T ET DE L'INDUSTRIALISATION

Au cours des années 80, la République de Corée, Singapour et Taiwan, trois des nouveaux pays industrialisés d'Asie (NPI), prirent des mesures pour accroître leurs dépenses de R-D (tableau 3). La situation était entièrement différente au cours de cette même période en Argentine, au Brésil, au Chili, en Colombie, au Mexique et au Venezuela, les pays d'Amérique latine ayant la plus forte production scientifique (figure 3). De même, il est aussi évident qu'à la suite de la politique de formation des ressources humaines dans le domaine de la R-D, dès 1990, ces pays d'Asie disposaient d'un nombre de chercheurs par million d'habitants plusieurs fois supérieur à celui des six pays d'Amérique latine considérés (figure 4).

TABLEAU 3
DÉPENSES ET PERSONNEL DE R-D, PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES ET VARIABLES MACROÉCONOMIQUES EN AMÉRIQUE LATINE ET DANS CERTAINS NOUVEAUX PAYS INDUSTRIALISÉS

	Dépenses de R-D en % du PIB		Personnel de R-D par million d'habitants		Publications scientifiques			PIB Taux de croissance annuel moyen (%)		PIB par habitant (dollars E.-U.)		
	1981 ¹	1990 ¹	1981 ¹	1990 ¹	1988	1990	1993	1965-80	1980-91	1970 ¹	1980 ¹	1990
Argentine	0,77	0,80 (1992)	337	352 (1988)	2 000	1 952	2 193	3,4	-0,4	1 020	1 970	2 400
Brésil	0,44 (1980)	0,66	298 (1983)	432	2 590	2 973	4 043	9,0	2,5	450	2 060	2 680
Colombie	0,10 (1982)	0,60	138	137	—	188	194	5,7	3,7	340	1 190	1 260
Chili	0,44 (1980)	0,55	320	422	1 500	1 098	1 231	1,9	3,6	840	2 100	1 940
Mexique	0,43 (1980)	0,30	193 (1984)	260 (1991)	1 250	1 350	2 062	6,5	1,2	820	2 320	2 490
Venezuela	0,35 (1984)	0,37	278 (1983)	284 (1989)	510	424	667	3,7	1,5	1 260	4 070	2 560
Rép. de Corée	0,64	1,91	535	1 628	1 277	1 780	2 839	9,9	9,6	270	1 620	5 400
Singapour	0,30	1,10	1 096	1 546	653	843	1 033	10,0	6,6	950	4 550	11 160
Taiwan	0,93	1,65	1 101	2 303	2 001	2 861	4 318	—	—	446 (1965)	3 594 (1985)	4 355

1. L'année précise des données est indiquée entre parenthèses.
 — Données non disponibles.

Source : ACAL, 1994 ; ISI, 1988, 1990 et 1993 ; MCT, CNPq et IBICT, 1994 ; UNESCO, 1993 et 1994 ; Banque mondiale, 1992b et 1993.

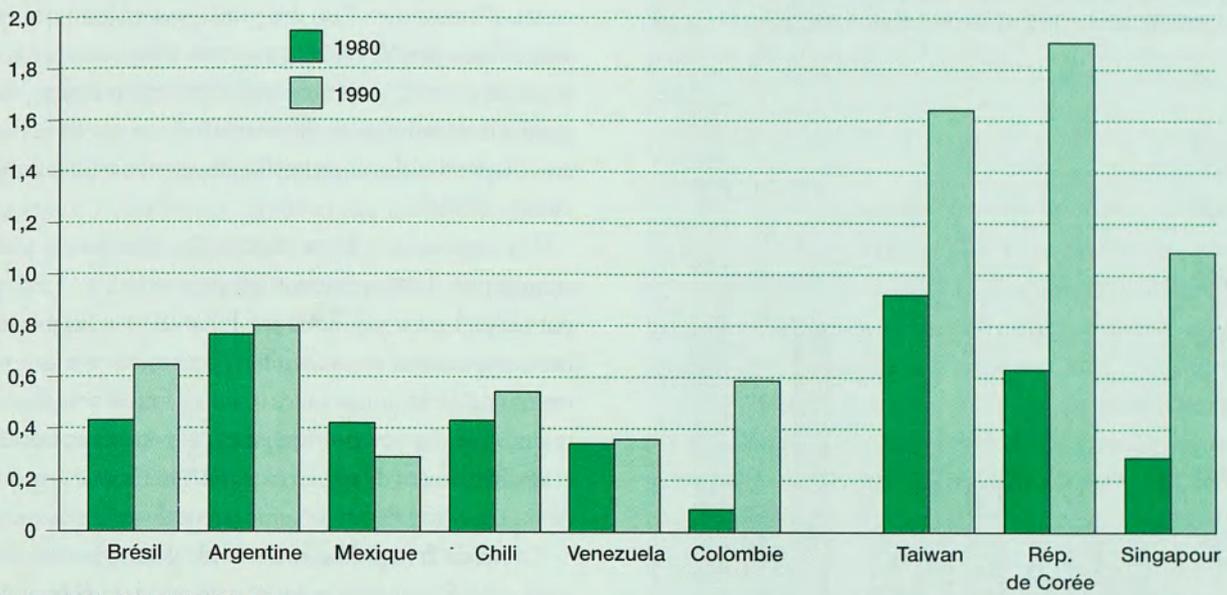
Ces importantes différences observées dans les dépenses et les ressources humaines consacrées à la R-D par les deux groupes de pays s'expliquent par les rôles différents qu'ils assignent à la S et T dans leur processus de développement.

En ce qui concerne la production scientifique, mesurée par le nombre de publications dans des revues à diffusion internationale, on constate des niveaux analogues dans les deux groupes de pays (tableau 3). Toutefois, lorsque ces chiffres sont exprimés par rapport à la population totale, les valeurs concernant Singapour et Taiwan apparaissent clairement plusieurs fois supérieures aux autres (figure 5).

La lecture des indicateurs du développement scientifique et économique présentés dans le tableau 3 induirait à penser qu'une augmentation des dépenses de R-D et un plus grand nombre de scientifiques équivaleraient à une plus forte croissance économique. Toutefois, il convient de

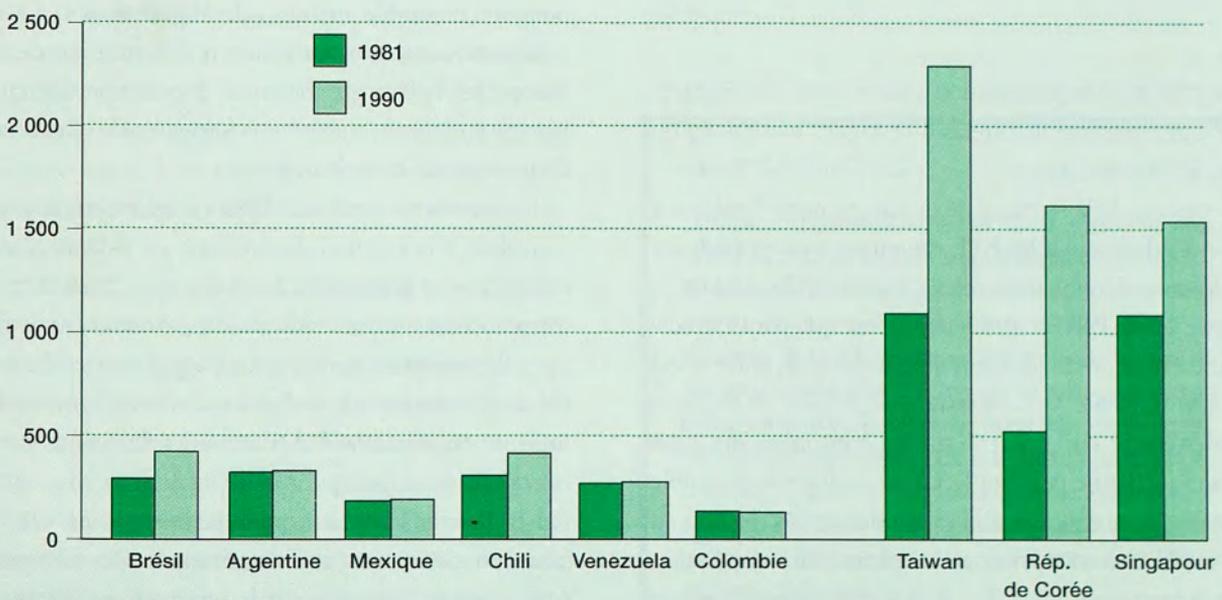
noter que même si l'infrastructure de R-D a constitué le pivot de l'augmentation de la productivité des NPI, d'autres facteurs de succès déterminants sont intervenus. On peut citer notamment la croissance progressive des exportations de produits manufacturés à grande valeur ajoutée ; l'adoption de programmes de stabilisation économique, incluant la libération des échanges et la dévaluation monétaire, qui ont jeté les bases de la compétitivité ; le développement de la demande intérieure (Lipietz, 1985 ; Bustelo, 1992) ; l'adoption d'une structure de la production et des échanges à forte intensité de capital humain et de technologie fondée sur un modèle d'échanges intra-industriels (Won Choi, 1993) ; le transfert vers les pays du Tiers Monde des segments de leur base industrielle correspondant aux produits présentant une baisse de leurs avantages compétitifs, associé à la création de nouvelles industries destinées à l'exportation de produits à plus grande valeur ajoutée et à apport technologique plus élevé. Cette stratégie de mon-

FIGURE 3
DÉPENSES DE R-D EN % DU PIB (DIRD) DANS CERTAINS PAYS D'AMÉRIQUE LATINE ET DANS LES NPI, 1980 ET 1990



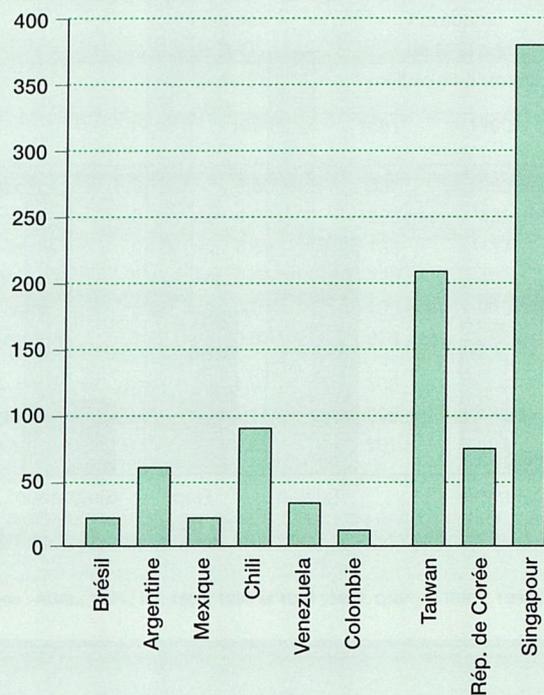
Source : ACAL, 1994 ; UNESCO, 1993.

FIGURE 4
PERSONNEL DE R-D PAR MILLION D'HABITANTS DANS CERTAINS PAYS D'AMÉRIQUE LATINE ET DANS LES NPI, 1981 ET 1990



Source : ACAL, 1994 ; UNESCO, 1993.

FIGURE 5
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES
PAR MILLION D'HABITANTS DANS CERTAINS PAYS
D'AMÉRIQUE LATINE ET DANS LES NPI, 1993



Source : SCI, 1993 ; UNESCO, 1994.

dialisation et de régionalisation a été mise en œuvre sur la base d'investissements directs à l'étranger par des entreprises multinationales.

Le succès de la stratégie de développement fondée sur la S et T adoptée par les NPI, clairement mis en évidence par le taux de croissance élevé de leur PIB pendant la période 1965-1980 et 1980-1990 ainsi que par l'extraordinaire élévation de leur revenu par habitant entre 1982 et 1990 (tableau 3), contraste avec le peu d'effet qu'a manifesté eu la S et T sur les économies des pays d'Amérique latine pendant la même période. Cette faible influence peut être due à la rareté des unités de R-D au sein même des entreprises et au manque de coopération entre le secteur de la S et T et le secteur industriel, comme on l'a noté plus haut. En fait, contrairement à la majorité

des pays d'Amérique latine, les NPI ont conçu leur politique de S et T en fonction des besoins du marché et d'une étroite liaison entre le personnel de la R-D et le processus d'innovation. L'un des principaux objectifs des gouvernements des NPI a été la création d'une capacité endogène de S et T orientée vers le renforcement de la production industrielle de manière à ce qu'elle réponde aux demandes des marchés internationaux (Okamura et Henry, 1993).

Un autre facteur de succès dans la mise en œuvre de la stratégie de développement fondée sur la S et T adoptée par les NPI est le rôle joué par l'État dans le financement des programmes de recherche, l'accent étant mis sur les technologies de pointe et les sciences fondamentales ainsi que sur la définition des domaines de recherche prioritaires et l'établissement de réseaux institutionnels de coopération de la S et T afin de renforcer le processus d'innovation.

Le cas de la République de Corée illustre le rôle décisif joué par l'État lorsqu'il adopte un modèle économique orienté vers les exportations de produits manufacturés. A cet égard, Orozco (1992) rappelle que « depuis la création des Ministères de la science et de la technologie au cours des années 70, la politique adoptée dans ce domaine est orientée vers la promotion de la production et du pays dans son ensemble » et que « le Ministère de l'éducation comprend aussi très clairement que le transfert de technologie est la voie qui mène à la production d'une technologie endogène fondée sur la formation de scientifiques, d'ingénieurs et de techniciens ».

Les gouvernements des NPI ont également largement contribué à la création de divisions de R-D au sein des entreprises en appliquant des politiques d'incitation sous forme d'allocation de subventions, d'exonération d'impôts, de promotion d'alliances stratégiques avec des sociétés multinationales dans des domaines de haute technologie et en soutenant des activités de formation des ressources humaines pour la R-D. Les entreprises privées ont également accru leurs investissements dans la R-D — situation présentant un fort contraste avec les maigres contributions apportées par le secteur privé d'Amérique latine dans ce domaine (Cardoza et Azuaje, 1992). Les

réussites en matière de productivité et de compétitivité des entreprises des NPI peuvent s'expliquer par l'introduction rapide des progrès techniques dans leurs procédés et produits industriels.

L'autre conclusion que l'on peut tirer de la réussite des NPI est que l'adoption d'un modèle de développement industriel fondé sur la S et T ne peut être menée à bien si le pays ne dispose pas déjà de gestionnaires compétents comprenant l'importance de doter les industries d'une capacité endogène de R-D. En outre, le processus appliqué par les NPI nous apprend également que les stratégies de développement industriel pour les pays de la région ne peuvent être conçues et définies sans la participation concertée des divers secteurs intervenant dans le processus d'innovation. Seule une structure synergique de cette sorte a permis aux NPI de surmonter leur retard et les obstacles internes et externes qui y sont liés et de réussir à modifier leur système de commerce international.

Comme le font observer Amable et Boyer (1991), il est indispensable d'adopter des politiques qui favorisent la création de cercles de qualité, fondés sur l'imitation, l'apprentissage, l'innovation et la compétitivité, lesquels à leur tour nécessitent un contexte économique stable pour fournir une main-d'œuvre qualifiée, des informations sur le marché et des sources de financement suffisantes, en particulier pour les petites et moyennes entreprises. La politique de la technologie devrait être conçue comme un moyen d'influer sur les facteurs à long terme de la croissance économique. Tout cela nécessite une cohérence entre cette politique et toutes les sphères de la vie économique et sociale.

En résumé, on pourrait dire que, dans une large mesure, le succès des économies des pays d'Asie est fondé sur le soutien qu'apporte la S et T à la réalisation des objectifs que sont la diversification, la modernisation industrielle et la conquête de marchés pour leurs produits manufacturés à forte intensité technologique. Comme on l'a fait observer dans l'introduction, les mêmes considérations pourraient également s'appliquer à d'autres secteurs ayant une importante composante de S et T, tels que la santé, l'agriculture, l'environnement et l'énergie. Il faut aussi rappeler deux

facteurs qui permirent la contribution de la S et T : la conviction partagée par l'ensemble de la société quant à son importance pour le développement et l'approche pragmatique adoptée par les gouvernements qui ont intégré la politique de la S et T et la politique de développement national.

CONCLUSION

La situation de la science en Amérique latine et les considérations faites au cours de ce chapitre nous amènent à proposer l'adoption pour notre région d'un nouveau modèle de développement fondé sur la S et T, qui soit capable d'assurer une plus grande prise en compte des droits sociaux de la population, de contribuer à surmonter la stagnation économique et d'améliorer la place des pays d'Amérique latine dans le commerce international. La formulation et la mise en œuvre de stratégies de développement par les pays de la région demandent la participation concertée du gouvernement, du secteur de la S et T, du secteur de la production et d'autres secteurs sociaux. C'est à cette tâche que devra être accordée la plus haute priorité dans les plans de développement des pays d'Amérique latine dans les années à venir, à la veille du prochain millénaire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier MM. H. Croxatto, président de l'ACAL, W. Jaffé, vice-président du CONICIT, A. Leone, Sistema Económico Latinoamericano (SELA), C. Quenan, Université de Paris-III Sorbonne Nouvelle, et G. M. Villegas, Instituto Internacional de Estudios Avanzados (IDEA) pour la relecture critique qu'ils ont faite du manuscrit ; nous exprimons également notre reconnaissance à E. Martin del Campo, UNESCO-Bureau de Montevideo, et à J. Allende, Universidad de Chile, pour les précieuses informations qu'ils nous ont fournies sur la coopération scientifique en Amérique latine.

Guillermo Cardoza est professeur adjoint d'économie internationale et de développement technologique à l'Universidad Central de Venezuela et secrétaire exécutif de l'Académie des sciences de l'Amérique latine (ACAL). Il est par ailleurs rédacteur en chef du bulletin *Ciencia en América Latina* et membre du Conseil du Réseau international pour l'accès aux publications scientifiques. M. Cardoza a obtenu le diplôme d'ingénieur chimiste de l'Universidad Nacional de Colombia et a travaillé quelques années dans des entreprises nationales, avant de passer un doctorat en économie et développement à l'Université de Paris-III Sorbonne Nouvelle (France). En 1991, il a été le créateur du Centro de Información y Estudio de la Ciencia de América Latina au sein de l'ACAL, dont il est le directeur et où il effectue des recherches sur la science en Amérique latine.

Raimundo Villegas est chancelier de l'ACAL et professeur à l'Instituto Internacional de Estudios Avanzados (IDEA) de Caracas (Venezuela). Il a obtenu son doctorat en médecine de l'Universidad Central de Venezuela et a travaillé comme attaché de recherche à l'Université Vanderbilt et à l'École de médecine de Harvard, comme professeur invité à l'Université Cornell et comme chercheur invité à l'Institut de cancérologie Dana Farber aux États-Unis d'Amérique.

Au Venezuela, le professeur Villegas a dirigé l'Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), présidé l'IDEA et a été par la suite nommé ministre de la science et de la technologie. Il a activement participé aux travaux du Conseil international des unions scientifiques (CIUS), de l'Organisation internationale de biophysique pure et appliquée, du Comité du CIUS sur la science et la technique dans les pays en développement (COSTED) et du Comité de recherche de l'Organisation panaméricaine de la santé. Il est membre du Comité régional des réseaux scientifiques d'Amérique latine CIUS-COSTED/IBN et du Comité directeur de l'Initiative pour l'hémisphère occidental de l'American Association for the Advancement of Science.

BIBLIOGRAPHIE

- ACAL. 1990-1994. *Base de Datos : Directorio de instituciones científicas de América Latina y del Caribe*, Caracas, Academia de Ciencias de América Latina.
- Amable, B. et Boyer, R. 1991. *L'Europe dans la compétition technologique mondiale : quelques enjeux et propositions*, Paris, CEPREMAP.
- Banque mondiale. 1991a. *Rapport sur le développement dans le monde. Le défi du développement*, New York, Oxford University Press.
- . 1991b. *Indicateurs du développement dans le monde*, New York, Oxford University Press.
- . 1992a. *World development indicators 1992, STARS 2.5*, Computer Edition, New York, Banque mondiale.
- . 1992b. *World tables 1992, STARS 2.5*, Computer Edition, New York, Banque mondiale.
- . 1993. *Rapport sur le développement dans le monde. Investir dans la santé*, New York, Oxford University Press.
- BID. 1992. *Progrès économique et social en Amérique latine. Rapport annuel. Thème : exportations de produits manufacturés*, Washington, D.C., Banque interaméricaine de développement.
- . 1993. *Progrès économique et social en Amérique latine. Rapport annuel. Thème : ressources humaines*, Washington, D.C., Banque interaméricaine de développement.
- Bustelo, P. 1992. *La industrialización en América Latina y Asia Oriental : un análisis comparado*, *Comercio Exterior*, 42.
- Cardoza, G. et Azuaje, M. 1992. *Proyecto REDALC : diagnóstico sintético de la investigación en América Latina y el Caribe*, Caracas, Academia de Ciencias de América Latina.
- Cardoza, G. 1993. *La Red ACAL para la cooperación e integración científica en América Latina y el Caribe*, dans Silvio, J. (dir. publ.), *Una nueva manera de comunicar el conocimiento*, Caracas, UNESCO/CRESALC.
- Chesnais, F. 1990. *La compétitivité technologique en tant que compétitivité structurelle*, dans *Compétitivité internationale et dépenses militaires*, Paris, Economica.
- Hasselgren, L. et Nilsson, J. 1990. *Reflections on the role of basic sciences in Third World countries*, Stockholm, SAREC Report (Agence suédoise de coopération scientifique avec les pays en développement).
- ISI. 1980 et 1985. *Science citation index* (version imprimée), Philadelphie, Institute for Scientific Information Inc.
- ISI. 1989-1993. *Science citation index* (version CD-ROM), Philadelphie, Institute for Scientific Information Inc.
- Krauskopf, M. 1995. *La escasa capacidad científico-tecnológica en América Latina exige fortalecer la cooperación intraregional*, dans Villegas, R. et Cardoza, G. (dir. publ.), *La cooperación para el desarrollo científico de América Latina*, Foro ACAL, Caracas, 1993, Venezuela, Academia de Ciencias de América Latina.

- Lipietz, A. 1985. *Mirages et miracles : problèmes de l'industrialisation dans le Tiers Monde*, Paris, La Découverte.
- MCT, CNPq et IBICT. 1994. *Relatorio estadístico 1993. Coordenação de estatísticas e indicadores de CKT*, Brasília, COOE.
- OCDE. 1987. *Évaluation de la recherche*, Paris, Organisation de coopération et de développement économiques.
- OCDE. 1991. *Choisir les priorités scientifiques et technologiques*, Paris, Organisation de coopération et de développement économiques.
- OCDE. 1992. *La technologie et l'économie. Les relations déterminantes*, Paris, Organisation de coopération et de développement économiques.
- Okamura, S. et Henry, R. 1993. Le Japon et les nouveaux pays industrialisés, dans *Rapport mondial sur la science 1993*, Paris, UNESCO.
- Oro, L. A. et Sebastián, J. (dir. publ.). 1992. *Los sistemas de ciencia y tecnología en Iberoamérica. Colección Impactos*, Madrid, Fundesco.
- Orozco, C. E. 1992. Ciencia, tecnología y recursos humanos en la industrialización de Corea del Sur, *Comercio Exterior*, 42.
- Papon, P. et Barré, R. 1993. Les institutions, dans *Rapport mondial sur la science 1993*, Paris, UNESCO.
- Pavitt, K. 1993. Recherche fondamentale et innovation, dans *Rapport mondial sur la science 1993*, Paris, UNESCO.
- Quenan, C. et al. 1994. *Especialización internacional, competitividad y oportunidades comerciales : América Latina y la Unión Europea. Proyecto : la dinámica de relación entre la CE y América Latina y el Caribe. Regionalización del espacio productivo y nuevas formas de competencia y gestión*, Convenio de Cooperación CE-SELA, Paris/Caracas, Sistema Económico Latinoamericano.
- UNESCO. 1984. *Annuaire statistique 1984*, Paris, UNESCO.
- . 1991. *Rapport mondial sur l'éducation 1991*, Paris, UNESCO.
- . 1993. *Rapport mondial sur l'éducation 1993*, Paris, UNESCO.
- . 1994. *Annuaire statistique 1994*, Paris, UNESCO.
- . 1995. Changement et développement dans l'enseignement supérieur ; document d'orientation, Paris, UNESCO.
- Villegas, R. et Cardoza, G. 1987. Evaluation of scientific development and South-South cooperation in science and technology in Latin America and the Caribbean, dans Faruqi, A. M. et Hassan, M. H. A. (dir. publ.), *The Future of science in China and the Third World*, Beijing, World Scientific Publishing Co.
- . 1991. La investigación en ciencia y tecnología en las universidades, centros de investigación y de estudios avanzados de América Latina : el papel de la integración regional, dans *Retos científicos y tecnológicos. Reunión internacional de reflexión sobre los nuevos roles de la educación superior a nivel mundial : el caso de América Latina y el Caribe. Futuro y escenarios deseables*, 3, Caracas, UNESCO/GRESALC.
- . 1995. La situación de la ciencia en América Latina, dans Villegas, R. et Cardoza, G. (dir. publ.), *La cooperación para el desarrollo científico de América Latina*, Foro ACAL, Caracas, 1993, Venezuela, Academia de Ciencias de América Latina.
- Won Choi, D. 1993. La cuenca del Pacífico y América Latina, *Revista de la CEPAL*, 49.

L'Europe occidentale

ROS HERMAN

L'Europe se caractérise par un curieux amalgame de traditions culturelles séculières et religieuses, qui ont créé un environnement favorable, malgré certaines réticences, à l'éclosion, au développement et à la concrétisation d'idées nouvelles. Pendant quatre siècles, ce « jardin sauvage » a évolué et reçu les apports d'autres traditions, préparant ainsi un terreau fertile à la croissance rapide, à l'ère moderne, des effectifs et du champ d'action d'une communauté de chercheurs qui représente aujourd'hui 0,4 % de la population active et assure 2 % du produit intérieur brut. Nous nous attacherons dans ce chapitre à décrire le cadre des activités scientifiques dans les pays membres de l'Union européenne et de l'Association européenne de libre-échange (AELE).

Les valeurs moyennes mentionnées plus haut masquent de fortes disparités d'un pays à l'autre : en 1989, la Suisse a consacré 2,9 % de son PIB à la recherche-développement (R-D), essentiellement financée par l'industrie, alors qu'en Grèce les ressources affectées à la R-D sont pour la plupart d'origine publique et ne représentent que 0,5 % du PIB. Dans la majorité des pays, ce pourcentage a augmenté dans les années 80, puis a fléchi avec la récession survenue à la fin de cette période et n'a pas encore regagné aujourd'hui tout le terrain perdu. Globalement, on observe une certaine convergence entre les pays à forte intensité de R-D — Allemagne, France, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède et Suisse — et les pays moins avancés à cet égard — Espagne, Grèce, Irlande et Portugal (figure 1).

Si l'Europe ne domine plus le monde scientifique, le rôle essentiel reconnu à la recherche comme moyen d'améliorer la qualité de vie des citoyens explique le fort soutien que les gouvernements européens continuent d'accorder à l'enseignement et à la formation, à la recherche et au développement et, de plus en plus, à la diffusion du savoir et à l'innovation. En moyenne, les apports de l'industrie sont à peu près équivalents aux apports publics, mais on observe de fortes variations d'un pays à l'autre. Ces efforts revêtent de plus en plus une dimension internationale : de nombreux scientifiques travaillent en coopération avec leurs homologues d'autres pays et certains utilisent des

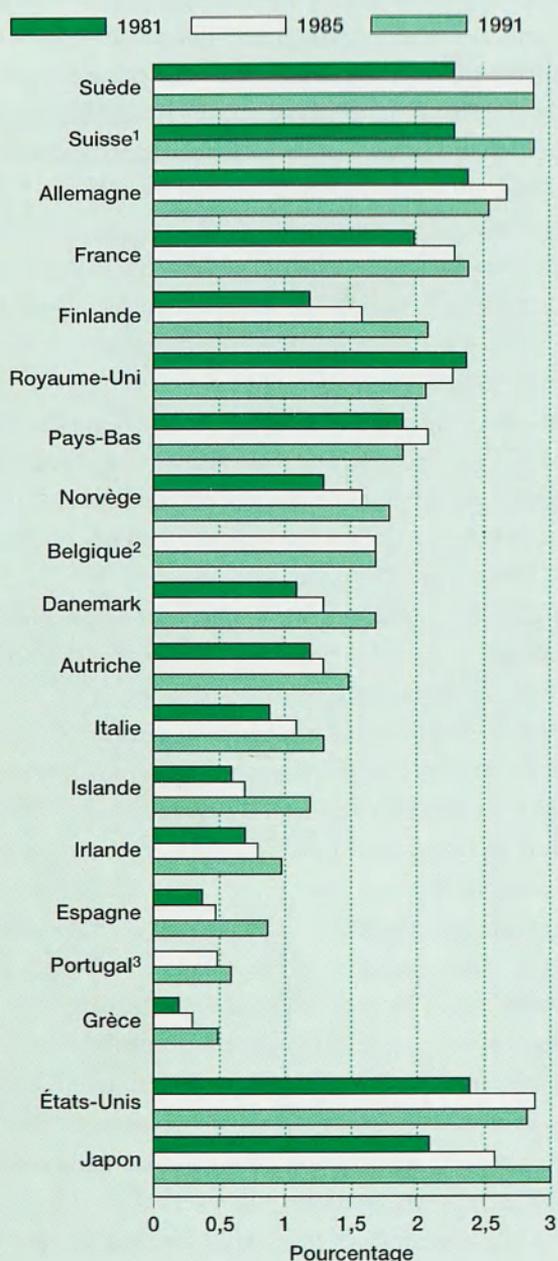
installations mises sur pied dans le cadre d'une collaboration multilatérale. Nombre de sociétés mènent des activités de R-D dans plus d'un pays européen ; et l'Union européenne joue un rôle important en encourageant et finançant des travaux menés en coopération dans les quinze pays membres et au-delà.

Dans cette brève présentation de la vie scientifique en Europe occidentale, nous ne pouvons prétendre en éclairer tous les aspects. Nous nous efforcerons cependant d'indiquer comment s'articulent les différents éléments de ce qui est désormais une communauté scientifique relativement complexe pour mener à bien les tâches qui leur sont assignées. Vu la diversité des cheminements historiques et des cultures à l'intérieur de cette région géographiquement limitée, on y rencontre bien des manières d'organiser l'activité scientifique. Nous examinerons d'abord quelques approches caractéristiques pour en tirer des considérations générales sur la production scientifique, l'enseignement supérieur, les impacts économiques, et sur la nouvelle manière d'envisager la politique scientifique qui commence à imprégner la région. En conclusion, nous nous arrêterons sur les forces unificatrices qui sont à l'œuvre dans les milieux scientifiques européens, sans oublier que la diversité et l'autonomie ont toujours été les garants d'une recherche dynamique et innovante.

LES SYSTÈMES NATIONAUX DE RECHERCHE

Dans la plupart des cas, l'encadrement des activités scientifiques par les pouvoirs publics est un phénomène récent qui s'est surimposé à des systèmes de recherche dont le développement reposait sur les efforts de personnes ou d'entreprises privées. En Europe, les grands pays ont poussé les plus petits à les suivre et à formaliser et à renforcer activement les structures d'encadrement. Celles-ci constituent aujourd'hui un élément important, quoique non généralisé, du système. C'est sur elles que portera la première section de cette étude, dans laquelle nous tenterons d'établir une typologie des systèmes qui se rencontrent en Europe en nous fondant sur les traditions les plus anciennes et les mieux établies (tableau 1).

FIGURE 1
DÉPENSE INTÉRIÈRE BRUTE DE R-D
 (en % du PIB)



1. Barre inférieure : données 1989.
 2. Barre inférieure : données 1990.
 3. Données se rapportant à 1988 et 1990 respectivement.

Source : OCDE, 1994b.

Les systèmes nationaux européens se répartissent en trois grandes catégories :

- La première catégorie est celle des pays qui ont un budget de R-D important et où l'industrie a un rôle dominant. Il s'agit d'États fédéraux, où la responsabilité de la R-D est partagée entre les différents niveaux d'administration. Le gouvernement fédéral fixe les orientations stratégiques générales, laissant aux autorités régionales le soin de traiter avec les entreprises et les universités dans le respect de leur autonomie. L'Allemagne, la Suisse et la Belgique appartiennent à cette catégorie.
- Les pays de la deuxième catégorie se refusent à élaborer des politiques détaillées. Le gouvernement joue néanmoins un rôle important dans le financement de la R-D, notamment par le biais des crédits de recherche alloués aux universités. Des organismes comme les conseils de la recherche et les agences de l'innovation administrent des programmes arrêtés de façon centralisée mais laissent une certaine autonomie aux chercheurs universitaires. Le Royaume-Uni et les petits pays d'Europe septentrionale fournissent des exemples de ce type de système.
- Les pays de la troisième catégorie se caractérisent par un système de gouvernement unifié et centralisateur qui, traditionnellement, planifie et organise l'enseignement, la recherche et de larges pans de l'activité productive. Le soutien des pouvoirs publics à la R-D égale, et dépasse largement dans certains cas, les dépenses de R-D des entreprises. La France est le pays le plus important de ce groupe, dont l'Italie et l'Espagne fournissent des exemples moins radicaux, de même que la Grèce et le Portugal, où les flux de ressources sont beaucoup moins importants.

La taille du pays et l'intensité de la R-D influent également sur le fonctionnement du système de recherche. Dans les petits pays, les relations entre l'administration, les universités, les instituts et les entreprises sont généralement plus directes et les politiques sont nécessairement plus sélectives, visant à harmoniser les activités de recherche avec les atouts économiques et intellectuels et les moyens financiers du pays. De même, les pays où l'intensité de R-D est

relativement faible se caractérisent en général par une dominance de la recherche universitaire, elle-même fortement tributaire des soutiens publics. On s'attend cependant à ce que les sommes investies contribuent à la croissance économique. L'Union européenne a été particulièrement attentive à favoriser la construction de la base technologique des pays les plus pauvres par un dosage judicieux d'aides aux infrastructures et aux compétences scientifiques et techniques.

Systèmes dans lesquels la programmation et le financement de la R-D émanent de sources complémentaires

L'archétype de ce petit groupe de pays est l'Allemagne qui, après sa réunification, a de fortes chances de se hisser au premier rang européen dans le domaine des sciences comme dans d'autres. L'Allemagne est un exemple pour l'Europe et le monde aussi bien pour la vitalité de la recherche que pour l'autonomie du système éducatif et l'exploitation des avancées scientifiques dans les industries de pointe, même si les diplômés en sciences sont relativement peu nombreux parmi les jeunes salariés.

Le système de recherche est extrêmement diversifié ; la conception et la coordination des programmes se font à l'échelon central, mais les activités sont pour l'essentiel exécutées de manière autonome par les divers acteurs institutionnels. L'administration fédérale et les autorités locales assurent conjointement le financement des instituts de recherche et des universités. Un élément clé du système est l'ensemble d'organes nationaux au sein desquels sont discutées les mesures susceptibles d'influer sur le système de recherche. Les responsables politiques, les scientifiques et les industriels se rencontrent régulièrement au sein du Conseil des sciences et de la Commission fédérale de la planification de l'enseignement et de la recherche pour élaborer des mesures ensuite soumises à l'examen de toutes les parties qui pourraient avoir à participer ou à contribuer financièrement aux activités, comme les autorités fédérales et régionales. Les tâches sont réparties selon le principe de « subsidiarité ». Les activités de recherche doivent de préférence être prises en charge par les entreprises ; lorsque cela

n'est pas possible — comme dans le cas de la recherche fondamentale —, elles sont confiées aux universités. La création d'un institut spécifique n'est envisageable que lorsque des considérations d'efficacité et de logistique en imposent l'absolue nécessité, par exemple s'il doit être fait appel à des équipements hautement spécialisés. Il n'existe pas moins de quatre réseaux d'instituts de recherche : la Max-Planck-Gesellschaft (MPG) pour la recherche fondamentale, la Fraunhofer-Gesellschaft pour la recherche appliquée, l'Association des centres nationaux de recherche (instituts utilisant des installations expérimentales de grande taille ou coûteuses) et les laboratoires de la « liste bleue » associés à des missions de service public comme la santé et la protection sociale. Par ailleurs, une généreuse dotation est allouée au Conseil national de la recherche (Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG). L'Allemagne a récemment créé un « superministère » de l'enseignement, de la science, de la recherche et de la technologie, surnommé « Ministère de l'avenir ». Soutenues par ces réseaux de laboratoires et par des aides publiques directes, les entreprises mènent systématiquement d'importantes activités de recherche.

Les universités sont considérées comme les places fortes de la recherche fondamentale, même s'il est reconnu que tous les étudiants n'ont pas vocation à devenir chercheurs et qu'il est nécessaire de financer en priorité la différenciation et la spécialisation, si l'on veut que la recherche universitaire demeure compétitive sur le plan international et que les compétences n'émigrent pas vers des laboratoires mieux dotés en équipements et en ressources financières. Les autorités régionales ont la charge de planifier et d'administrer les universités implantées sur leur territoire ainsi que de veiller à ce que les institutions locales contribuent au processus d'innovation, conçu comme une série complexe d'interactions, constamment nourries par la recherche fondamentale et l'ingénierie scientifique.

La solidité de ce modèle s'est révélée au moment où l'Allemagne a systématiquement intégré l'appareil de recherche scientifique de l'ex-République démocratique allemande. Le Conseil des sciences a procédé à une évaluation de ses forces et de ses faiblesses et examiné les plans proposés par les diverses institutions. Le programme résul-

tant de ces travaux recommandait l'incorporation de certains centres aux réseaux nationaux. Les institutions jugées non viables, y compris l'Académie des sciences de l'ex-RDA, ont été remplacées par un certain nombre d'instituts à vocation régionale.

La Suisse a une structure politique très décentralisée, et le Gouvernement fédéral intervient relativement peu en matière de politique scientifique et technologique. Plus que dans tout autre pays d'Europe, c'est l'industrie qui domine les activités de R-D, dont elle assume une large part des dépenses. De fait, la Suisse est le pays européen qui dépose le plus grand nombre de demandes de brevet par habitant. Néanmoins, le Gouvernement, craignant que l'industrie ne se laisse distancer dans les filières technologiques les plus récentes, a lancé des actions à l'échelle nationale pour promouvoir la R-D dans certains domaines spécifiques et pour soutenir la formation à la recherche et la formation professionnelle de haut niveau.

Si les universités sont pour l'essentiel soutenues par les cantons, deux instituts techniques fédéraux et plusieurs établissements de recherche sont directement financés et en grande partie contrôlés par les autorités fédérales. Le Fonds national pour la recherche scientifique, principale agence de financement en ce domaine, reçoit la quasi-intégralité de ses ressources de la Confédération, qui formule également des directives générales concernant l'utilisation des fonds.

Au cours de la décennie écoulée, la Belgique s'est jointe au groupe des pays officiellement dotés d'une structure fédérale ; l'administration fédérale, les communautés et les régions se partagent désormais la responsabilité de la R-D.

Dans les pays de ce groupe, les dépenses de R-D des entreprises sont plus de deux fois supérieures à celles du secteur public.

Systemes dans lesquels les pouvoirs publics ont un rôle prédominant, mais où le contrôle central est limité

Le Royaume-Uni est le pays le plus important de ce groupe. Le financement public de l'activité scientifique passe par tout un éventail de ministères et d'agences gouvernemen-

tales. Les soutiens à la « base scientifique » proviennent des divers conseils de la recherche — entre lesquels la coordination est assez lâche mais dont les objectifs sont de plus en plus finalisés —, de dotations globales aux universités, ainsi que de fondations privées et de l'Union européenne. L'essentiel de la recherche fondamentale se fait dans les universités, qui jouissent d'une grande latitude pour organiser leurs travaux hors de toute intervention extérieure. Mais les contraintes financières les rendent de plus en plus tributaires de ressources liées à des objectifs à court ou moyen terme.

On observe un net clivage entre la recherche finalisée, qui relève de départements gouvernementaux spécialisés, et la recherche fondamentale, qui se déroule pour l'essentiel dans les universités. La principale source de fonds pour la recherche finalisée est le Ministère de la défense, qui dispose de son propre réseau de laboratoires et apporte un important soutien à la R-D dans l'industrie de l'armement et dans les entreprises spécialisées dans des équipements de pointe intéressant les armées. Le volume des dépenses s'est contracté ces dernières années, la défense ayant cessé d'être considérée comme l'une des grandes priorités nationales.

Dans le passé, les ministères chargés de l'industrie ont largement contribué au soutien de la recherche dans l'industrie civile, aussi bien par des subventions directes aux entreprises que par des contrats de cofinancement dans le cadre des « associations de recherche » mises en place pour soutenir la recherche préconcurrentielle dans différents secteurs. Depuis une quinzaine d'années, le Gouvernement a fait machine arrière, estimant que les recherches à caractère précommercial n'avaient pas à être soutenues par les deniers publics. En conséquence, les soutiens directs à la recherche des entreprises ont diminué. Par ailleurs, les activités des laboratoires travaillant au service des industries manufacturières et de l'agriculture ont été réduites tout au long des années 80 et nombre d'entre eux ont été depuis privatisés ou sont sur le point de l'être. On observe une évolution similaire pour une grande partie de la recherche dans le secteur de la défense — qui alimente d'importantes activités exportatrices, par exemple dans le domaine spa-

TABEAU 1
CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DE RECHERCHE DANS TROIS GROUPES DE PAYS, 1991

Part dans le total des dépenses de R-D des pays de l'OCDE	Dépense intérieure brute de R-D (DIRD)/PIB				Répartition de la dépense intérieure brute de R-D		
	>2 %	1,5-2,0 %	1,0-1,5 %	<1 %	Dépense de R-D des entreprises (%)	R-D réalisée dans les entreprises (%)	Dépense de R-D militaire de l'État (%)
Catégorie A							
10,1	Allemagne				61,4	69,0	3,9
1,2	Suisse				74,5 ¹	74,8 ¹	5,3
0,8		Belgique			64,8	66,5	0,6
Catégorie B							
5,4	Royaume-Uni				49,3	63,9	16,0
1,4		Pays-Bas			51,2	53,2	1,6
1,2	Suède				60,5	68,2	9,6
0,6		Autriche			50,3	58,6 ¹	0,0
0,5	Finlande				56,3	57,0	0,5
0,4		Danemark			51,4	58,5	0,2
0,4		Norvège			44,5	54,6	2,8
0,1			Irlande		59,4	62,0	0,0
Catégorie C							
7,1	France				42,5	61,5	17,6
3,7			Italie		47,8	58,5	3,7
1,2				Espagne	48,1	56,0	7,7
0,2				Portugal	27,0 ²	26,1 ²	4,9
0,1				Grèce	21,7	26,1	0,8

1. 1989.

2. 1990.

Source : OCDE, 1994a ; OCDE, 1994b.

tial. Pour les recherches qu'il est décidé de poursuivre, le contenu des programmes est plus souvent arrêté en fonction du marché que défini à l'échelon central.

Il n'y a pas de ministère unique chargé de la recherche au Royaume-Uni ; c'est l'Office de la science et de la technologie, créé récemment sous les auspices de l'Office de la science et du service public, qui assure la coordination des actions publiques visant l'activité scientifique dans son ensemble.

Les pays d'Europe septentrionale fonctionnent sur le même modèle. Ces pays, petits par la taille mais ambitieux sur le plan technologique, notamment les pays scandinaves qui ont créé entre eux un groupement de recherche, disposent d'une économie où l'industrie et la haute technologie occupent une place prédominante, et ils possèdent une longue tradition de recherche scientifique et d'innovation. Le point commun de leur politique actuelle est de chercher à adapter et à renforcer leur base de connais-

sances par le développement de leur système universitaire, par exemple en soutenant la création de collèges universitaires où l'accent est mis sur la recherche. Parallèlement, les gouvernements évaluent les forces et faiblesses des secteurs industriels dans lesquels le pays détient un avantage afin de répartir les crédits publics de manière à assurer un progrès effectif sur l'ensemble du spectre allant de la recherche fondamentale à la recherche appliquée et à l'innovation. La Finlande et plus encore la Suède sont les pays dont les dépenses de R-D sont proportionnellement les plus élevées ; les Pays-Bas ont réduit leurs dépenses ces dernières années, et le Danemark et la Norvège sont près de les rejoindre. En Autriche, la part des dépenses de R-D dans le produit intérieur brut tend à s'accroître mais reste inférieure à celle des pays précités, et l'Irlande reste encore en queue de classement. Ces deux derniers pays souffrent d'un problème d'exode des compétences : les citoyens ayant atteint un certain niveau de qualification ne trouvent pas à s'employer sur place et sont attirés par des pays où leurs compétences seront davantage appréciées.

Dans tous les pays de ce groupe, la part des activités de R-D réalisée par les entreprises représente de une à deux fois celle du secteur public.

Systèmes de R-D centralisés et pilotés par les pouvoirs publics

Dans les pays méditerranéens, le travail et la réussite universitaires sont tenus en haute estime, aussi bien en eux-mêmes que comme contributions à la culture nationale et à l'épanouissement personnel. Les activités de recherche, en particulier dans les domaines scientifiques et techniques, se partagent entre des instituts spécialisés, souvent administrés et financés par le pouvoir central, et les universités. Celles-ci sont placées sous l'autorité du Ministère de l'éducation et de la recherche. Le rôle important des pouvoirs publics dans la définition et le fonctionnement des infrastructures et de l'économie nationale a pour conséquence qu'une grande part de la recherche appliquée est exécutée aux frais et sous le contrôle de l'État par des entreprises publiques.

Le rouage central de l'effort national de recherche est un

organisme unique financé par l'État, qui coiffe un vaste réseau de laboratoires. La plupart des chercheurs sont donc des salariés de cet organisme. La France, avec le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), fournit l'exemple le plus achevé de ce mode d'organisation. Le CNRS couvre toutes les disciplines, de l'astrophysique à la littérature, et est le principal organe d'expression de la communauté scientifique. La recherche s'organise donc en fonction des grandes priorités nationales. Il existe un certain nombre d'instituts autonomes, mais la plupart des centres de recherche se trouvent dans les universités, bien que peu de chercheurs aient une activité d'enseignement. Les universités ont la possibilité de demander qu'un centre de recherche soit implanté sur leur campus.

Jusqu'à une date récente, la région parisienne accueillait une très forte proportion de laboratoires du CNRS, mais un rééquilibrage est en train de s'opérer en faveur des autres régions. Les autorités régionales disposent désormais d'importants moyens financiers pour mener certaines actions sur leur territoire, y compris pour favoriser l'implantation de laboratoires dans l'espoir de stimuler l'investissement des entreprises. L'administration du CNRS a elle-même été décentralisée pour faciliter la mise en place de partenariats de ce type. Chacun des sept grands ensembles de disciplines mène, par ailleurs, une politique régionale et tend à répartir ses activités de manière à susciter des pôles d'excellence dans chaque région. Il existe également un certain nombre d'organismes qui mènent des recherches finalisées dans des domaines comme l'espace et la santé.

Les universités vont être appelées à développer leur rôle dans la recherche, et le Gouvernement espère améliorer la mobilité entre les universités et les instituts de recherche, qui auront besoin de forces nouvelles lorsque toute une génération de chercheurs atteindra l'âge de la retraite dans les dix années à venir. Les instituts de recherche comme les universités sont encouragés à rechercher des collaborations avec des entités extérieures, entreprises ou autorités locales, régionales ou nationales. Les représentants de l'industrie ont été récemment appelés à participer à l'élaboration des programmes scientifiques nationaux, et il est

prévu d'établir chaque année un plan national pour la science dont les objectifs et les réalisations attendues feront l'objet d'un large débat.

L'Italie possède aussi un réseau d'instituts de recherche placés sous l'autorité du Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR, Conseil national de la recherche), par l'intermédiaire duquel l'État mène des recherches dans des domaines comme la science fondamentale et la santé ; le changement de dénomination du réseau national de recherche chargé de l'énergie (Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, ENEA) reflète l'élargissement de sa mission aux technologies nouvelles et à l'environnement. Il existe également une agence spatiale, de création relativement récente. Comme la France, l'Italie a un Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, chargé d'arrêter les priorités et de superviser et soutenir la recherche publique et une partie de la recherche des entreprises. Un fonds de la recherche appliquée, ayant un large éventail d'activités, apporte notamment un soutien à la recherche fondamentale dans l'industrie, aux programmes nationaux de recherche sur les technologies stratégiques et aux travaux destinés à préparer des collaborations et des évaluations internationales.

Globalement, les universités ont une activité de recherche presque égale à celle des instituts publics. Elles sont également placées sous le contrôle du Gouvernement et ont été associées aux réseaux d'État pour mener des travaux relevant de la compétence du Ministère des universités et de la recherche scientifique et technique. Un plan de trois ans a conduit à la création de nouvelles universités pour réduire le surpeuplement des campus et des mesures seront prises pour renforcer la formation à la recherche et l'autonomie des établissements.

L'Espagne a fortement accru ses dépenses de R-D au cours des années 80. Un plan national a été établi pour favoriser la formation de chercheurs, le lancement de programmes de recherche et l'amélioration des infrastructures scientifiques et techniques. Une commission interministérielle de la science et de la technologie est chargée de rédiger et d'administrer ce plan ; divers autres organismes en soutiennent les objectifs et en évaluent l'exécution. Ici

encore, les laboratoires publics et les universités assument une part à peu près égale des activités, les entreprises jouant un rôle croissant sur la scène nationale.

En Grèce et au Portugal, il n'y a pas de réseaux d'instituts de recherche et les activités de R-D sont concentrées dans les universités. A la différence des petits pays du Nord, l'État aura un rôle central à jouer pour stimuler le développement et l'expansion de l'industrie jusqu'à ce que les entreprises acquièrent une capacité d'initiative suffisante pour lancer et définir des programmes de recherche.

En France, en Espagne et en Italie, le pourcentage de R-D réalisé par les entreprises représente de une à deux fois celui du secteur public ; en Grèce et au Portugal, la part du secteur privé ne représente qu'un tiers de celle du secteur public.

PROBLÈMES COMMUNS ET ÉVOLUTIONS EN COURS

Les systèmes scientifiques européens ont évolué, surtout depuis la seconde guerre mondiale : leurs similarités et leurs différences résultent des interactions entre les cultures politiques, essentiellement nationales, et la culture scientifique, en partie née des cultures nationales mais aussi fortement influencée par la nature de l'entreprise scientifique internationale. Ils matérialisent les efforts déployés par les gouvernements pour soutenir l'activité scientifique par l'apport de ressources suffisantes et pour orienter les recherches en fonction des besoins de la nation.

Mesures de la production

Il convient de rappeler qu'en Europe les systèmes scientifiques modernes ne se sont que récemment surimposés aux réseaux et sociétés de philosophes de la nature qui se sont développés depuis le XVII^e siècle, souvent sans recevoir d'autre soutien que des subsides limités ou aléatoires de sources publiques ou privées. C'est dans cet environnement que la révolution scientifique a trouvé son fondement et que la révolution industrielle a pris naissance et consolidé ses résultats. L'émergence de nouveaux pays, notamment des États-Unis d'Amérique, a évidemment

TABLEAU 2
PRIX NOBEL ATTRIBUÉS DANS LES SCIENCES DE LA NATURE (PHYSIQUE, CHIMIE ET PHYSIOLOGIE OU MÉDECINE),
PAR NATIONALITÉ

Pays	1901-1931	1932-1962	1963-1993	Population actuelle	Indice des prix Nobel
				(millions)	(nombre de prix attribués pour 10 millions d'habitants, 1963/93)
Allemagne	26,00	8,00	8,16	78,27	1,04
Autriche	3,00	2,50	0,33	7,62	0,43
Belgique	1,00	1,00	1,67	9,88	1,69
Danemark	4,00	0,50	0,33	5,13	0,64
Espagne	0,50	0,00	0,00	38,81	0,00
Finlande	0,00	1,00	0,00	4,96	0,00
France	11,00	1,00	5,16	56,16	0,91
Grèce	0,00	0,00	0,00	9,98	0,00
Irlande	0,00	0,00	0,00	3,52	0,00
Islande	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00
Italie	1,00	2,00	1,75	57,48	0,30
Luxembourg	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00
Norvège	0,00	0,00	0,50	4,22	1,18
Pays-Bas	4,00	1,00	0,50	14,88	0,34
Portugal	0,00	0,50	0,00	10,47	0,00
Royaume-Uni	12,50	15,83	11,50	57,21	2,01
Suède	5,50	2,00	2,33	8,50	2,71
Suisse	3,50	3,00	3,33	6,58	5,06
États-Unis	2,50	31,50	49,33	249,93	1,97
Japon	0,00	0,00	1,00	123,12	0,08

érodé la prééminence scientifique de l'Europe, mais les pays européens ont conservé une influence qui dépasse largement l'importance de leur population ou même leur poids économique.

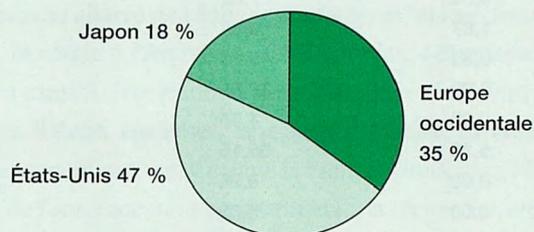
Les chercheurs en science fondamentale poursuivent des objectifs ambitieux : réaliser des percées scientifiques qui remettent en cause les théories en vigueur, expliquer des résultats dont la démonstration était tenue jusqu'alors comme impossible, ou apporter une réponse originale à des problèmes jugés par d'autres insolubles. Les travaux les plus éminents sont récompensés par des prix, comme les trois prix Nobel scientifiques attribués chaque année. Ces derniers, qui sont décernés aux meilleurs hommes de

science du monde entier, peuvent servir d'indicateurs du niveau scientifique de chaque pays et de leurs réalisations dans les sciences fondamentales (tableau 2). Ce sont les Allemands et les Britanniques qui ont reçu le plus de prix jusqu'au milieu des années 50 ; les États-Unis ont alors pris la tête et l'ont conservée jusqu'à aujourd'hui. Le Royaume-Uni et l'Allemagne se disputent la deuxième place, suivis par la France, la Suède et les Pays-Bas, devant l'ex-URSS et le Japon. Depuis quelques années, les États-Unis distancent largement les autres pays ; en fait, rares sont les prix qui ne soient au moins partagés par un scientifique des États-Unis. Si l'Allemagne était l'étoile de l'Europe avant la seconde guerre mondiale, c'est le Royaume-Uni qui occupe

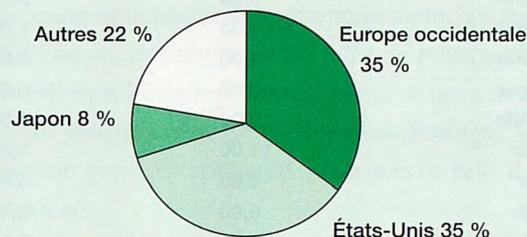
FIGURE 2
PRODUCTION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE PAR RÉGION, 1993

PIB (milliards d'ECU, 1992)	Europe occidentale	4 108
	États-Unis	4 240
	Japon	1 590

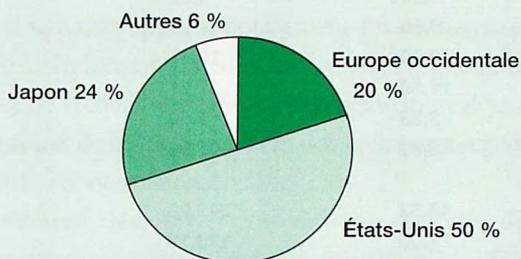
Indice relatif de la dépense de R-D (% de la dépense totale de R-D dans les trois régions)



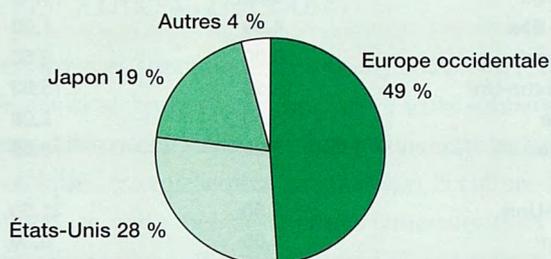
Part dans les publications scientifiques mondiales (% du total)



Part dans les brevets déposés aux États-Unis (%)



Part dans les brevets déposés en Europe (%)



Source : Commission européenne, 1994.

désormais la première place parmi les pays européens, même si sa position tend à s'éroder.

Un certain nombre d'indicateurs de caractère quantitatif permettent de mesurer et de comparer la production scientifique. La figure 2 indique la part relative de trois grands groupes géographiques dans les publications scientifiques et les dépôts de brevets, ces données étant rapprochées du produit intérieur brut de ces groupes et du pourcentage des ressources qu'ils affectent à la R-D. Ces données confirment la bonne place de l'Europe dans le monde scientifique, avec cependant de meilleurs résultats

pour les publications scientifiques que pour les brevets. Mais les écarts observés ne sont pas très importants, mise à part la contribution relativement modeste du Japon à la littérature scientifique. Encore faut-il interpréter avec prudence les données bibliométriques, qui sont en général biaisées en faveur des publications en langue anglaise.

Il ressort de ce tableau que l'Europe occidentale et les États-Unis sont à peu près au même niveau pour les publications scientifiques et pour le produit intérieur brut. Cependant, les États-Unis consacrent à la R-D une part plus importante de leurs ressources pour atteindre ce résultat.

Le Japon affecte une part légèrement plus importante de son produit intérieur brut à la R-D et s'il est relativement mal placé pour les publications, il obtient de bons résultats pour les brevets, déposant plus de brevets aux États-Unis que l'ensemble de l'Europe.

Selon les analyses de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), les gouvernements des pays de l'Europe occidentale ont encouragé le développement de la recherche scientifique et de l'enseignement supérieur. Ils ont dans l'ensemble renforcé leurs systèmes de manière à préserver les principes des philosophes de la nature : combiner l'autonomie des chercheurs et des systèmes de répartition des ressources et de rétribution fondés sur une évaluation collégiale. Ils ont ainsi assez bien réussi à encourager une recherche de qualité et à fournir un cadre de travail aux enseignants prêts à se consacrer au nombre croissant de jeunes qui entrent à l'université.

L'enseignement supérieur

La plupart des pays européens consacrent d'importantes ressources à l'éducation, qu'ils tiennent pour essentielle à l'accomplissement des aspirations personnelles et nationales et à la création de richesses grâce au renouvellement et au perfectionnement d'une main-d'œuvre qualifiée et à la formation de citoyens informés, responsables et réfléchis. Toutefois, le pourcentage de jeunes salariés (25-30 ans) ayant une formation universitaire, qui, en 1991, variait de 17 % en Espagne à 5 % au Portugal et de 11 à 15 % pour les grands pays, est bien inférieur à celui des États-Unis (24 %). La proportion de chercheurs et d'ingénieurs dans la population active de la Communauté européenne était en moyenne de 4,3 % en 1991, l'Allemagne (5,9) et la France (5,2) se situant légèrement devant le Royaume-Uni. Les chiffres correspondants sont de 7,6 % aux États-Unis et de 9,2 % au Japon. On voit donc que l'Europe est fort en retard quant à la diffusion des qualifications dans la population active. Cela est particulièrement inquiétant lorsqu'on sait qu'il existe un lien direct entre le niveau d'éducation et les chances d'obtenir un emploi ; certains experts soutiennent que l'une des armes essentielles pour abaisser

le niveau élevé du chômage en Europe est de fournir aux jeunes davantage de possibilités de se former et d'étudier.

Cela étant, l'enseignement supérieur s'est développé rapidement en Europe depuis la seconde guerre mondiale, mais ce progrès n'est pas allé sans poser de problèmes. La montée des effectifs s'est rarement accompagnée d'une croissance proportionnelle des moyens financiers, notamment ces dernières années, et les universitaires de nom-

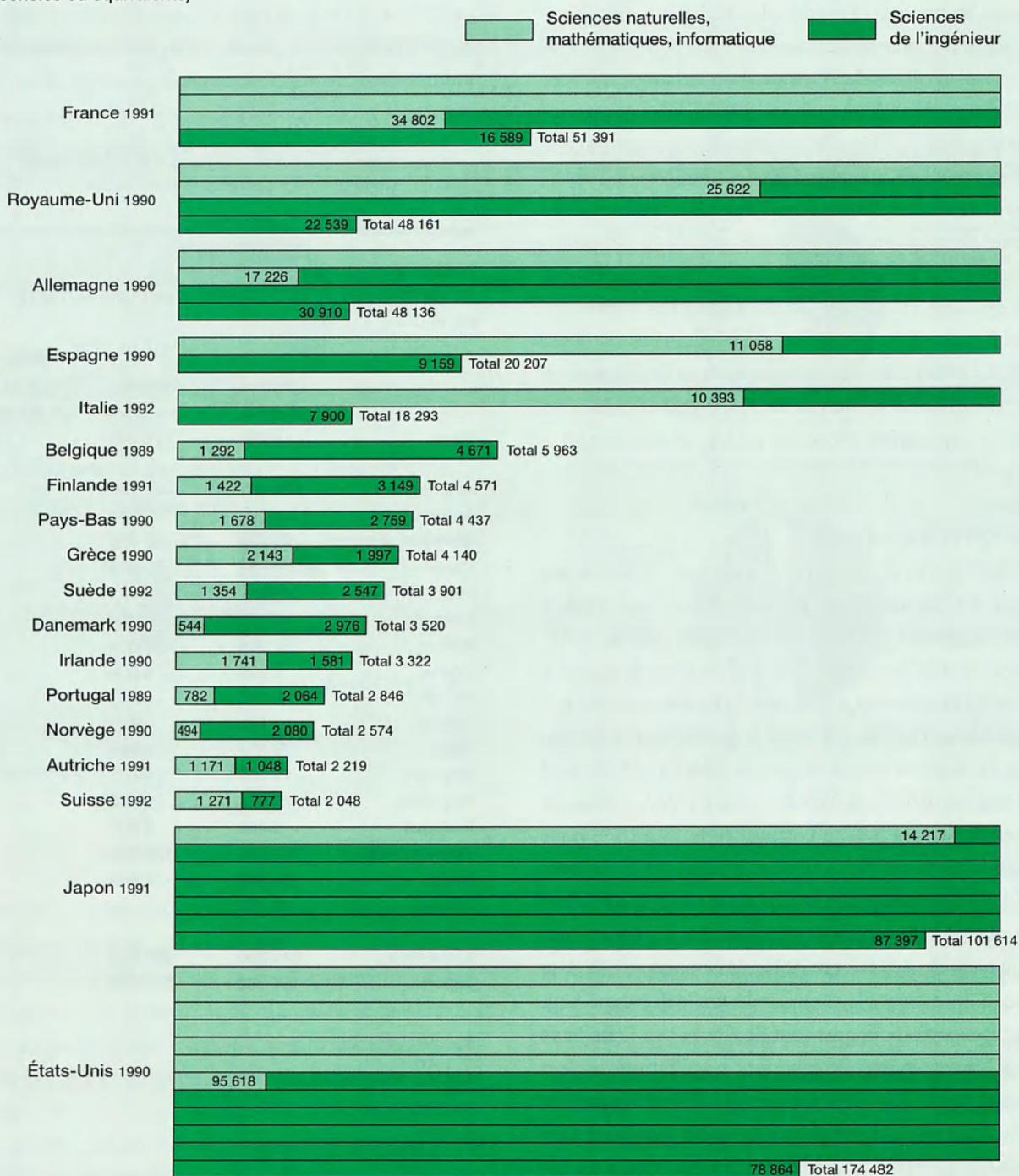
TABLEAU 3
SCIENTIFIQUES ET INGÉNIEURS AYANT UNE ACTIVITÉ DE R-D

Pays	Chiffres absolus (1989)	Chiffres absolus (1993)	Personnel de R-D pour 1 000 salariés (1991)
Allemagne	176 401	181 794 ²	5,9 ⁵
Autriche	8 782	—	2,5 ⁵
Belgique	17 583	18 465 ²	4,3
Danemark	10 962	12 970	4,1
Espagne	32 811	41 901	2,6
Finlande	10 593 ¹	14 030 ³	5,5
France	120 430	138 434	5,2
Grèce	5 299	6 230 ³	1,5
Irlande	4 165	5 965	4,0
Islande	685	720	4,8
Italie	76 074	72 968	3,1
Norvège	12 156	14 424	6,3
Pays-Bas	26 680	26 680	4,0 ⁵
Portugal	5 456	5 908 ²	1,2 ²
Royaume-Uni	134 000	123 000 ⁴	4,5
Suède	25 585	27 445	5,9
Suisse	14 250	—	5,2 ⁴
États-Unis	949 300	887 600	7,6 ⁵
Japon	457 522	518 659	9,2

1. 1987.
 2. 1990.
 3. 1991.
 4. 1992.
 5. 1989.
- Données non disponibles.

Source : Commission européenne, 1994 ; OCDE, 1994a, vol. 2.

FIGURE 3
 NOMBRE DE DIPLÔMÉS EN SCIENCES DE LA NATURE ET EN SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
 (licenciés ou équivalents)



Source : UNESCO, 1994.

breux pays ont vu leur situation se dégrader aussi bien en tant qu'enseignants qu'en tant que chercheurs. On attend toujours des établissements d'enseignement supérieur qu'ils fournissent un réservoir de créativité, d'érudition, d'autonomie, d'indépendance d'esprit et d'objectivité, qu'ils soient à même d'apporter une contribution importante au débat sur le fonctionnement de la société. Concilier les impératifs de la longue tradition européenne d'excellence universitaire avec les pressions du court terme est l'un des grands défis de la décennie. La politique récente des autorités a tenté de combiner les mesures visant à accompagner la montée des effectifs avec des mesures propres à assurer la qualité et la pertinence de la recherche. L'un des moyens communément utilisés a été d'accroître la part des soutiens à la recherche universitaire attribués selon des procédures concurrentielles par des entités externes, organismes publics et entreprises. En outre, certains pays, comme la France, les Pays-Bas, le Danemark, la Finlande et la Suisse, ont entrepris une réforme d'ensemble de leur système universitaire, en s'attachant en particulier à améliorer les possibilités d'exécuter des recherches ou d'acquérir une formation à la recherche dans le troisième cycle.

Expansion et application de la recherche

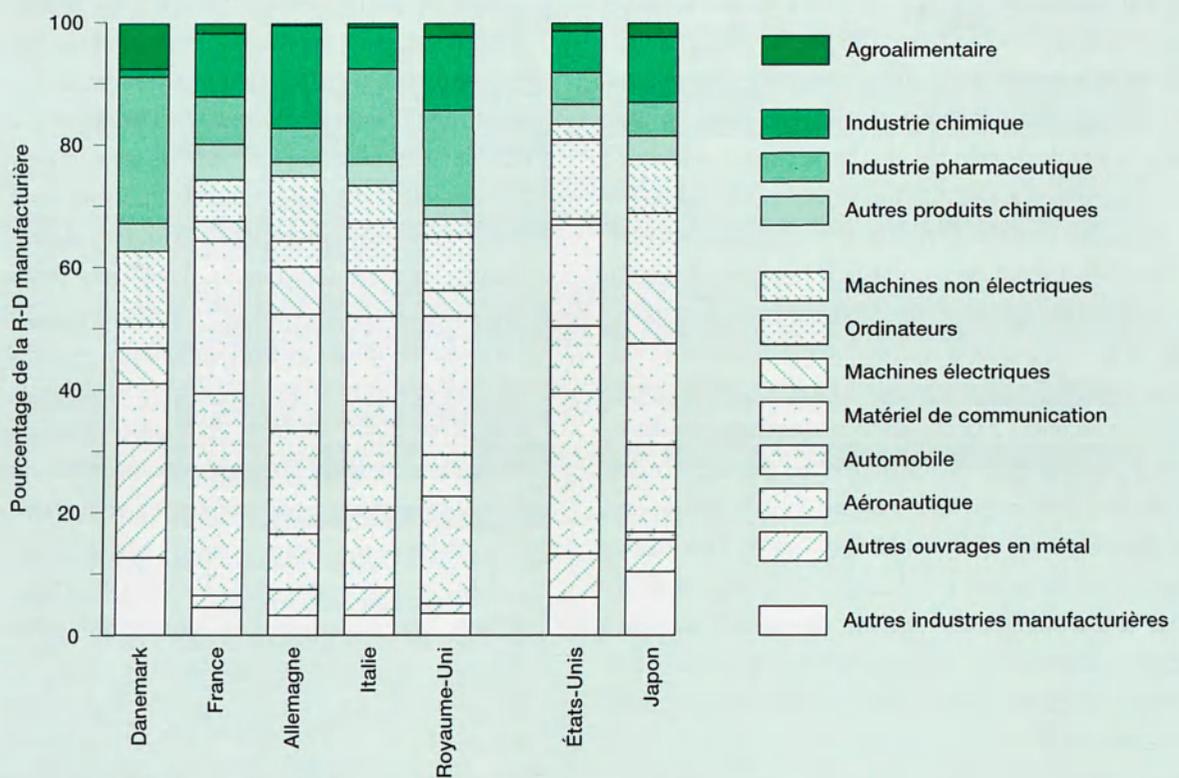
La disponibilité d'un corps de chercheurs a permis aux entreprises et aux services publics d'élargir et d'approfondir leurs compétences techniques et, par voie de conséquence, de mettre au point des produits et techniques sophistiqués.

Dans l'industrie, l'innovation est un facteur essentiel de la compétitivité. L'intensité de la recherche, c'est-à-dire le rapport des dépenses de R-D à la production, est plus forte dans certaines branches que dans d'autres. En Europe, les branches dans lesquelles ce rapport est le plus élevé sont l'aérospatiale, la pharmacie, l'électronique, l'informatique et la chimie ; il est également important dans l'automobile, l'électrotechnique et l'instrumentation. Par rapport à leurs concurrents des États-Unis et du Japon, les industriels européens ont une position dominante dans trois secteurs : la chimie, la pharmacie et l'automobile. Les entreprises

multinationales de grande taille y sont nombreuses ; elles produisent et mènent des recherches dans plusieurs pays. Elles peuvent ainsi tirer parti des travaux effectués presque partout, même en dehors d'Europe ; leur avance en biotechnologie, par exemple, s'appuie davantage sur les travaux réalisés aux États-Unis que sur les recherches menées en Europe. Mais la production de l'Europe est inférieure à celle des deux autres régions dans les secteurs clés de l'électronique, de l'informatique et de l'équipement de bureau, et la position des entreprises tend à s'y détériorer. Par ailleurs, les entreprises font de la recherche fondamentale dans des domaines comme l'électronique et la pharmacie. Dans des disciplines nouvelles comme le génie génétique et la branche qui en dérive, la biotechnologie, il est bien difficile de distinguer entre recherche fondamentale et recherche appliquée. Dans les secteurs de l'aérospatiale et de l'équipement scientifique, l'Europe occupe une position intermédiaire.

La plus grande part de la R-D des entreprises — qui dépasse largement la moitié de la dépense totale de R-D dans les pays technologiquement les plus avancés — repose sur des travaux scientifiques effectués dans le secteur public, et dans certains pays (l'Allemagne constituant l'exception la plus notable) les entreprises mènent habituellement leurs travaux hors de tout contact avec les centres de recherche fondamentale. De nombreux gouvernements ont, par divers moyens, encouragé les industriels à renforcer leurs capacités technologiques : en subventionnant les recherches portant sur des produits auxquels ils s'intéressaient particulièrement, en ouvrant aux entreprises l'accès à des instituts de recherche possédant les compétences voulues, en offrant des avantages fiscaux et d'autres incitations financières, et en encourageant le dialogue entre industriels et scientifiques. Dans certains pays, les pouvoirs publics prennent en charge une part importante du coût de telles recherches : en France, en Suède, au Royaume-Uni et en Allemagne, de 20 à 30 % des crédits publics de R-D vont à l'industrie, pour l'essentiel dans le secteur de la défense. En outre, la plupart des gouvernements européens affectent de 20 à 30 % de leur budget civil à divers programmes de déve-

FIGURE 4
STRUCTURE SECTORIELLE DES DÉPENSES DE R-D DANS LES INDUSTRIES MANUFACTURIÈRES DE DIFFÉRENTS PAYS, 1990



Note : Ne figurent sur ce tableau que les secteurs et sous-secteurs les plus importants.

Source : OCDE, 1994a.

loppement économique ; ce pourcentage est moins élevé en Autriche et en Belgique et près de deux fois moindre en Irlande.

On observe depuis peu une tendance des pouvoirs publics à inviter les industriels à participer à la définition des programmes nationaux, notamment lorsque la rareté des ressources impose des arbitrages entre différents axes de recherche. Pratiquement tous les pays européens ont mené à bien ou engagé des études pour préciser les contours de leur avenir technologique et identifier les mesures à mettre en œuvre pour favoriser les évolutions

jugées souhaitables. Ces travaux consistent souvent à charger des groupes d'experts de mettre en rapport certains domaines prometteurs de la recherche fondamentale et les réalisations technologiques que de nouveaux travaux de développement pourraient rendre possibles. Les résultats de cette activité prospective aident les entreprises à planifier leurs activités et servent de guide aux gouvernements, qui peuvent aménager leurs plans de financement et les infrastructures de manière à soutenir activement les travaux de R-D des petites et grandes entreprises, notamment les travaux à long terme et les travaux « à la marge », c'est-à-

dire ceux qui risqueraient de ne pas être entrepris en l'absence d'un minimum de soutien public.

Nous avons vu que ces efforts ont absorbé une part non négligeable du PIB — et pourtant, ils n'ont pas entièrement réussi à préserver la compétitivité de l'industrie. Les entreprises européennes ont notamment des faiblesses sur le plan de la productivité : la production par salarié, calculée en équivalent plein temps, est bien inférieure à celle du Japon et n'atteint pas la moitié de celle des États-Unis. L'Europe, qui détient une part de marché satisfaisante pour les exportations de produits de haute technologie, n'a pas de marché intérieur assez cohérent et vigoureux pour assurer un niveau d'emploi suffisant. Ces problèmes sont de la plus haute importance pour les gouvernements nationaux et régionaux ainsi que pour l'Union européenne dans son ensemble et, comme nous le verrons plus loin, les orientations prises en matière de R-D ne sont pas toujours de nature à contribuer à leur solution.

Au cours des dernières décennies, les gouvernements en sont ainsi venus à une conception nouvelle du rôle dévolu à la science dans la vie de la nation et ont modifié en conséquence les principes inspirant leur action. Le changement le plus marquant est la mise en cause de l'hypothèse selon laquelle l'apport de ressources adéquates à l'enseignement et à la recherche suffirait à lui seul à assurer la compétitivité économique. Les gouvernements doivent réexaminer tous les aspects de leur action pour venir à bout des problèmes auxquels ils sont confrontés, y compris celui des interventions publiques dans le domaine scientifique et dans la vie de la nation dans son ensemble.

Les nouvelles politiques scientifiques

Il est important de noter que l'État a progressivement changé de rôle : naguère acteur central du processus d'innovation technologique, il s'attache aujourd'hui à coordonner, faciliter et soutenir ce processus. Il ne s'occupe plus seulement du premier stade de l'activité scientifique, celui de la recherche fondamentale, mais considère que sa compétence s'étend jusqu'au transfert de technologie. Il ne se borne pas à accorder des soutiens financiers, il s'intéresse aussi aux aspects organisationnels, institutionnels et

culturels de la pratique technologique. La R-D n'est plus un simple élément de la politique économique, elle est devenue un champ d'action spécifique, étroitement coordonné avec les autres aspects de l'action gouvernementale.

Comme nous l'avons vu, cette nouvelle conception a suscité des changements dans la nature des interventions de l'État ; elle s'est aussi traduite par des mesures spécifiques et a eu une incidence sur les politiques de développement régional. Presque tous les pays ont pris des initiatives pour renforcer leur infrastructure scientifique : les Pays-Bas, par exemple, ont établi un programme-cadre pour la science et la technique dans les années 90 et créé un réseau d'institutions de recherche scientifique, alors que le Portugal a adopté le programme PRAXIS pour soutenir la recherche fondamentale et le programme CIENCIA pour étoffer les infrastructures dans des secteurs prioritaires. Pour ce qui est de la technologie, l'Espagne a récemment mené à bien un programme d'action technologique et l'Italie a créé un fonds de soutien à l'innovation et offre des allègements fiscaux aux entreprises. La diffusion des connaissances est aussi un point important : le Royaume-Uni soutient les interventions de consultants et les mesures prises pour améliorer la gestion et a lancé le programme *Senior Academics in Industry* (Universitaires au service de l'entreprise).

Se fondant sur une conception plus intégrée de la science et de ses applications, les planificateurs ont cherché à stimuler le développement régional par la création de réseaux de contacts entre spécialistes. Ces initiatives trouvent un terrain particulièrement favorable dans les pays où les collectivités territoriales participent déjà de manière importante au financement de la R-D, comme l'Allemagne et la Suisse. Mais des pays comme le Royaume-Uni, l'Espagne, la France et l'Italie, où les régions disposent de larges pouvoirs mais apportent une contribution relativement modeste à la science et à la technologie, ont également adopté des politiques régionales tendant à corriger les déséquilibres au niveau des revenus et de l'emploi en s'appuyant sur les atouts industriels et intellectuels des régions. Même des pays qui n'ont pas à proprement parler de politique régionale ont exploré cette voie ; c'est ainsi

que la Grèce a créé des parcs technologiques à Athènes, à Patras, à Salonique et à Héraklion et envisage de soutenir la mise en place de pôles régionaux de recherche et d'innovation au Pirée, en Macédoine et en Thrace.

Bien qu'attaquée sous divers angles dans certains milieux, aussi bien intellectuels que d'autres, la science demeure pour l'essentiel une source de connaissance fiable et objective de notre monde. On ne conteste guère, par exemple, que le progrès des sciences est indispensable pour améliorer la santé et la qualité de la vie en général et recèle encore bien des potentialités pour la croissance économique et la satisfaction des besoins et des aspirations de l'homme. Mais les sciences et leurs applications ne sont plus acceptées sans critique. La politique scientifique est amenée à accorder une importance croissante à ce que les Allemands appellent la « recherche préventive », c'est-à-dire aux travaux portant sur les incidences environnementales et sociales du changement technologique, ainsi qu'aux mesures propres à aider les citoyens à accepter ou comprendre l'activité scientifique et ses résultats.

Tous les États européens accordent donc leur attention à la mise au point de programmes portant sur des objectifs socio-économiques de la plus haute importance : amener les citoyens à accepter la science et la technologie, étudier les aspects éthiques et sociaux des avancées technologiques, et améliorer les mécanismes et les méthodes d'évaluation des programmes.

Évolution et convergence des politiques

Le financement de la R-D, qu'il soit ou non centralisé, peut faire l'objet d'une ventilation par grands domaines. Cette analyse permet aux observateurs de se faire une idée des priorités générales que s'est fixées le pays. Au cours de la période récente, par exemple, de nombreux pays européens ont accentué leur effort en faveur de la recherche fondamentale et du progrès des connaissances et réduit leur soutien aux recherches concernant la productivité industrielle et les techniques de production, et plus encore à la recherche énergétique. La recherche militaire, qui représente une part importante de la R-D au Royaume-Uni et en France, a reculé dans la hiérarchie des priorités, mais

absorbe encore 20 % du total des dépenses publiques de R-D de l'Union européenne. La part de la recherche spatiale est importante et croissante. Les ressources affectées à la santé, à l'environnement et aux structures et relations sociales sont en progression.

Les systèmes scientifiques nationaux sont en train d'évoluer sous la pression de deux impératifs : stimuler la croissance et mettre la science au service d'objectifs de portée générale, et notamment sociaux, par des actions qui demeurent acceptables aux citoyens. Les institutions au sein desquelles s'effectue la recherche n'ont guère changé depuis l'après-guerre et leur évolution prendra bien des années, sinon des décennies. Mais des changements notables sont intervenus dans la façon dont les gouvernements traitent l'activité scientifique et dont les entreprises abordent la recherche. Les uns et les autres portent une attention accrue aux résultats, à la rentabilité économique et à la responsabilité financière. Pour déterminer la valeur des projets, de nouvelles méthodes d'évaluation préalable et d'examen destinées à intégrer des critères extérieurs viennent s'ajouter aux procédures traditionnelles d'examen collégial ; on cherche notamment à analyser les incidences industrielles et sociales des objectifs poursuivis. Ces efforts ont eu pour effet de susciter d'intéressantes innovations dans l'enseignement et la recherche, mais ils ont aussi exercé des effets négatifs lorsque l'autonomie, l'ampleur et la portée de travaux de recherche fondamentale s'en sont trouvées menacées.

TRAVAILLER ENSEMBLE

Comme nous l'avons vu, les conceptions de la R-D dans les pays européens tendent à se rapprocher. La similarité des situations explique en partie ce phénomène, mais un autre facteur intervient : les collaborations qui se mettent en place, dans le cadre soit de collaborations transnationales, soit d'entreprises multinationales. De plus en plus souvent, des scientifiques de pays différents cherchent à s'associer pour mener leurs travaux. Cette tendance est observable dans tous les pays ayant une activité scientifique soutenue, mais les copublications avec des auteurs d'une

autre nationalité sont plus fréquentes chez les chercheurs des pays européens que chez les scientifiques américains ou japonais. Ces collaborations s'appuient sur des accords bi- ou multilatéraux de toute nature, souvent favorisés par les gouvernements ou par des dons d'organismes caritatifs couvrant les frais de voyage ou d'équipement.

Les réunions de scientifiques venus de pays différents pour échanger les résultats de leurs travaux et leur savoir relèvent d'une tradition aussi ancienne que la science elle-même, mais qui s'est progressivement institutionnalisée avec le développement de rencontres internationales à partir du XIX^e siècle. La série des conférences de Solvay réunissant les physiciens de l'atome au début du XX^e siècle en est un exemple fameux. L'idée de travailler ensemble est plus récente et n'a pu être mise en œuvre de façon systématique que grâce à l'accélération des services de transport et à la révolution des communications. La spécialisation croissante de la recherche a aussi favorisé les collaborations, tout comme le coût et la complexité des équipements utilisés dans les recherches de pointe. L'après-guerre a été une période de grand optimisme scientifique, doublé d'une volonté de renforcer la compréhension entre les nations. C'est dans ce contexte que sont nés des projets multinationaux aussi ambitieux que l'organisation européenne de recherche nucléaire (CERN). D'autres organisations se sont créées pour mettre en place de gros laboratoires spécialisés ; c'est le cas du Laboratoire européen de biologie moléculaire (EMBL), de l'organisation européenne de recherches astronomiques dans l'hémisphère Sud (ESO) et du Centre commun de recherche (CCR) de l'Union européenne. Ces institutions se situent dans le prolongement de programmes lancés à l'échelle nationale pour aider les scientifiques à rester à la pointe du savoir dans leur domaine. D'autres projets multilatéraux poursuivent des objectifs allant au-delà de la recherche fondamentale ; l'Agence spatiale européenne (ESA) et divers projets concernant l'espace et la défense en fournissent des exemples. On estime que ces projets conjoints absorbent 3 % environ de la dépense de R-D en Europe.

De telles entreprises communes voient le jour quand les pays arrivent à s'accorder sur leur nécessité, comme ce fut

récemment le cas pour l'Installation européenne de rayonnement synchrotron (ESRF) construite à Grenoble (France). Le dossier scientifique et technique à la base du projet a été établi par la Fondation européenne de la science (FES) qui, depuis sa création en 1974, offre aux représentants des cinquante-six institutions fondatrices une enceinte où ils peuvent dialoguer, organiser des collaborations, et étudier les évolutions de l'activité scientifique et les moyens de promouvoir la recherche. Comment répondre aux nouveaux défis que doit affronter la recherche européenne, tel est l'un des points essentiels de la mission aujourd'hui assignée à la FES en tant que tribune paneuropéenne des organisations nationales participant au financement de la recherche. La FES joue aussi un rôle consultatif auprès de l'Union européenne pour les questions touchant à la science fondamentale et est représentée à l'Assemblée européenne des sciences et des technologies (AEST), nouvel organe créé par la Commission européenne. L'importance nouvelle de la science dans le contexte européen est attestée par la naissance d'un certain nombre d'autres organisations, comme l'Accademia Europea, l'Alliance des académies européennes (ALLEA) et la Conférence européenne des recteurs.

L'un des grands problèmes est en fait que les installations scientifiques sont trop coûteuses pour être accessibles à tous les groupes qui souhaiteraient les utiliser, ce qui conduit à instituer, au niveau supranational, national ou même régional, un partage des équipements entre chercheurs d'institutions différentes. Même dans les cas où les équipements sont d'un prix moins élevé, c'est la compétition pour obtenir des crédits limités qui risque de décider si tel ou tel groupe pourra ou non utiliser le matériel dont il a besoin pour rester à niveau.

Mais l'esprit d'économie qui préside actuellement au financement de la recherche fait obstacle à l'instauration de collaborations impliquant de lourdes dépenses d'équipement et des frais d'exploitation élevés. Il a, par ailleurs, été démontré que les grands laboratoires ayant bénéficié de généreux financements et d'une grande liberté d'action éprouvent souvent des difficultés à suivre les orientations nouvelles et à s'adapter à l'évolution des idées. La démarche

qui tend à prévaloir aujourd'hui consiste à promouvoir activement les collaborations « virtuelles », c'est-à-dire celles qui s'établissent entre groupes de scientifiques qui, demeurant chacun dans leur propre établissement, s'accordent sur un objectif commun et se partagent les travaux à réaliser pour faire aboutir le projet. C'est la stratégie désormais adoptée pour les collaborations soutenues par l'Union européenne.

L'action de l'Union européenne tient compte du resserrement des relations entre la science et ses applications que nous avons signalé plus haut. Il n'est pas dans le mandat de la Commission européenne de soutenir la science en tant que telle ; ses programmes de recherche doivent tendre à renforcer les avantages économiques de l'Union européenne, à l'instar du Centre commun de recherche, dont la mission est de favoriser l'utilisation de l'énergie nucléaire dans les États membres. A la fin des années 70, il devint clair que l'Europe était en train de perdre sa prééminence au profit des États-Unis et du Japon et que ses membres étaient en train de perdre la bataille des marchés et de la technologie ; d'où la nécessité de donner une dimension européenne à la recherche, à l'activité de normalisation et aux marchés. Ces impératifs sont à l'origine des programmes-cadres, conçus pour renforcer les collaborations dans les secteurs scientifiques susceptibles d'améliorer la compétitivité économique. L'Union européenne couvre la moitié du coût des projets dans des secteurs désignés comme présentant un intérêt particulier. Les chercheurs, qu'ils appartiennent à des entreprises ou au secteur public, doivent concourir en groupes réunissant au moins deux États membres, les propositions étant soumises à une procédure d'évaluation collégiale supervisée par la Commission européenne. Le coût des projets exécutés au titre des programmes-cadres représente 4 % des dépenses de R-D en Europe.

Depuis le début de la décennie, les programmes-cadres ont été soumis aux mêmes pressions que celles que l'on a signalées plus haut à propos des systèmes nationaux : on a cherché à alléger encore le processus d'innovation technologique, mais aussi à élargir les perspectives aux questions relatives à l'environnement et au climat, à la régle-

mentation et à l'acceptabilité de la technologie et au développement des infrastructures de transport et d'information. Le traité de Maastricht a, par ailleurs, assigné à l'Union européenne l'objectif d'assurer la cohésion sociale entre les États membres et de coordonner les politiques scientifiques et technologiques nationales.

Les études faites sur l'impact des programmes-cadres montrent que les collaborations qui s'instituent apportent un avantage aux chercheurs en leur ouvrant l'accès à des compétences et à des résultats complémentaires des leurs, en resserrant les liens entre les équipes de R-D européennes et en élargissant leurs sources de financement. Les programmes-cadres, estime-t-on, ont contribué à l'instauration d'un climat de collaboration plus stable, autrement dit à la formation d'une véritable « communauté scientifique européenne ».

L'idée que la science est une entreprise collective à laquelle toutes les nations peuvent participer sur un pied d'égalité a aussi stimulé l'activité d'organisations internationales telles que le Conseil international des unions scientifiques (CIUS) ; la volonté de mettre l'activité scientifique au service d'objectifs plus concrets à l'échelle internationale a eu une incidence sur l'orientation de l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), par exemple. Plus récemment, la complexité et le coût croissants de certaines entreprises scientifiques ont conduit à organiser certains projets sur une échelle intercontinentale, comme le projet sur le génome humain et le projet sur la fusion. L'Europe joue son rôle dans la mise en œuvre de ces grands projets, par exemple dans le cadre du Forum mégascience de l'OCDE (voir également le chapitre « La mégascience »).

CONCLUSION

Le « jardin sauvage » de la science européenne est, nous l'avons vu, un espace divers et dynamique. Un certain nombre de facteurs tendent à souder les communautés scientifiques nationales en un réseau d'intérêts et de projets communs, en même temps que les efforts de coopération favorisent l'intégration des communautés scienti-

fiques moins avancées. Par ailleurs, les entreprises européennes sont constamment en concurrence entre elles et avec d'autres firmes non européennes sur les grands marchés. De fortes traditions d'intervention publique dans la vie des entreprises et dans la recherche peuvent être un frein à la compétitivité et les États s'efforcent aujourd'hui de réduire les dépendances qu'elles ont engendrées et les obstacles à la liberté des marchés. Les objectifs essentiels assignés à la politique scientifique sont d'améliorer les perspectives de l'emploi et de réduire les dépenses publiques. Certains pays européens font mieux que d'autres à cet égard, mais il est évident que l'Europe dans son ensemble doit veiller à ne pas laisser les États-Unis, le Japon et les pays du Sud-Est asiatique prendre le pas dans l'exploitation d'idées et de technologies nouvelles. L'intérêt porté de ce fait aux travaux des scientifiques européens ont valu à ces derniers un regain de considération — et souvent aussi des soutiens concrets supplémentaires ; par ailleurs, il leur faut veiller à ce que leurs travaux aient des effets utiles et pertinents pour la société ou les entreprises qui les soutiennent. Le grand défi, pour les chercheurs européens d'aujourd'hui, c'est d'arriver à la fois à répondre aux impératifs à court terme auxquels ils sont soumis et à maintenir la grande tradition d'excellence qui est la leur dans les disciplines fondamentales.

BIBLIOGRAPHIE

- Centre pour la recherche et l'innovation dans l'enseignement. 1993. *Regards sur l'éducation*, Paris, OCDE.
- Commission des Communautés européennes. 1993. La croissance, la compétitivité et l'emploi : les défis et les pistes pour entrer dans le *xxi^e siècle*, *Bulletin des Communautés européennes*, supplément 6/93.
- . 1994. *Rapport européen sur les indicateurs de science et de technologie*, Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes.
- Foundation Scientific Europe. 1990. *Scientific Europe, Nature and Technology*, Maastricht, FSE.
- OCDE. 1994a. *Principaux indicateurs de la science et de la technologie*, Paris, OCDE.
- . 1994b. *Politique scientifique et technologique : bilan et perspectives 1994*, Paris, OCDE.
- UNESCO. 1994. *Annuaire statistique 1994*, Paris, UNESCO.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos remerciements à M. Wilhelm Krull de la Max-Planck-Gesellschaft, Munich, ainsi qu'à la Direction de la science, de la technologie et de l'industrie de l'OCDE pour les informations statistiques qu'ils nous ont fournies.

Ros Herman est actuellement rédactrice en chef pour l'Europe de *Research Fortnight*. Pendant neuf ans, elle a travaillé comme reporter et rédactrice pour l'hebdomadaire de grande diffusion *New Scientist*, se spécialisant dans les sciences physiques, puis dans la politique scientifique. Elle a également enseigné dans le secondaire ainsi que dans les deux premiers cycles universitaires, notamment à l'Imperial College de Londres, où elle a dirigé pendant trois ans le département de la communication scientifique. Elle a publié en 1986 un ouvrage intitulé *The European scientific community*.

L'Europe centrale

ANTONI KUKLINSKI ET BOGDAN KACPRZYNSKI

La transformation de l'Europe centrale¹ est un phénomène historique complexe et multidimensionnel. Nous pouvons définir la transformation comme étant un changement structurel répondant à des conditions déterminées et dans lequel l'objet du changement aura — à l'issue des étapes successives de la transformation — une identité nouvelle. L'Europe centrale sera-t-elle en mesure de créer une nouvelle image et une identité nouvelle pendant la première décennie du *xxi*^e siècle ? On ne peut donner à cette question une réponse générale car les pays de la région se trouvent à des stades divers du processus de transformation : quelques-uns d'entre eux sont bien avancés ; quelques autres viennent juste de s'engager sur la route difficile du changement structurel ; d'autres enfin sont perplexes, écartelés entre le passé — le socialisme réel — et l'avenir — le capitalisme réel. Telle est la définition de la transformation en termes réels, beaucoup plus brutale que les libellés élégants dont ont fait l'objet le développement de la démocratie parlementaire et l'économie de marché en Europe centrale.

LA TRANSFORMATION DE LA SCIENCE

La transformation est un processus global dans lequel les succès et les échecs enregistrés dans un domaine ont une profonde incidence sur les résultats de l'action menée dans les autres domaines. La transformation de la science doit donc être considérée dans cette optique globale. Toutefois, une attention particulière doit être accordée au rapport existant entre la transformation de la science et celle de l'économie, de la société et de l'État.

La transformation de la science en Europe centrale se traduit par la création d'un nouveau modèle de la science. Cela implique la création :

- d'une personnalité nouvelle chez le scientifique ;
- de nouveaux types de motivation et de comportement de la part de la communauté scientifique ;
- d'une infrastructure institutionnelle nouvelle ;

■ d'un champ nouveau et d'une structure nouvelle quant à la demande de science (Kuklinski, 1994).

Ce nouveau modèle de la science doit être en même temps national et européen : national en ce sens qu'il doit être profondément intégré dans la tradition de la culture nationale ainsi que dans les systèmes de valeurs et les comportements de la société en cause.

Le rapport entre ce modèle et les défis que l'économie nationale considérée doit relever sur le plan de la concurrence, dans le cadre de l'économie mondiale, a lui aussi son importance. En d'autres termes, le modèle doit fonctionner à l'intérieur d'un système efficace, en vue de la création et de la diffusion de l'innovation dans le pays considéré (OCDE, 1992 ; Kacprzyński, 1994).

Ce nouveau modèle de la science doit être européen en ce sens qu'il doit être adapté de manière créatrice aux circonstances du moment et aux paramètres ayant cours sur le territoire de l'Union européenne.

LES OBSTACLES QUI JALONNENT LA ROUTE DE L'AVENIR

Peut-être pouvons-nous, pour commencer, poser la question suivante : dans quelle mesure la première phase de la transformation qui s'est opérée pendant les années 1989-1995 a-t-elle été efficace ?

En Europe centrale, les réalisations ont été très importantes. Selon une interprétation optimiste, le point de non-retour a déjà été atteint. Toutefois, quelle que soit l'interprétation, nous devons reconnaître que le processus de création du nouveau modèle a été beaucoup plus lent et beaucoup moins efficace que ce que l'on escomptait vu l'importance de l'occasion historique.

Les obstacles dont est semée la route de l'avenir se sont révélés, tout simplement, beaucoup plus importants qu'on ne l'avait pensé à l'origine.

Le premier est l'héritage du socialisme réel sous la forme des structures mentales et matérielles. En généralisant

1. L'Europe centrale visée dans le présent chapitre comprend un groupe de six pays — République tchèque, Slovaquie, Pologne, Hongrie, Bulgarie et Roumanie — ayant un grand dénominateur commun : l'expérience du socialisme réel, le processus de transformation et la perspective d'une entrée future dans l'Union européenne.

quelque peu, on peut dire qu'en Europe centrale le domaine entier de la science était, directement ou indirectement, subordonné à la demande créée par le complexe militaro-industriel de l'Empire soviétique. Dans la perspective objective à long terme, cela n'était pas nécessairement un facteur négatif dans toutes les situations.

Le deuxième obstacle est l'inefficacité des structures gouvernementales — les anciennes-nouvelles, les nouvelles, et les nouvelles-anciennes structures — qui n'ont pas été en mesure de mener une réflexion stratégique à long terme sur le développement de la science en Europe centrale. Aucune conception cohérente de politiques scientifique et industrielle n'a été mise au point et en œuvre. Les structures gouvernementales ont été incapables de résister à deux types de pression paralysant la capacité à concevoir les politiques appropriées :

- les pressions populistes qui abaissent la situation spirituelle et matérielle des scientifiques à un niveau très rarement connu auparavant dans l'histoire de l'Europe centrale ;
- la version primitive de l'idéologie néolibérale, qui encourage l'opinion erronée selon laquelle les forces du marché créeraient à elles seules un nouveau modèle de la science, contrairement à l'expérience théorique et pragmatique qu'ont vécue les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE).

Le troisième principal obstacle est l'absence d'une réflexion stratégique et d'une optique globale chez les grandes institutions politiques et financières occidentales, qui n'ont pas su favoriser la conception et la mise en œuvre du nouveau modèle de la science en Europe centrale. Cela ne veut pas dire que nous sous-estimons le vaste panorama des activités menées par les nombreuses organisations et institutions internationales, lesquelles constituent une force si positive dans le paysage centre-européen de la transformation scientifique. Toutefois, il ne fait aucun doute que dans ce panorama, les activités partielles à court terme sont considérées comme étant plus importantes que les programmes stratégiques à long terme.

LA SITUATION EN 1995

Selon un récent rapport établi pour l'Union européenne, le système d'enseignement supérieur et de science en Europe centrale présente en 1995 les caractéristiques suivantes :

- C'est un système au sein duquel « cohabitent » des éléments de l'ordre nouveau et des éléments de l'ordre ancien. Les solutions nouvelles apportées dans le cadre du système viennent se greffer sur des pans et des îlots entiers de modèles institutionnels anciens, et le niveau général de cohérence du système est relativement faible. La finalité nouvelle du système est généralement acceptée — du moins l'affirme-t-on. La place de la vieille mentalité reste très importante en ce qui concerne la motivation. Le dilemme — excellence ou médiocrité — n'a pas été, de manière générale, résolu.
- Le système fonctionne dans une situation caractérisée par des restrictions et des difficultés financières, laquelle produit un effet de rétrécissement dans de nombreux domaines. Toutefois, on peut reconnaître certains succès dans la création de bases financières nouvelles.
- Le système est un patient souffrant d'une hémorragie externe et interne de compétences, laquelle menace de priver les domaines les plus avancés de la recherche et de l'enseignement de certains liens stratégiques.
- C'est une structure qui est déjà atteinte par la maladie, dominée par les vieilles générations et les générations plus anciennes. Le manque de scientifiques jeunes et dynamiques est un phénomène croissant (Commission européenne, 1995).

Il ne faut pas déduire de ce diagnostic que le système a perdu sa capacité de survie et de transformation ; cela signifie uniquement que le bilan en matière de transformation pour les années 1989-1995 n'a pas été très positif, à cause de facteurs tant subjectifs qu'objectifs (voir tableau 1).

Bref, notre point de départ pour la décennie cruciale — celle qui va de 1996 à 2005 — est moins avancé que ce qu'auraient pu nous laisser penser les scénarios optimistes. Le premier pas vital à accomplir pour redresser la situation devra consister à renverser la tendance négative en

TABEAU 1
INDICATEURS DE BASE POUR LES PAYS D'EUROPE CENTRALE

	Année	Bulgarie	République tchèque	Hongrie	Pologne	Roumanie	Slovaquie
Superficie (milliers de km ²)		110,9	78,9	93,0	312,7	237,5	49,0
Population (milliers)	1993	8 470	10 327	10 289	38 459	22 760	5 300
PIB par habitant (PPA ¹)	1989	5 633	6 673	5 524	6 413	—	5 791
(dollars des États-Unis)	1992	—	6 827	5 399	4 137	3 854 ²	5 022
Croissance du PIB (%)	1989-1993	- 32,1	- 17,9	- 18,9	- 14,2	- 32,4	- 21,6
Part de l'entreprise privée dans le PIB (%)	1989	8,9	3,1	14,5	14,7	2,5	3,1
	1994	—	56	50	56	30	53
Apport de capitaux étrangers (milliards de dollars)	1990-1994	0,6 ³	3,7	8,5	4,3	1,2	1,5
Dettes extérieures (milliards de dollars)	1994	12,9 ⁴	9,1	28,1	41,3	4,3	4,1
Niveau de chômage (%)	1994	15,7	3,1	10,4	16,0	10,8	14,5
Production industrielle (1993 = 100)	1994	104	102,2	103,9	111,9	102,9	102,4
Scientifiques et ingénieurs de R-D (EPT) ⁷ par milliers de salariés	1989	11,3 ^{5,6}	8,5	4,1	—	5,6	1,7
	1992	—	3,9	2,6	2,7	2,7	1,3
Étudiants de l'enseignement supérieur	1989	157 861	—	100 868	505 727	164 507	—
	1992	195 447	116 560	117 460	584 177	235 669	66 002
Étudiantes (%)	1989	52	—	51	59	—	—
	1992	57	44	51	56	47	48
Enseignants de l'enseignement supérieur	1989	20 752	—	16 319	65 917	11 696	—
	1992	21 976	14 798	17 743	60 783	18 123	9 351
Ratio étudiants-enseignants	1989	7,6	—	6,2	7,7	14,1	—
	1992	8,9	7,9	6,6	9,0	13,0	7,0

1. Parité de pouvoir d'achat.
 2. 1990.
 3. 1990-1993.
 4. 1993.
 5. Seulement l'Académie bulgare des sciences.
 6. 1985.
 7. Équivalent plein temps.
- Données non disponibles.

Source : *Annuaire statistique de l'UNESCO 1994* ; *Monitoring European integration - the impact of Eastern Europe*, CEPR Annual Report, Londres, 1990 ; *National accounts statistics : main aggregates and detailed tables 1991*, Nations Unies, New York, 1993 ; *Statisticka ročenka Slovenskej Republiky 1993*, Bratislava, 1994 ; *Statisticka ročenka České Republiky 1994*, Prague, 1994 ; *Statistical yearbook of Hungary 1994*, Budapest 1994 ; *Rocznik statystyczny 1994*, GUS, Varsovie, 1994.

matière de dépenses brutes de recherche-développement (DIRD) (voir figures 1 et 2).

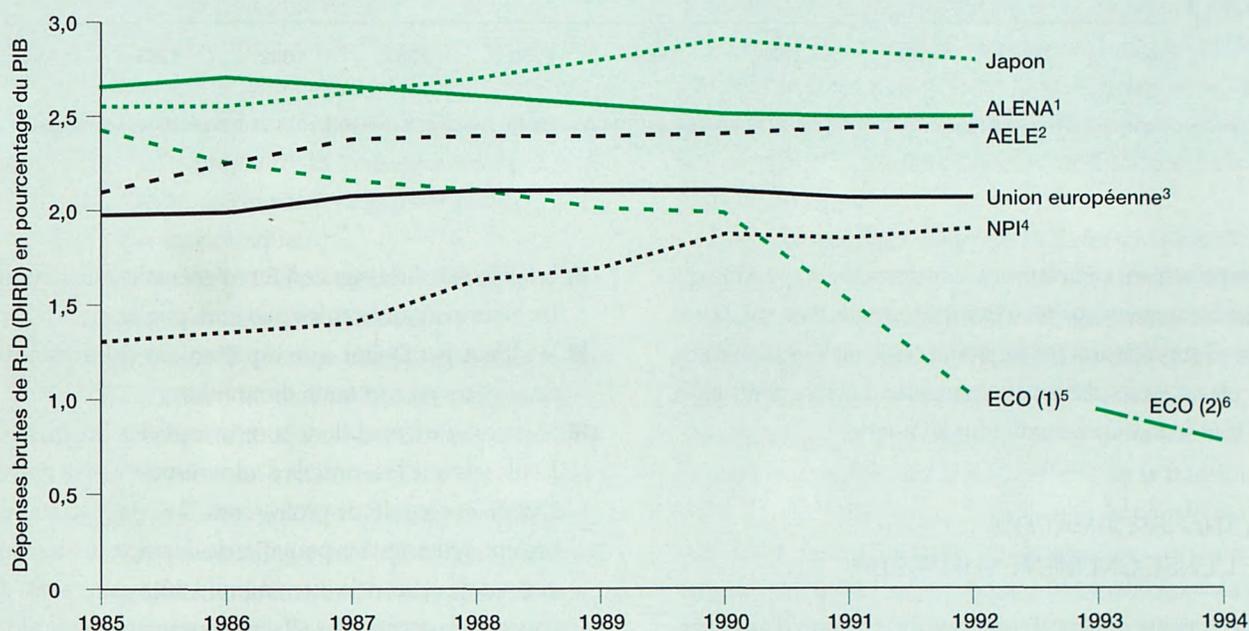
LES INSTITUTIONS ANCIENNES ET NOUVELLES

L'aspect positif des années 1989-1995 aura été, dans une grande mesure, la création d'établissements et organismes nouveaux pour le développement de la science, en particulier au niveau national. Ces changements d'ordre institutionnel ont été expliqués et analysés dans une collection novatrice et complète de publications mise au point par l'Institut des sciences sociales, à Vienne (1993), et les acti-

vités ont été décrites par Frackowiak (1994) et Imre (1994). Il conviendrait aussi de faire état, en tant qu'apport positif à cet égard, de la législation nouvelle relative à l'enseignement supérieur et à la science que les parlements et gouvernements respectifs ont élaborée.

Les institutions et législations nouvelles ont constitué la source d'incitation pour faire entrer l'esprit de compétition dans le système de recherche. L'appréciation par les pairs, évaluation objective des projets soumis, à titre compétitif, aux fins de financement, est une innovation très positive dans le domaine de la recherche, et une adaptation de la communauté scientifique aux modèles généraux de

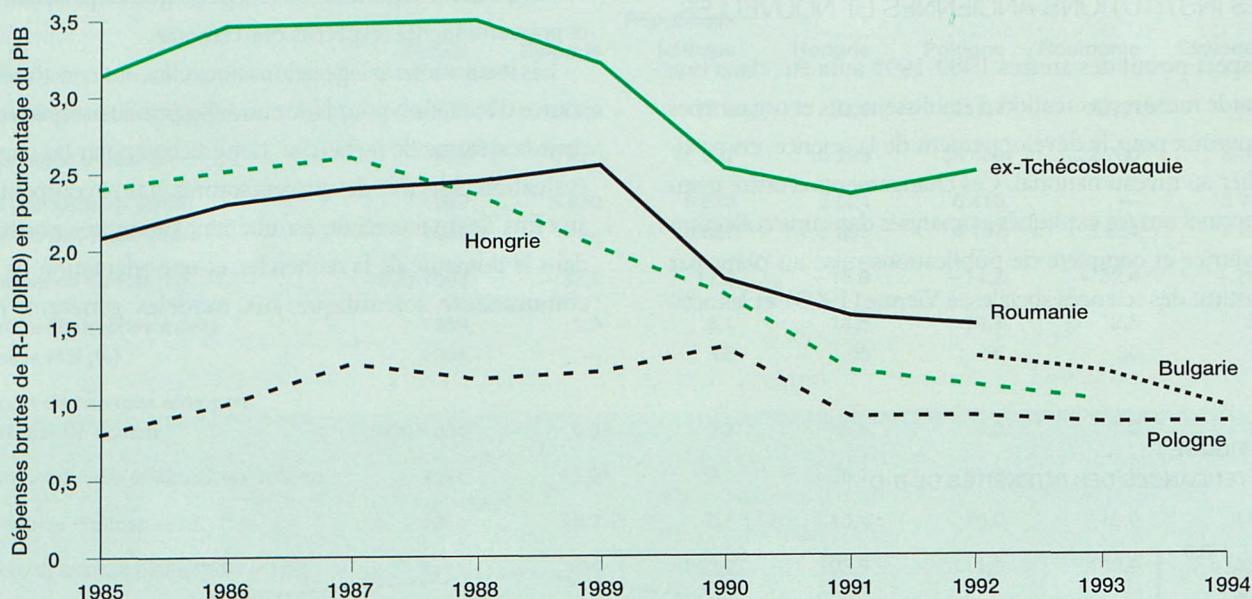
FIGURE 1
TENDANCES DES INTENSITÉS DE R-D



1. Accord de libre-échange nord-américain : Canada, États-Unis, Mexique.
2. Association européenne de libre-échange : Autriche, Finlande, Islande, Liechtenstein, Norvège, Suède, Suisse.
3. Union européenne : Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, France, Grèce, Irlande, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni.
4. Nouveaux pays industrialisés : République de Corée, Hong Kong, Singapour, Taiwan.
5. Europe centrale et orientale (1) : Bulgarie, Hongrie, Pologne, Roumanie, Fédération de Russie, ex-Tchécoslovaquie, Ukraine.
6. Europe centrale et orientale (2) : Bulgarie, Hongrie, Pologne, Roumanie, Slovaquie, République tchèque.

Source : Commission européenne, 1994, et diverses sources nationales.

FIGURE 2
TENDANCES DES INTENSITÉS DE R-D POUR CERTAINS PAYS D'EUROPE CENTRALE



Source : Rapport européen sur les indicateurs scientifiques et technologiques 1994, Commission européenne, Bruxelles, 1994, et diverses sources nationales.

comportement caractérisant la société de compétition qui prend lentement corps en Europe centrale. Bien sûr, le système d'appréciation par les pairs a aussi quelques faiblesses, et cela est particulièrement manifeste dans les petits pays, où tout le monde connaît tout le monde.

LA TRANSFORMATION DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

Le processus de transformation du système d'enseignement supérieur en Europe centrale durant la période 1989-1995 a été plus lent et moins efficace qu'escompté à l'origine. Trois facteurs pourraient expliquer ce phénomène :

- la faible priorité assignée à l'enseignement supérieur par les élites politiques et les pouvoirs publics ;
- le climat paralysant que représentent des ressources financières en constante diminution ;
- le pouvoir excessif dont sont investis les organes collectifs tels que les conseils d'administration des universités et les conseils de professeurs. Dans la pratique, ces organes réduisent les pouvoirs de décision des recteurs et des doyens au-delà du minimum nécessaire, en ce qui concerne la gestion des affaires courantes et à plus forte raison les solutions stratégiques à long terme².

Dans ce paysage déprimant, on constate toutefois quelques îlots d'une transformation réussie.

2. Nous souscrivons au jugement de valeur porté dans TERC : « En ce qui concerne le problème de l'autonomie des établissements, de l'avis de la majorité de ceux qui ont répondu dans les quatre pays, une partie excessive du pouvoir est transférée aux organes collectifs (conseils d'université, conseils de professeurs (par département) et conseils scientifiques des instituts). Les pouvoirs exécutifs des directeurs, recteurs et doyens sont trop limités », S. Amsterdamski, TERC, vol. 5, Institut des sciences humaines, 1993.

En Europe centrale, un nouveau système d'enseignement supérieur privé se développe rapidement. Mentionnons une gamme nouvelle d'établissements relativement petits ou de taille moyenne — notamment dans le domaine des sciences économiques, juridiques et administratives. Divers types d'écoles de gestion des entreprises sont particulièrement importants et répondent aux besoins croissants de l'entreprise privée.

Des organisations et fondations internationales favorisent la création de nouveaux établissements d'enseignement supérieur. Citons seulement deux exemples : l'Université centre-européenne, à Prague, et l'extension du Collège d'Europe (Bruges), à Varsovie. Cependant, cette activité reste relativement limitée par rapport à la forte demande potentielle telle qu'elle est perçue à long terme.

La tâche la plus importante consiste toutefois à transformer les institutions académiques existantes. Cette transformation comporte trois dimensions :

- ce que l'on pourrait appeler transformation « spirituelle » — l'adoption intime, tant par les professeurs que par les étudiants — de la démarche orientée vers la compétition ;
- l'adaptation des programmes d'enseignement aux nouvelles demandes créées par le progrès scientifique, technologique et économique ;
- la transformation matérielle — modernisation rapide de l'équipement technique des universités.

Même lorsqu'on a de la situation une vue pessimiste, il ne faut pas sous-estimer les réalisations des années 1989-1995. Toutefois, les tâches qui nous attendent pendant la prochaine décennie sont immenses. Le système d'enseignement supérieur a besoin d'être développé rapidement, tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif. Pour l'instant, le nombre d'étudiants en Europe centrale est trop faible par rapport à d'autres régions de l'Europe et compte tenu des exigences de l'économie et de la société.

LA TRANSFORMATION DES ACADÉMIES DES SCIENCES

Des académies des sciences ont été créées au XIX^e siècle en Europe centrale dans les grands centres universitaires. Elles

ont continué à se développer et ont pris de l'extension pendant les années 1918-1939, alors que tous les pays d'Europe centrale étaient indépendants.

Ces académies se sont développées sur le modèle européen général. Leur évolution naturelle a toutefois été contrariée pendant la période allant de la fin des années 40 au début des années 50 : dans tous les pays d'Europe centrale, les académies traditionnelles furent liquidées, et, dans chaque pays, une nouvelle académie des sciences fut créée : sur le plan institutionnel, elle était foncièrement une réplique exacte de l'Académie des sciences de l'URSS.

Toutefois, pendant les années 1949-1989, ce modèle soviétique fut modifié dans chaque pays, selon la pression positive ou négative de l'environnement politique national. Peut-être pouvons-nous citer seulement deux exemples : le changement positif opéré sur l'Académie polonaise des sciences après 1956 — changement libéral — et le changement négatif qu'a connu après 1968 l'Académie tchécoslovaque des sciences — changement totalitaire. L'Académie roumaine des sciences s'est révélée être un cas spécial, son évolution ayant eu des aspects à la fois positifs et négatifs.

Lors des premiers stades de la transformation démocratique, après 1989, d'aucuns, dans les milieux radicaux, étaient d'avis qu'il fallait liquider les académies du fait du péché originel d'origine soviétique dont elles étaient entachées. Heureusement, cette proposition extrême ne fut pas retenue, et les académies purent survivre à la tempête historique et s'engager sur la voie difficile de la transformation. Il est à regretter que le processus de transformation par lequel sont passées les académies pendant les années 1989-1995 ait été plutôt lent et inefficace — à l'exception, peut-être, de l'Académie tchèque (Illner, 1994).

Dans toute réflexion ayant un caractère comparatif, trois questions sont particulièrement importantes :

- Dans quelle mesure était-il possible de liquider l'immense appareil bureaucratique créé sous l'ancien régime, l'académie étant alors, de fait, le ministère de la science ? L'exemple polonais indique qu'une très grande partie de cet appareil a survécu, même si la fonction du

ministère de la science est remplie par le Comité d'État de la recherche scientifique, lequel a, bien entendu, créé son propre appareil bureaucratique. A notre avis, au sein de l'Académie tchèque, l'ancien appareil bureaucratique a été entièrement, ou presque entièrement, liquidé.

- Dans quelle mesure l'académie — en tant que société savante regroupant les chercheurs, somme toute, les plus éminents — a survécu à l'épreuve d'une situation politique et systémique ayant très profondément changé ? Le principe de la continuité, justifié par des normes objectives ou semi-objectives, a été utilisé comme argument en faveur du maintien intégral de la continuité des Académies polonaise et hongroise.
- Dans quelle mesure les instituts de l'académie — qui représentaient dans la plupart des cas un niveau très élevé de performance dans le domaine de la recherche fondamentale considérée dans l'optique de la science mondiale — offrent-ils, après avoir fait l'objet d'une certaine adaptation, de très bonnes conditions pour une nouvelle phase de développement ? Toutefois, il reste à déterminer si cette évolution devrait être maintenue dans le cadre institutionnel actuel, ou s'il conviendrait de créer un cadre nouveau, en s'inspirant de l'expérience française (Centre national de la recherche scientifique) ou allemande (Max-Planck-Gesellschaft).

LA TRANSFORMATION DU SYSTÈME DE RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT

Le système de socialisme réel a donné naissance à une infrastructure de recherche-développement (R-D) très étendue et, de manière générale, inefficace. Elle était représentée principalement par de vastes réseaux d'instituts et de laboratoires gérés directement par l'appareil sectoriel de l'économie d'État à gestion centralisée. Elle a réussi à recevoir une bien plus grande part des ressources allouées à l'échelon central que n'en obtenait le système des académies et de l'enseignement supérieur.

Les processus de transformation de 1989-1995 ont contribué à réduire cet héritage du socialisme réel, ce qui

pouvait être perçu comme étant un phénomène positif et un verdict inéluctable de l'Histoire. Il existe, malheureusement, une tendance très dangereuse, en ce sens que la liquidation de l'ancien système de R-D a détruit en même temps de nombreux éléments de ce système qui n'étaient pas entièrement pourris. Ce qui est plus important, c'est que cette destruction n'est pas compensée par la création rapide d'un nouveau système de R-D. Ce système se met en place très lentement, en effet, du fait qu'aucune politique scientifique et culturelle cohérente n'a été conçue et mise en œuvre depuis 1989, et que les nouvelles entreprises privées se sont montrées peu enclines à promouvoir la recherche-développement. A cet égard, un commentaire récemment publié sur la situation en Pologne est frappant : « Nous savons, par exemple, qu'en 1992, la part du secteur privé dans la création du PIB était de 41,2 %, que sa part dans l'emploi industriel total était de 55,7 %, et que sa part dans l'emploi dans des unités de R-D intégrées dans l'entreprise (au total 45 000 personnes) était de... 9 % » (Kwiatkowski, 1994).

Une troisième raison expliquant la lenteur de la création d'un nouveau système est la répugnance des sociétés transnationales et d'autres firmes commerciales étrangères à entretenir et à développer des unités de R-D au sein de leurs entreprises en Europe centrale.

La création d'un système de R-D adapté à la situation interne de chaque pays et aux défis mondiaux du XXI^e siècle est l'un des problèmes de développement les plus urgents qui attend une solution en Europe centrale.

LA SCIENCE DE L'EUROPE CENTRALE SUR LA SCÈNE MONDIALE

Il existe une tradition établie de longue date quant à la place de la science de l'Europe centrale sur la scène mondiale. L'exemple de Copernic est, à cet égard, sans doute le plus parlant. Il faut dire en même temps que le bilan des pays d'Europe centrale en matière de prix Nobel reçus est médiocre.

Les résultats obtenus par le socialisme réel ont été inégaux. Dans le domaine des sciences naturelles et tech-

TABLEAU 2
RÉSULTATS OBTENUS DANS CERTAINS PAYS D'EUROPE CENTRALE EN MATIÈRE DE PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES
ET DE BREVETS

	Année	ex-Tchécoslovaquie	Hongrie	Pologne
Nombre de publications	1992	4 586	2 795	5 844
Rang mondial (nombre total de publications)	1981-1992	21	26	17
Croissance en nombre de publications (1981 = 100)	1992	120	110	128
Croissance en taux moyen de citations par publication	1988-1992/1981-1985 (%)	12	3	9
Demandes de brevets déposées par résidents et non-résidents	1991	5 934	9 950	8 817
Nombre de brevets délivrés aux États-Unis	1991	47	966	106

Source : *Scientific Citation Index 1981-1992*, Institute for Scientific Information, Philadelphia ; US Patent Office.

riques, le soutien apporté par l'État était relativement rigoureux et, dans ce contexte, on doit, bien entendu, faire état du rôle du complexe militaro-industriel soviétique. Dans le domaine des sciences sociales et humaines, il y a une différence marquée entre le cas de la Pologne et de la Hongrie, où une politique relativement libérale a été mise en œuvre, et celui de la Tchécoslovaquie, de la Bulgarie et de la Roumanie, où cette politique était rigoureuse.

La phase de transformation des années 1989-1995 n'a pas, contrairement aux attentes initiales, débouché sur une amélioration du rang qu'occupe l'Europe centrale sur la scène scientifique mondiale (voir tableau 2 et figure 3). Au contraire, les difficultés financières et les effets de l'exode des compétences ont sensiblement entamé la compétitivité de l'Europe centrale et réduit le poids que représentaient les pays centre-européens sur la balance internationale.

Ce recul n'est pas toutefois spectaculaire et une amélioration dans ce domaine peut être attendue de manière réaliste dans un avenir proche, pour peu qu'un modèle plus positif pour le développement de la science soit mis en place en Europe centrale.

CONCLUSION

En guise de conclusion, trois observations sont peut-être appropriées. Premièrement, le processus de transformation de la science en Europe centrale est bien avancé, encore que les obstacles endogènes et exogènes qui en réduisent l'efficacité se soient révélés plus grands qu'on ne l'aurait pensé à l'origine. La décennie cruciale que représentent les années 1996-2005 doit voir la construction d'un nouveau modèle de la science en Europe centrale — modèle bien en rapport avec la réalité créée par l'Union européenne qui, au début du prochain siècle, comptera, selon toute probabilité, les pays d'Europe centrale parmi ses membres à part entière. La transformation de la science en Europe centrale est nécessaire non seulement pour la science elle-même, mais aussi en tant que facteur essentiel de la transformation de l'économie dans son ensemble.

Deuxièmement, le suivi, l'explication et l'orientation de la naissance d'un nouveau modèle de la science en Europe centrale créent la nécessité urgente d'études comparées empiriques de grande envergure destinées à analyser l'en-

FIGURE 3
NOMBRES TOTAUX DE PUBLICATIONS S ET T ET DE CITATIONS POUR CERTAINS PAYS EUROPÉENS, 1981-1992



Source : Indicateurs scientifiques nationaux 1981-1992, ISI, Philadelphie, 1993.

semble du processus dans un cadre méthodologique rigoureux. Dans ces études, seront définis non seulement les traits généraux du processus de transformation en Europe centrale mais aussi les caractéristiques propres de chaque pays. Ce dernier point n'a pu être examiné dans le présent chapitre, faute de place.

Enfin, dans toutes les activités en rapport avec la transformation de la science en Europe centrale, on a besoin de données statistiques fiables et bien organisées — établies dans le cadre des méthodologies mises au point par l'OCDE, l'Union européenne et l'UNESCO. La qualité de l'information statistique relative à la science et à la technologie en Europe centrale est pour l'instant faible, et le processus de changement intervenu dans les systèmes d'information pertinents pendant la période 1989-1995 s'est révélé très lent et très inefficace. Une comparaison de l'information statistique relative à l'Europe centrale, sur le plan de la quantité et de la qualité, avec celle qui est présentée dans le *Rapport européen sur les indicateurs scientifiques et technologiques* (Commission européenne, 1994) devrait inciter les bureaux statistiques de l'Europe centrale à être beaucoup plus efficaces à l'avenir.

Antoni Kuklinski est directeur de l'Institut européen pour le développement régional et local (EUROREG) de l'Université de Varsovie.

Après des études en droit, économie et géographie politique dans les universités de Varsovie et de Poznan, il a mis ses connaissances au service du gouvernement et de la recherche universitaire. Il a assumé les fonctions de sous-secrétaire d'État au Ministère polonais des affaires étrangères et travaillé au Comité gouvernemental pour la recherche scientifique.

Le professeur Kuklinski a publié de nombreux ouvrages dans les domaines de la politique scientifique et technologique et de l'aménagement du territoire et a dirigé un grand nombre de collections.

Bogdan Kacprzyński a été professeur à l'Université de Varsovie et associé à l'Institut européen pour le développement régional et local (EUROREG) de cette Université. Diplômé en télécommunication de l'Université de technologie de Varsovie, il a fait preuve d'un réel intérêt interdisciplinaire pour les sciences mathématiques, sociales et techniques et pour la politique scientifique et technologique. Il a publié cinq livres et plus de deux cents articles scientifiques.

La contribution du professeur Kacprzyński à ce chapitre constitue son ultime travail écrit peu de temps avant sa mort soudaine au printemps 1995.

BIBLIOGRAPHIE

- Commission européenne. 1994. *Rapport européen sur les indicateurs de science et de technologie*, Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes.
- . 1995. *Eastern and Central Europe 2000. Final report*, G. Gorzelak, B. Jalowiecki, A. Kuklinski, L. Zienkowski, Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes.
- Frackowiak, J. K. 1994. State Committee for Scientific Research 1991-1994. Experiences and Prospects, dans A. Kuklinski (dir. publ.), *Science, technology, economy, op. cit. infra*.
- Illner, M. 1994. Transformation of the Academy of sciences of the Czech Republic. A success story of institutional change ?, dans A. Kuklinski (dir. publ.), *Science, technology, economy, op. cit.*
- Imre, J. 1994. International determinations of development in science and technology during the creation of market economy, dans A. Kuklinski (dir. publ.), *Science, technology, economy, op. cit.*
- Institute for Human Sciences. 1993. TERC - Transformation of the national higher education and research systems of Central Europe : vol. 1, S. Amsterdamski, J. Jablecka, *Higher education and research in Poland : the inherited situation and the reforms* ; vol. 2, G. Fabri, *Higher education and research in Hungary during the period of social transformation : 1990-1992* ; vol. 3, J. Koucky, J. Hendrichova, *Higher education and research in the Czech Republic : major changes since 1989* ; vol. 4, E. Samir, S. Zajac, *Higher education and research in the Slovak Republic : major changes since 1989* ; vol. 5, S. Amsterdamski, *Perception of dilemmas : summary of a qualitative study* ; vol. 6, C. G. Campbell, R. Dahrendorf (dir. publ.), *Changes in Central Europe : challenges and perspectives for higher education and research* ; vol. 7, *Issues in transition 1994*, Vienne, Institute for Human Sciences.
- Kacprzyński, B. 1994. Pro-innovative policy, dans A. Kuklinski (dir. publ.), *Science, technology, economy, op. cit.*
- Kuklinski, A. 1994. Opinion : society, science and government, *Educational and training technology international*, vol. 31 (2), p. 126-133.
- (dir. publ.). 1994. *Science, technology, economy, Science and Government Series*, vol. 3, Varsovie, State Committee for Scientific Research.
- Kwiatkowski, S. 1994. Transition and technological gaps. In search of hope, dans A. Kuklinski (dir. publ.), *Science, technology, economy, op. cit.*
- OCDE. 1992. *La technologie et l'économie. Les relations déterminantes*, Paris, Organisation de coopération et de développement économiques.

La Communauté des États indépendants

LEONID GOKHBERG

L'éclatement de l'Union des Républiques socialistes soviétiques s'est traduit par des changements fondamentaux quant aux objectifs du développement économique, social et politique national. Ces changements se manifestent dans la transformation de la structure institutionnelle de l'économie, une croissance rapide du secteur privé, la conversion des industries militaires et une intégration progressive des pays de l'ex-URSS dans l'économie internationale, tant au niveau régional qu'au niveau mondial. Le passage des pays qui constituent désormais la Communauté des États indépendants (CEI) vers une économie de marché et une société démocratique a un profond impact sur leur communauté scientifique, et la science est devenue une des préoccupations primordiales de leurs politiques nationales respectives.

D'une manière générale, cette évolution est caractérisée par une récession économique, l'inflation, un grave déficit budgétaire, une situation sociale qui se détériore, et l'instabilité politique. Dans ces conditions, et compte tenu des systèmes scientifiques et technologiques hérités de l'ex-URSS, il faut veiller tout particulièrement à éviter l'érosion de la science dans les nouveaux États indépendants et à créer la base de recherche-développement (R-D) orientée vers le marché dont ces pays ont besoin pour leur futur renouveau économique et social.

L'EFFONDREMENT DU MODÈLE SOVIÉTIQUE DE R-D

L'augmentation importante du nombre d'établissements de R-D en URSS, jusqu'aux dernières années 70, et les investissements correspondants avaient permis la mise en place d'une base de R-D extrêmement étendue — relativement plus étendue que celle de la plupart des pays développés sur le plan industriel. Les fortes concentrations de ressources humaines hautement qualifiées avaient été à l'origine de quelques réalisations spectaculaires en matière de recherche fondamentale et dans la mise au point de technologies à vocation militaire.

Toutefois, dès le début des années 80, le secteur de R-D avait, dans une grande mesure, perdu son dynamisme,

La Communauté des États indépendants

Un accord aux termes duquel était fondée la Communauté des États indépendants (CEI) a été signé le 8 décembre 1991 à Minsk par les dirigeants du Bélarus, de la Russie et de l'Ukraine. Les États souverains qui constituèrent naguère l'URSS étaient animés d'une volonté commune : mettre en œuvre des réformes politiques et économiques. Ce fait ayant été reconnu, il était manifeste qu'une révision radicale des relations entre les anciennes républiques soviétiques s'imposait. Seuls des principes, acceptés à l'échelon international, de reconnaissance mutuelle et de respect de la souveraineté nationale, d'égalité et de non-ingérence pouvaient fournir la base d'un type nouveau d'unité. Les principaux domaines d'activité coordonnés sont les forces armées stratégiques, la politique étrangère, le marché commun, les transports et les communications, la protection de l'environnement, la politique en matière de migration, et la prévention du crime.

L'Arménie, le Kazakhstan, le Kirghizistan, la Moldavie, l'Ouzbékistan, le Tadjikistan et le Turkménistan ont adhéré à la CEI en signant le 21 décembre 1991 un protocole à Alma-Ata. L'Azerbaïdjan a été officiellement admis comme membre de la Communauté le 24 septembre 1993 ; et la Géorgie la même année, en décembre. Dans ses frontières actuelles, la CEI représente 99,2 % du territoire de l'ex-URSS et 97,2 % de sa population.

Surmontant les premières tensions, les pays membres de la CEI ont esquissé un mouvement vers une association en se dotant de moyens efficaces d'intégration. La réunion au sommet de la CEI qui s'est tenue le 21 octobre 1994 à Moscou avait pour principal objectif une coopération plus étroite comme condition préalable d'une maîtrise de la crise et de la réalisation de la croissance économique. A cet effet, des accords ont été adoptés, notamment sur une zone de libre-échange et des activités communes dans les domaines politique, scientifique et culturel.

ainsi qu'en témoignait le fléchissement des taux de croissance des indicateurs de R-D, pour les ressources comme pour la production. Ainsi, après 1985-1986, l'emploi dans ce secteur a diminué en URSS, en général, et dans la plupart des anciennes républiques, en particulier. Ces tendances négatives, qui n'ont été pleinement perçues que récemment, sont profondément ancrées dans le caractère spécial du modèle soviétique de R-D.

L'héritage de la centralisation

La forte centralisation de la R-D et la répartition inégale des établissements de recherche à travers l'URSS qui s'était opérée au fil des décennies ont créé des disparités parmi les pays de la CEI quant à la capacité et à la spécialisation scientifiques. La répartition régionale de la R-D s'était concentrée sur les régions développées, où l'activité économique était intensive, et cela est vrai pour l'URSS comme pour la Russie.

Ainsi, près de 58 % des établissements de R-D, 54 % des établissements d'enseignement supérieur, 68,5 % des étudiants du cycle universitaire supérieur, 66,7 % du personnel de R-D et 72 % des dépenses totales de R-D en URSS étaient concentrés en Russie¹. La contribution de la Russie à la R-D, en termes de dépenses, par exemple, était cinq fois supérieure à celle de l'Ukraine, laquelle était la deuxième par ordre d'importance, et l'écart était beaucoup plus accentué dans le cas d'autres États. La part du Bélarus, du Kazakhstan et de l'Ouzbékistan variait entre 1,3 et 3,4 %, tandis que les dépenses de R-D du Kirghizistan, du Tadjikistan et du Turkménistan ne dépassaient pas 0,15 à 0,2 % du total de l'URSS (tableau 1).

La répartition géographique inégale de la R-D était le fait d'exigences politiques et de la tradition historique, et l'incidence de ces facteurs ne peut être surestimée. Le réseau d'instituts de recherche relevant de l'Académie et les établissements d'enseignement supérieur de premier plan hérités de l'URSS étaient concentrés principalement dans les grandes villes — les capitales des anciennes républiques de l'Union — et les centres des régions administratives.

TABLEAU 1
RÉPARTITION, PAR PAYS ET EN POURCENTAGE,
DES PRINCIPAUX INDICATEURS DE R-D DE L'EX-URSS, 1991¹

	Établissements de R-D ²	Personnel de R-D	Dépenses de R-D
URSS	100,0	100,0	100,0
CEI	97,6	97,4	97,7
Russie	57,8	66,7	72,2
Autres pays de la CEI	39,8	30,7	25,5
Bélarus	4,4	3,6	3,4
Kazakhstan	3,5	1,6	1,3
Moldavie	1,4	0,8	0,7
Ukraine	17	17,9	15,8
Pays du Caucase	5,1	3	1,6
Arménie	1,6	0,9	0,5
Azerbaïdjan	1,8	0,9	0,6
Géorgie	1,7	1,2	0,5
Pays d'Asie moyenne	8,2	3,7	2,7
Kirghizistan	0,8	0,3	0,2
Ouzbékistan	5,6	2,8	2,1
Tadjikistan	0,9	0,3	0,2
Turkménistan	0,9	0,3	0,2
Pays baltes	2,4	2,6	2,3

1. Le total peut ne pas correspondre à la somme des chiffres individuels, qui sont arrondis.

2. Lituanie non comprise.

Source : Centre de la recherche scientifique et de la statistique.

Cela était fonction de la concentration des organismes gouvernementaux et du pouvoir administratif dans le système soviétique, ainsi que du niveau de vie, qui était plus élevé dans les grandes villes. Ainsi, les premiers instituts relevant de l'Académie et les universités furent implantés notamment à Moscou, Saint-Petersbourg, Kazan, Kharkov, Kiev et Lvov. Les grands centres d'information scientifique et technologique, bibliothèques et archives se trouvaient également dans les principales villes.

L'Académie des sciences de l'URSS était organisée comme un organisme administratif fortement centralisé, tandis que les académies des républiques existaient en tant que filiales, contribuant à rehausser le prestige politique des républiques et à offrir une instance où les problèmes économiques et sociaux locaux pouvaient éventuellement être traités. Afin de constituer rapidement une réserve de chercheurs pour les républiques, une action particulière était entreprise : des contingents étaient fixés pour l'admission sans concours dans les universités russes et des normes moins rigoureuses étaient prescrites pour les thèses de doctorat.

Les services de R-D et d'enseignement supérieur de la Russie étaient généralement la source du progrès scientifique et technologique accompli dans de nombreux domaines dans les autres nouveaux États indépendants, et l'éclatement de l'Union soviétique menaçait le développement de ces pays. L'accès des ressortissants d'autres républiques aux universités et instituts universitaires techniques d'élite était réduit. En même temps, un certain nombre d'instituts supérieurs de recherche fondamentale, d'unités de R-D industrielle et d'installations particulières dont l'importance était à l'échelle de l'Union (tels que la base de lancement d'engins spatiaux de Baïkonour ou les observatoires de Crimée et d'Arménie) étaient implantés à l'extérieur de la Fédération de Russie et, de ce fait, les capacités de R-D des nouveaux États indépendants dans certains domaines de recherche ne correspondaient pas nécessairement aux besoins de l'économie nationale. Pour l'une et l'autre raison, il était raisonnable et mutuellement avantageux de transformer les rapports qui allaient du centre vers la périphérie en une coopération scientifique et technologique à long terme, menée sur un pied d'égalité, entre les pays de la CEI.

Infrastructures communes

Les secteurs de R-D des pays de la CEI sont marqués par une structure et une organisation institutionnelle fondamentalement communes, lesquelles influent fortement sur leur transformation pendant la période de transition.

L'infrastructure institutionnelle de la R-D en URSS était organisée conformément aux principes généraux du système administratif soviétique ; comme d'autres entités juridiques, les établissements de R-D étaient placés sous la tutelle de ministères particuliers. D'une manière générale, dans les pays de la CEI la R-D est répartie en quatre secteurs (fig. 1).

Du fait de l'orientation technocratique de la R-D, le secteur de R-D industrielle jouait un rôle prépondérant en URSS, quant au nombre d'établissements de R-D (64 %) et de chercheurs (66 %), ainsi qu'à la valeur de la R-D (75,8 %)¹. La répartition des capacités de R-D par secteur reste sensiblement la même dans les pays de la CEI, avec quelques variations locales.

Traditionnellement, les secteurs de mise en œuvre de la R-D se spécialisaient dans différents types d'activité. Ainsi, la recherche fondamentale est concentrée dans le secteur des académies, dans un nombre limité d'instituts de R-D, principalement d'instituts travaillant pour les industries militaires, et aussi dans quelques établissements d'enseignement supérieur d'élite.

A la différence de la majorité des sociétés savantes des pays occidentaux, les académies des pays de la CEI sont chargées de l'administration de réseaux d'instituts de R-D séparés de l'industrie et de l'enseignement supérieur. Elles ont hérité une structure hiérarchique qui caractérisait les ministères soviétiques.

L'ancien système créait des barrières entre l'Académie, les universités et l'industrie, et la séparation artificielle de la science de l'enseignement supérieur portait atteinte au statut social et à l'autorité scientifique des universités. La R-D menée dans le secteur de l'enseignement supérieur en venait à être considérée, du moins par les chercheurs des académies, comme étant de seconde zone.

Il existait de grandes universités d'élite et quelques écoles supérieures d'ingénieurs formant du personnel pour la R-D militaire qui constituèrent des exceptions à cette règle. Elles étaient beaucoup mieux dotées en ressources

1. Données de 1990. La valeur de la R-D comprend les dépenses courantes de R-D et les profits réalisés pendant l'année par les établissements de R-D sur les activités de R-D.

FIGURE 1
R-D : SECTEURS DE MISE EN ŒUVRE DANS LES PAYS DE LA CEI

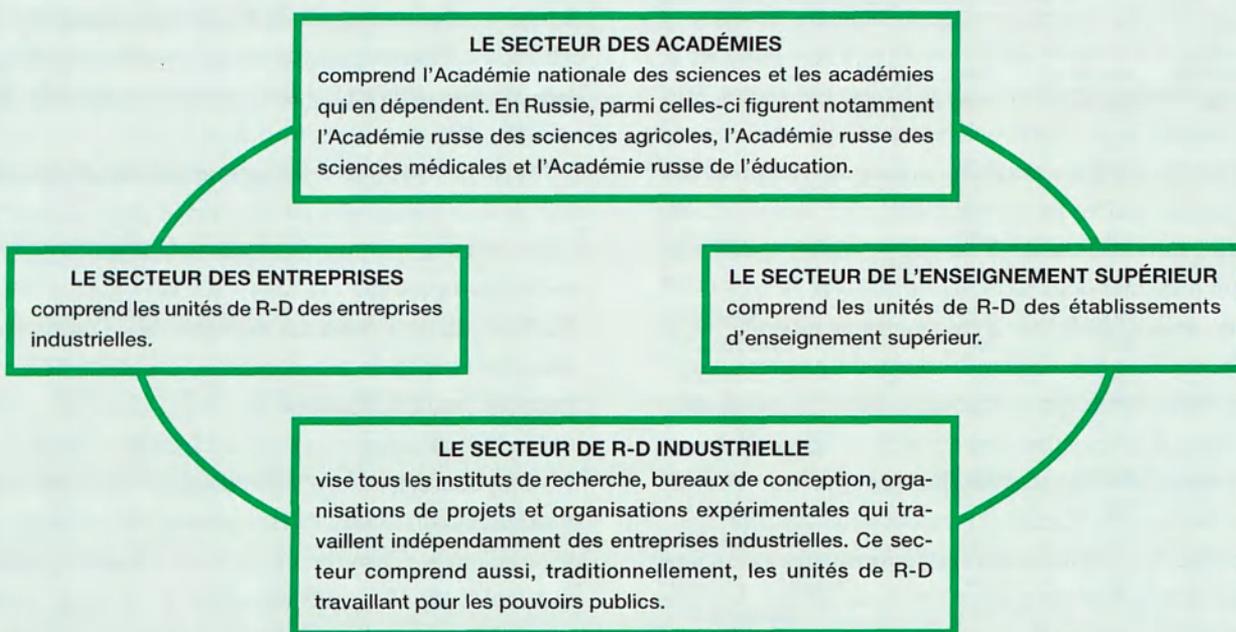
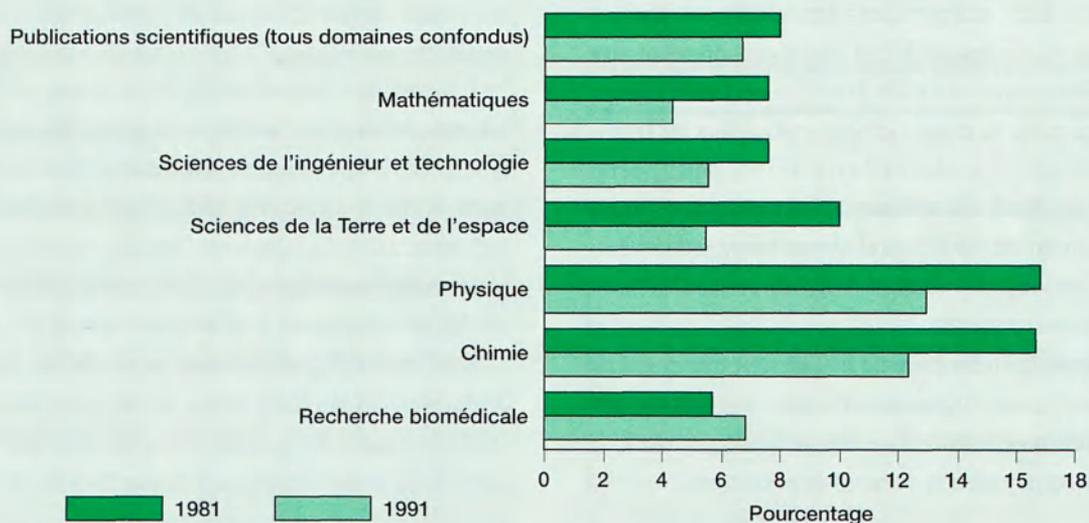


FIGURE 2
PART DE L'URSS DANS LES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES DANS LE MONDE



Source : National Science Board, 1993.

et bénéficiaient du statut de centres prestigieux d'enseignement et de recherche. Ces établissements sollicitaient traditionnellement le concours de chercheurs des académies pour l'enseignement et travaillaient de concert avec les instituts de recherche au niveau de la licence et de la maîtrise.

Le secteur de R-D industrielle, qui, par définition, était engagé principalement dans la R-D appliquée, prenait une taille démesurée. Chaque ministère ou département avait tendance à créer son propre réseau d'unités de R-D. Nombre de celles-ci étaient, au premier chef, au service de l'administration plutôt qu'à celui des entreprises. La R-D de pointe dans l'industrie était consacrée aux applications militaires.

Toutefois, pour des raisons d'ordre économique et institutionnel, le secteur des entreprises était relativement plus faible que les autres, étant en général uniquement en mesure d'adapter simplement les innovations à la production afin de moderniser les produits existants. Il était caractérisé par les taux les plus faibles d'indicateurs de R-D.

Dans l'ensemble, la R-D menée dans les pays de la CEI existait dans le cadre d'une subordination administrative rigide des unités de recherche, ce qui se traduisait par des intérêts catégoriels bien tranchés et une forte inertie qu'il est difficile de surmonter dans la période de transition en cours, bien que cela s'impose.

Isolément et priorités en science

Pendant des décennies, la science et la technologie (S et T) ont, en URSS, évolué sous la forte pression de dogmes idéologiques et politiques, et elles étaient jugées avant tout du point de vue du prestige politique et du potentiel militaire du pays. A la suite de l'isolement économique de l'URSS, avant la seconde guerre mondiale, et la coopération internationale ayant été très limitée pendant la guerre froide qui a suivi, un écart sérieux s'est dessiné en science. La stratégie de l'URSS en matière de R-D était globale, visant tous les domaines de la science et de la technologie. Dans certains domaines, les objectifs nationaux des programmes scientifiques étaient la réplique exacte de ceux

qui étaient fixés à l'étranger. De ce fait, on faisait un usage inefficace des ressources au lieu de tirer parti de la collaboration internationale. Cela conduisait, à tout le moins, à un léger retard par rapport à la communauté scientifique internationale. Ainsi, en dépit de réalisations notables en recherche spatiale, en physique nucléaire, par exemple, la contribution de l'URSS à la somme mondiale de publications scientifiques a diminué pendant la période 1981-1991, étant passée de 8 à 6,7 % (fig. 2).

En raison de la rigidité de la politique en matière de commerce international, en rapport avec l'impératif économique, on était amené à consacrer des dépenses à la mise au point et à la fabrication de produits qui n'étaient pas compétitifs sur le marché mondial (ordinateurs individuels, électronique grand public et produits pharmaceutiques). L'ouverture des frontières a eu pour corollaire le rejet de produits nationaux, et les efforts correspondants en matière de R-D ont eu en conséquence peu d'utilité pratique.

Des considérations d'ordre politique influèrent sur la fixation des priorités de la recherche. Celles-ci étaient arrêtées avant tout en fonction des objectifs militaires tandis que la biologie et les sciences médicales, la cybernétique, les sciences sociales et humaines étaient empêtrées dans les limites idéologiques et pâtissaient du manque de ressources.

Le secteur des académies et la R-D à vocation militaire se voyaient assigner le rang de priorité le plus élevé. Ils bénéficiaient d'une aide de grande envergure de l'État, celle-ci étant accordée sous diverses formes : financement budgétaire direct, fourniture centralisée de matériel de recherche importé, construction de locaux modernes pour les instituts les plus prestigieux, allocation de devises fortes pour les missions à l'étranger et pour l'achat de publications scientifiques, et privilèges approuvés officiellement en matière de salaires, voire quant à la durée des vacances. Dans le cadre de l'Académie des sciences et d'unités de recherche aux fins de la défense, une infrastructure sociale étendue permettait la prestation de différents services : logement, service médical, soins aux enfants, fourniture de denrées alimentaires et de biens de consommation, services

TABLEAU 2
TAUX DE CROISSANCE RÉELLE DES PRINCIPAUX
INDICATEURS ÉCONOMIQUES DANS LES PAYS DE LA CEI
(1994, en pourcentage par rapport à 1991)

	PIB	Production industrielle	Dépenses d'équipement	Indices des prix à la consommation
Arménie	40	50	4	807 100
Azerbaïdjan	46	53	113	236 900
Bélarus	65	68	47	320 700
Géorgie	25	24	3	—
Kazakhstan	57	52	29	561 500
Kirghizistan	52	42	23	58 200
Moldavie	48	51	15	90 900
Ouzbékistan	83	98	52	112 900
Russie	61	56	39	74 200
Tadjikistan	51	48	33	76 400
Turkménistan	150 ¹	66	—	423 600
Ukraine	60	62	43	1 079 000
Moyenne CEI	61	56	41	160 400

1. 1993, en pourcentage par rapport à 1991.
 — Données non disponibles.

Source : Comité statistique de la CEI, 1995.

dont ne bénéficiaient pas les chercheurs des autres secteurs. De ce fait, l'emploi dans ces deux secteurs était beaucoup plus prestigieux que dans les instituts de R-D industrielle civile ou dans le secteur des établissements d'enseignement supérieur. Cela contribuait à attirer le personnel qualifié, et des écoles de recherche reconnues étaient créées dans de nombreux domaines de la science et de la technologie.

A tous ces facteurs étaient imputables une forte inertie dans les milieux de la recherche et un désir de conserver des structures institutionnelles périmées. Cela a entravé une réaction en temps voulu aux changements ambiants et occulté la nécessité d'une transformation structurelle urgente.

TENDANCES GÉNÉRALES RELEVÉES PENDANT LA PÉRIODE DE TRANSITION

La base de S et T des pays de la CEI subit actuellement une transformation importante en vue de s'adapter aux conditions du marché. Les anciens États de l'URSS mettent en place leurs systèmes respectifs en fonction des objectifs politiques et socio-économiques nationaux, et chacun d'eux adopte ses moyens propres de restructuration. Ils ont néanmoins en commun certaines caractéristiques en ce qui concerne la conversion de leurs systèmes de R-D, du fait de leur expérience passée commune.

Les tendances quant au potentiel de R-D sont influencées par la situation économique globale des pays de la CEI. Les principaux indicateurs macro-économiques (tableau 2) confirment, à l'évidence, la récession économique actuelle. Entre 1991 et 1994, le PIB des pays de la CEI a diminué de 39 % et la production industrielle de 44 %. Les prix à la consommation ont augmenté en moyenne de 1 600 fois, ce chiffre étant même supérieur dans quelques pays. Le niveau de vie de la population a fortement baissé, des millions de personnes vivant au-dessous du seuil de la pauvreté.

Selon les estimations actuelles, en 1994, le déficit du budget de l'État dans les pays de la Communauté variait entre 5 et 21 % du PIB. En Russie, par exemple, il était de l'ordre de 13 % (Comité statistique de la CEI, 1995). Les dépenses d'équipement engagées de manière suivie dans des secteurs non profitables — l'agriculture et l'industrie militaire, par exemple — la nécessité de soutenir un nombre croissant de programmes sociaux et l'instabilité des entreprises, tout cela a rendu la situation encore plus compliquée. Dans de nombreux cas, les difficultés économiques ont été exacerbées par des crises politiques, des conflits ethniques et des heurts militaires.

FINANCEMENT DE LA R-D

Du fait de tous ces problèmes, ni les pouvoirs publics, ni les entreprises ne sont en mesure de poursuivre le financement de la R-D aux niveaux atteints précédemment. Les facteurs suivants ont aggravé davantage encore la situation :

- Cessation des programmes de S et T, des dépenses d'équipement et des approvisionnements à caractère centralisé à l'échelle de l'Union ; rupture des contrats de R-D entre les différents instituts et entreprises de l'État.
- Charges croissantes pesant sur les budgets nationaux et, de ce fait, diminution en termes réels de la part des crédits publics alloués à la R-D.
- Manque d'intérêt de la part des entreprises pour des investissements à long terme et quasiment pas de demande industrielle de R-D.
- Emploi dans la R-D relativement peu prestigieux et mal rémunéré, surtout par rapport au secteur industriel et commercial.

En conséquence, les pays de la CEI voient leur base de R-D se rétrécir de manière radicale, événement sans précédent dans l'histoire de la science et de la technologie au xx^e siècle (Freeman, 1994).

Les problèmes de financement de la R-D doivent être

examinés dans le contexte d'un nouveau recul de la recherche dans les priorités nationales, ainsi qu'il ressort des indicateurs de l'action menée en matière de R-D, qui sont en baisse. La croissance en valeur de la R-D (tableau 3) n'a pas été suffisante pour compenser l'inflation qui s'accélère. Mesurées en prix constants, les dépenses de R-D engagées dans la CEI pendant la période de 1991-1993 ont diminué de 40 à 60 % par pays.

En Russie, les dépenses de R-D calculées conformément aux normes de l'Organisation de développement et de coopération économiques (OCDE) ont atteint quelque 1 313,6 milliards de roubles en 1993 (tableau 4). Leur croissance annuelle moyenne pendant la période 1989-1991 a été légèrement supérieure à celle de l'URSS pour la même période (12,8 contre 11,7 %), mais néanmoins plus faible que le taux d'inflation. Exprimées en prix constants de 1989, les dépenses de R-D en 1993 étaient l'équivalent de 24,8 % seulement de celles de 1990.

TABLEAU 3
VALEUR DE R-D PAR PAYS DE LA CEI (calculée en prix courants)

	1989 ¹	1990 ¹	1991 ¹	1992 ¹	1993 ²
Arménie	222,9	231,1	168,5	479,1	2 300,4 ¹
Azerbaïdjan	117,0	140,7	194,3	974,5	1 074,2
Bélarus	853,0	862	1 097,8	7 480,4	94 636,5
Géorgie	213,4	177,2	—	—	—
Kazakhstan	321,2	326,0	425,2	2 855,1	91,7
Kirghizistan	45,3	59,0	49,0	321,5	10,8
Moldavie	142,9	182,3	219,1	1129	12,3
Ouzbékistan	389,5	379,6	665,8	3 400,3	334 272,3
Russie	18 348,5	18 371,3	23 269,6	173 448,6	1 445 416,1
Tadjikistan	57,0	50,2	55,1	226,3	1 529,5
Turkménistan	47,0	45,8	65,3	631,2	61,4
Ukraine	3 675,9	3 649,7	5 079,2	61 832,7	1 695 559,0

1. Millions de roubles.

2. Millions en monnaie nationale.

— Données non disponibles.

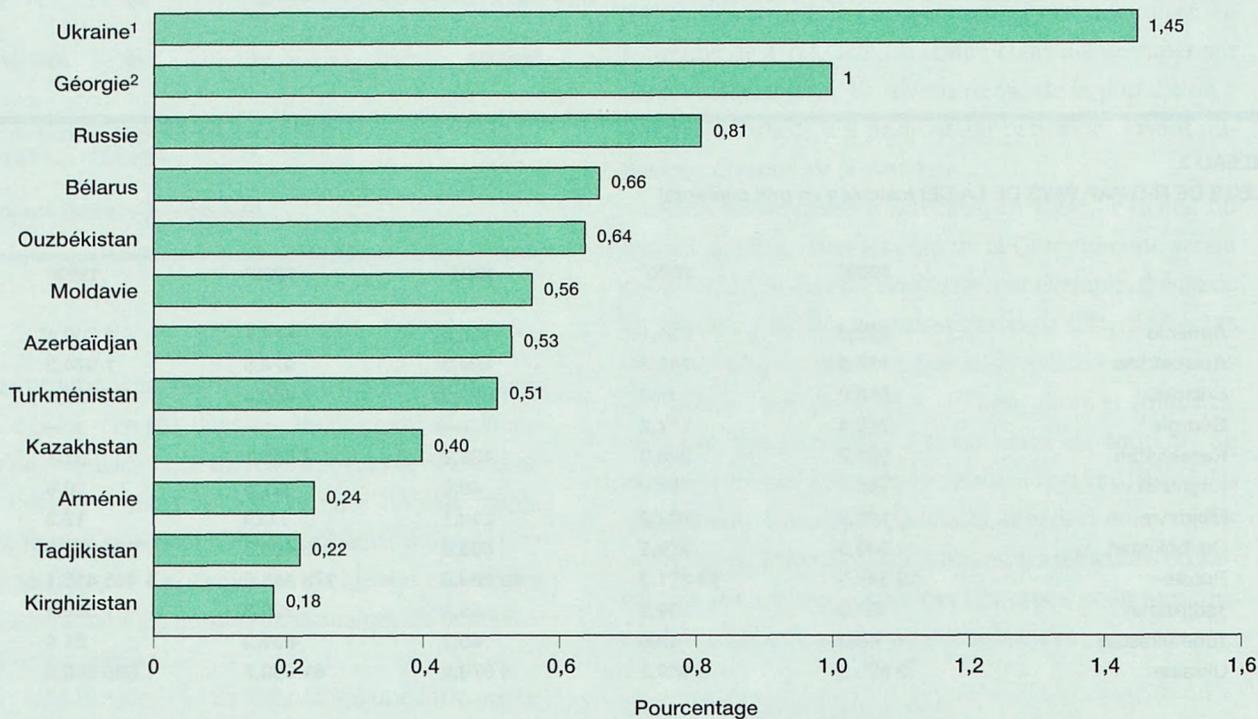
Source : Centre de la recherche scientifique et de la statistique, services nationaux de statistique.

TABLEAU 4
DÉPENSES DE R-D EN RUSSIE¹

Dépenses totales de R-D	1990	1991	1992	1993
En millions de roubles courants	13 077,7	19 990,7	140 590,8	1 313 556,7
En millions de roubles de 1989	10 898,1	7 196,1	2 350,4	2 699,9
En pourcentage du PIB	2,03	1,54	0,78	0,81
En millions de dollars des États-Unis ²	23 945,0	20 168,2	9 569,9	6 412,4

1. Calculées par l'auteur conformément aux normes de l'OCDE.
2. Calculées sur la base des parités annuelles de pouvoir d'achat.

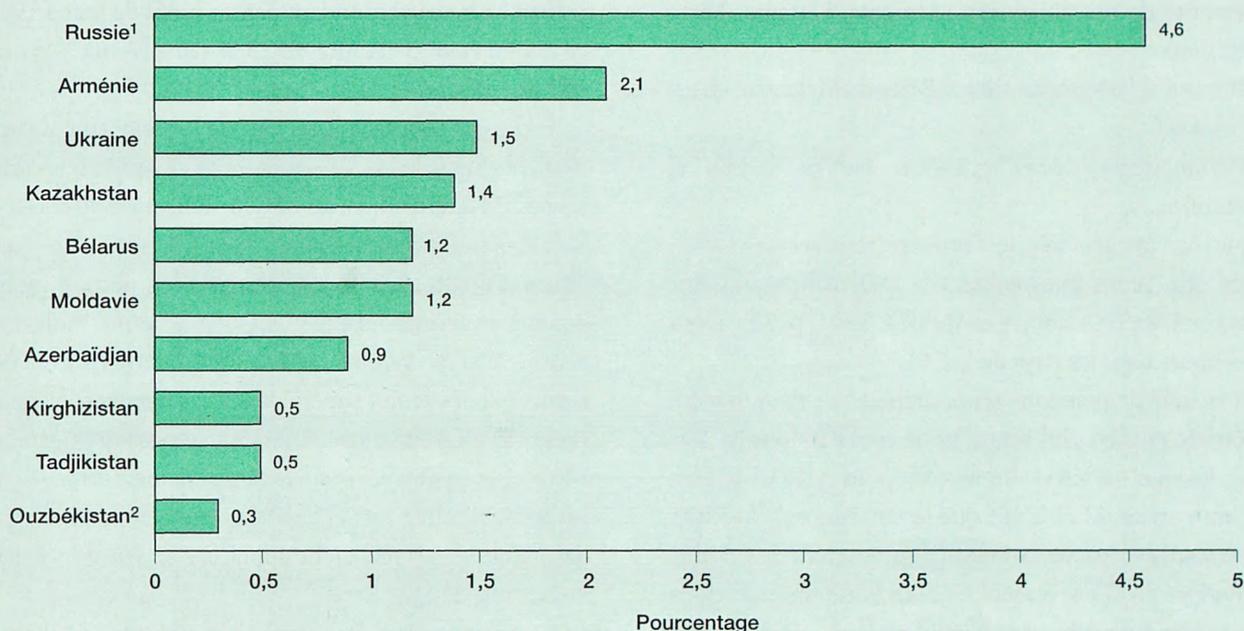
FIGURE 3
DÉPENSES DE R-D DANS LES PAYS DE LA CEI EN POURCENTAGE DU PIB, 1993



1. Ce chiffre semble être surestimé. Selon les données de l'Académie ukrainienne des sciences, il était de l'ordre de 0,7 % en 1993.
2. 1990.

Source : Calculées par l'auteur, qui a utilisé les données des services nationaux de statistique.

FIGURE 4
CRÉDITS ALLOUÉS À LA R-D EN POURCENTAGE DES DÉPENSES ENGAGÉES PAR PAYS, AU TITRE DU BUDGET DE L'ÉTAT 1993



Note : Données non disponibles pour la Géorgie et le Turkménistan.

1. Les crédits de R-D affectés à la R-D civile en Russie en 1993 représentaient 2,5 % du total du budget de l'État.

2. 1991.

Source : Centre de la recherche scientifique et de la statistique, services nationaux de statistique et académies nationales des sciences.

La croissance des dépenses de R-D a été en retard par rapport aux principaux indicateurs macroéconomiques. La part que représentaient les dépenses de R-D dans le PIB en Russie est passée de 2,03 à 0,81 % entre 1990 et 1993. Si l'on se réfère aux données de l'OCDE relatives à cet indicateur, la Russie tombait sous la moyenne dans le groupe de pays à faible potentiel de R-D tels que l'Irlande, l'Islande, l'Espagne et la Nouvelle-Zélande. Dans la plupart des autres pays de la CEI, la part de la R-D dans le PIB était même plus faible (fig. 3).

En dépit d'une transformation institutionnelle considérable, le budget de l'État reste la source la plus importante de financement de la R-D et presque la seule quant

à la recherche fondamentale. Le système extrêmement centralisé de financement de la R-D est maintenu, alors même que le rythme de la réforme économique s'est accéléré. Les États n'ont simplement pas réussi à attirer des investissements privés dans la science et la technologie. Dans le même temps, les gouvernements ne savent pas encore réellement ce qu'ils veulent de la R-D, et malheureusement les dépenses de R-D ne sont pas considérées comme une priorité élevée dans les politiques nationales actuelles en matière de structures nationales.

Il y a des différences d'un pays membre de la CEI à un autre quant à la part des crédits qui, dans le budget total de l'État, sont alloués à la R-D (fig. 4). Au titre de cet indi-

cateur, on peut répartir ces pays en quatre sous-groupes, en fonction de l'importance relative de la R-D dans les priorités nationales :

- Priorité relativement élevée (Russie).
- Priorité de niveau moyen (Arménie, Ukraine, Kazakhstan).
- Priorité relativement faible (Biélorus, Moldavie, Azerbaïdjan).
- Priorité négligeable (Kirghizistan, Tadjikistan, Ouzbékistan).

D'une manière générale, le « principe résiduel » de l'affectation des crédits budgétaires à la R-D, qui prédominait dans l'ex-URSS (Gokhberg et Mindeli, 1993, p. 12), a toujours cours dans les pays de la CEI.

A la suite de pressions économiques à court terme qui se font de plus en plus sentir, on relève dans tous les secteurs des signes d'intérêt décroissant pour la R-D de la part des entreprises. Mais le fait que les académies nationales des sciences continuent à être financées avec des crédits du budget de l'État, auquel s'ajoute la diminution de la demande industrielle de recherche appliquée, a été la principale raison de la croissance relative de la recherche fondamentale : dans la plupart des États de la CEI, la part que celle-ci représentait dans les dépenses nationales de R-D a augmenté en moyenne de 1,5 à 2 fois pendant la période 1989-1993 (fig. 5). Au titre de cet indicateur, les pays de la CEI sont désormais proches des pays industriels de premier plan : 13 % au Royaume-Uni et au Japon, 14 % aux États-Unis, 19 % en Allemagne et 23 % en France (National Science Board, 1991, p. 344).

Du fait de l'instabilité de la situation financière, les instituts des académies se voient contraints de mettre en œuvre des projets qui ne satisfont pas les objectifs de leur recherche. Ainsi, dans certains pays de la CEI, les académies des sciences fournissent un nombre important de services de S et T à d'autres unités de recherche et aux entreprises : la part des académies dans les totaux nationaux respectifs a atteint, en 1993, 8 % en Azerbaïdjan, 9,7 % en Ouzbékistan, et jusqu'à 18,3 % en Moldavie et 19,6 % au Kazakhstan. A cet égard, l'enquête par sondage réalisée par le Centre de la recherche scientifique et de la

statistique (CRSS) à l'Académie russe des sciences donne des résultats qui, en fait, sont caractéristiques des autres pays de la CEI. Ainsi, selon les données recueillies, dans 60 % des instituts de l'Académie, environ 10 % de la recherche ne correspondent pas au profil de leur activité, ce chiffre étant de l'ordre de 25 % dans les 40 % d'instituts restants.

En ce qui concerne le secteur de l'enseignement supérieur, les États de la CEI poursuivent des politiques différentes. En Azerbaïdjan, au Kazakhstan, en Moldavie et en Russie, les universités sont appelées à accroître leur participation à la recherche fondamentale en termes absolus comme en termes relatifs. Cela reflète l'appui budgétaire accordé à la recherche fondamentale dans les universités, tandis que les écoles supérieures d'ingénieurs sont financées à un moindre degré. En même temps, au Biélorus, en Ukraine et en Ouzbékistan, les établissements d'enseignement supérieur sont, d'une manière générale, orientés davantage vers la recherche appliquée en vue de satisfaire les besoins de l'industrie.

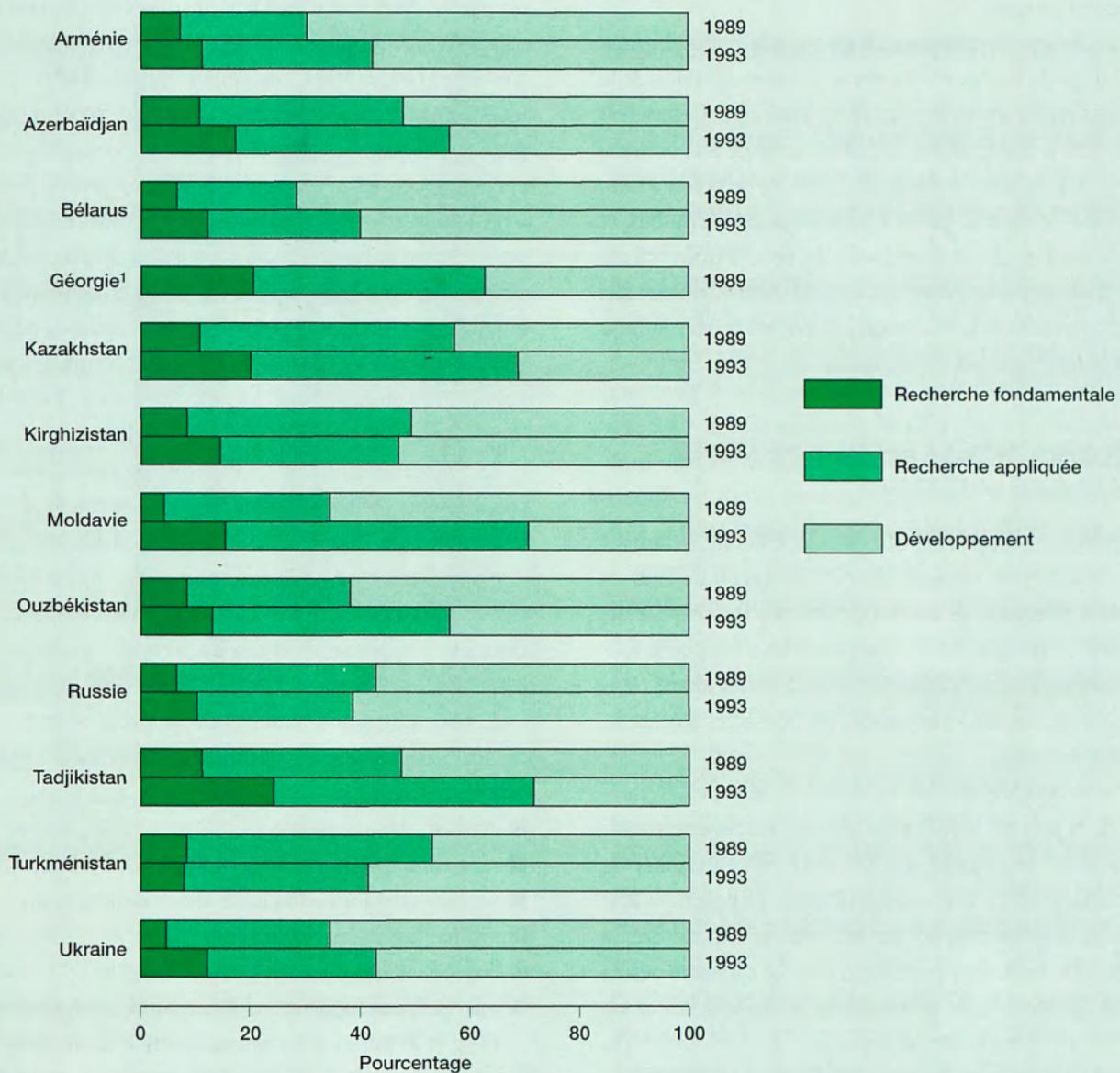
Le secteur de la R-D industrielle lui-même a souffert au plus haut point des changements du marché. La diminution de la demande industrielle de R-D à long terme a influencé le rôle en déclin de ce secteur en matière de R-D. En Russie, pour la première fois pendant une longue période, la contribution des établissements de R-D industrielle aux dépenses nationales de R-D a diminué : de 90,3 % en 1991, elle est tombée à 86 % en 1993. La part de la recherche fondamentale dans les totaux de R-D dans les principales industries oscille dans les limites de 0,4 à 1,7 %, mais parmi ces industries figurent des branches qui déterminent le progrès technologique (chimie, machines électriques, instruments, etc.). Au Biélorus, les instituts de recherche industrielle et les organisations de concepteurs ont perdu de 60 à 70 % de leurs contrats.

La mise en œuvre des changements structurels requis pour enrayer la détérioration de la base de R-D est entravée par l'inflation, dont le taux est élevé. En 1991-1992, outre les augmentations des coûts matériels, on a relevé un accroissement rapide des salaires et des coûts afférents au travail (indexation et versements compensatoires,

contributions accrues au titre de la Sécurité sociale et introduction des cotisations de retraite). Les taux d'amortissement des machines et du matériel ont aussi aug-

menté. De ce fait, les instituts de recherche se trouvent parfois simplement dépourvus de crédits pour les dépenses courantes.

FIGURE 5
RÉPARTITION, EN POURCENTAGE ET PAR TYPE D'ACTIVITÉ, DES DÉPENSES DE R-D DANS LES PAYS DE LA CEI



1. Données non disponibles pour 1993.

Source : Centre de la recherche scientifique et de la statistique, services nationaux de statistique.

Les efforts visant à compenser la forte augmentation du coût de la vie par des augmentations de salaires n'ont pas abouti et, de toute manière, ils ont été faits au détriment d'autres postes de dépense, en particulier ceux qui concernent les matériels. En Russie, les salaires globaux ont atteint en 1992 38 % du montant des dépenses courantes de R-D (48,9 % si les contributions à la Sécurité sociale étaient prises en compte).

La pénurie de devises étrangères et la chute du taux d'échange du rouble et d'autres monnaies nationales de la CEI ont réduit à près de zéro l'importation de matériel de recherche et l'acquisition de publications de S et T étrangères. De nombreux instituts de recherche de pointe à forte intensité de capital, dotés d'un équipement coûteux et implantés dans des locaux modernes, se sont trouvés dans une situation particulièrement difficile. Parfois, n'ayant pas les instruments et le nécessaire, ils ont dû arrêter la mise en œuvre des projets de recherche.

CONVERSION DE LA RECHERCHE MENÉE AUX FINS DE LA DÉFENSE

Les principaux pays de la CEI (Russie, Ukraine, Bélarus et Kazakhstan) sont engagés dans la conversion de l'industrie de la défense et de la R-D correspondante, ce qui a été, en partie, à l'origine de la diminution des totaux de la R-D industrielle. Dans ces États, de 70 à 75 % des totaux de la R-D étaient, au début des années 90, consacrés aux applications militaires.

On ne peut s'empêcher de trouver frappante la réduction de la part de la R-D dans le total des dépenses militaires. Ainsi, entre 1989 et 1993, cette part est tombée de 19,8 % (URSS) à 7,2 % environ (Russie). La base de la R-D militaire s'est rétrécie de manière plus accentuée que la production militaire proprement dite. Le caractère désordonné, improvisé, de la conversion menace la survie de nombreux grands établissements de recherche du complexe militaro-industriel et exacerbe le divorce entre la R-D et l'industrie.

La base de la R-D militaire de l'URSS était implantée principalement en Russie ; lors de l'éclatement de l'Union

soviétique, quelque 74 % du nombre total des unités de R-D militaire y étaient concentrés. 88 % de la R-D militaire (en termes de dépenses) étaient le fait de ces unités (Centre de la recherche scientifique et de la statistique, 1993a).

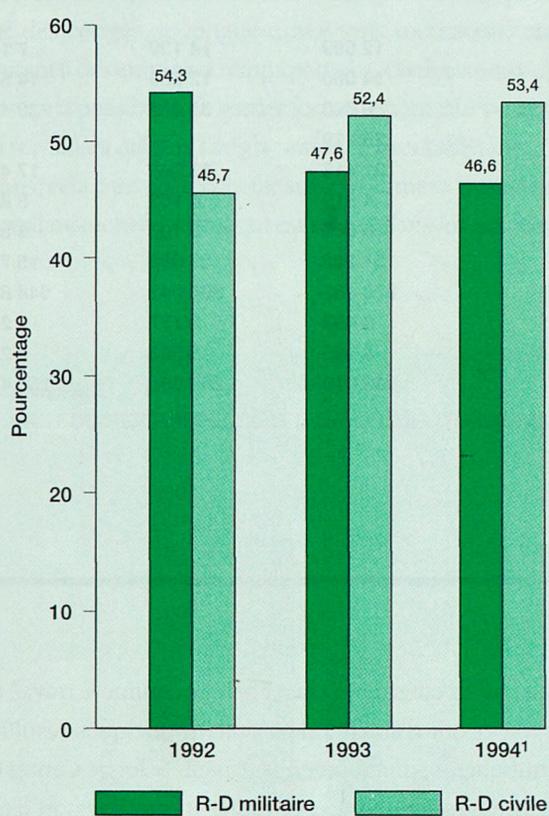
Entre 1991 et 1993, les crédits alloués à la R-D militaire en Russie étaient multipliés par 57, en prix courants, atteignant le montant total de 711,7 milliards de roubles. En prix constants, cette indexation était insuffisante : en 1993, la valeur de la R-D militaire ne dépassait pas 4,1 milliards de roubles en prix de 1991. Néanmoins, en regard des normes internationales, la R-D russe reste excessivement militarisée. Les programmes orientés vers la défense représentent encore à peu près la moitié du total des dépenses de R-D (en Ukraine, selon le Centre ukrainien d'études relatives au potentiel scientifique et technologique et à l'histoire de la science, cette part était de 31 % en 1992). En conséquence, la part que représentaient en 1993 les dépenses de R-D civile n'était que de 0,44 % du PIB russe, contre 1,3 % en Italie, 1,7 % au Royaume-Uni, 2 % en France, 2,1 % aux États-Unis et 3 % au Japon (OCDE, 1994a).

La réorientation de la R-D militaire se traduit par des changements dans les programmes qu'exécutent les établissements de R-D de l'industrie de la défense (fig. 6). Ceux-ci entrent en compétition avec les unités de R-D civile, plus faibles, pour l'obtention de crédits et de contrats, et semblent avoir commencé à les supplanter sur le marché.

Les domaines prioritaires pour l'application civile des capacités de recherche aux fins de la défense en Russie sont les suivants :

- aviation civile et espace ;
- nouveaux matériaux et technologies nouvelles ;
- systèmes d'information et de télécommunication ;
- ordinateurs et instruments ;
- biens de consommation ;
- matériel pour l'agriculture, alimentation, industries textiles et habillement, restauration commerciale et publique ;
- ingénierie de l'énergie et matériel de transport ;
- matériel médical ;
- matériel de protection de l'environnement.

FIGURE 6
DÉPENSES DE R-D ENGAGÉES
DANS LES ÉTABLISSEMENTS DE R-D DE L'INDUSTRIE
DE LA DÉFENSE RUSSE PAR OBJECTIF
(en pourcentage)



1. Chiffres estimatifs.

Source : Comité d'État des statistiques de la Fédération de Russie, 1995.

Mais la croissance de l'activité de R-D civile à l'intérieur des instituts dans le processus de conversion n'est pas en mesure de compenser le déclin des programmes de défense. La transformation du profil des unités de recherche aux fins de la défense exige du temps et des crédits supplémentaires. Quoi qu'il en soit, la recherche fondamentale a été habituellement la première victime de la

réorientation liée aux réductions opérées dans les instituts de R-D industrielle, et son taux de fléchissement est le double de celui de la R-D des instituts de défense dans leur ensemble. Enfin, même dans le secteur de la défense, la part de la recherche fondamentale en 1994 ne représentait, selon les estimations du Comité d'État russe des statistiques, que 1,1 % de l'activité globale de R-D.

LES RESSOURCES HUMAINES EN R-D

En l'absence de tout moyen efficace de protection sociale, et étant donné une inflation galopante et une situation difficile quant à la consommation, on ne peut retenir le personnel des établissements de R-D avec les barèmes de salaires existants. Dans les pays de la CEI à fort potentiel de R-D (Ukraine, Bélarus et Kazakhstan), les salaires pratiqués dans le secteur de la R-D étaient, en 1993, de 5 à 7 % inférieurs à ceux de l'économie nationale dans son ensemble et, en Russie, en particulier, ils ne représentaient que 76,7 % de la moyenne de 1994. Dans les banques, les firmes privées et les coentreprises, les salaires variaient du double au triple. Avec les possibilités croissantes quant à une activité commerciale ou industrielle et la remise à l'honneur de la propriété privée, la création d'entreprises présente un attrait grandissant pour les personnes qualifiées et dynamiques. Nombre d'administrateurs de haut niveau de grandes entreprises (banques, groupes industriels, coentreprises, compagnies d'assurances, etc.) sont titulaires de doctorats.

L'exode vers le secteur des affaires est devenu une caractéristique dominante du recul de l'emploi en R-D dans les pays de la CEI. Entre 1991 et 1993, cet exode a atteint 20 à 40 % (par pays), et les chiffres nationaux étaient de 3 % pour l'Azerbaïdjan, de 8 % pour le Turkménistan, de 54 % pour l'Arménie, de 53 % pour l'Ouzbékistan et de 44 % pour le Bélarus. Les variations historiques de l'effectif du personnel de R-D dont disposent les nouveaux États indépendants ont été aggravées par ces déperditions inégales de personnel. Ainsi, à la fin de 1993, un écart de 310 fois s'était creusé entre la Russie et le Tadjikistan (tableau 5).

TABLEAU 5
PERSONNEL DE R-D PAR PAYS DE LA CEI

	Total (chercheurs, techniciens, personnel d'appui)			Chercheurs seulement		
	1991	1992	1993	1991	1992	1993
Arménie	22 816	20 863	10 596	12 699	14 129	7 106
Azerbaïdjan	22 701	19 036	21 975	14 800	12 236	14 549
Bélarus	90 999	58 278	51 181	50 963	33 685	30 474
Géorgie	30 345 ¹	—	—	20 719 ¹	—	—
Kazakhstan	40 879	29 145	30 383	22 417	17 248	17 435
Kirghizistan	8 705	7 405	5 897	4 912	4 163	3 826
Moldavie	19 351	14 317	12 098	10 585	8 107	6 828
Ouzbékistan	70 405	45 732	33 685	31 202	22 039	15 724
Russie	1 677 784	1 532 618	1 315 008	878 482	804 043	644 881
Tadjikistan	6 892	5 002	4 248	3 493	2 777	2 267
Turkménistan	7 971	6 517	7 355	4 485	3 663	4 272
Ukraine	449 782	380 797	345 849	243 019	208 058	189 445

1. 1990.

— Données non disponibles.

Source : Centre de la recherche scientifique et de la statistique.

En dépit de la diminution de l'effectif du personnel de R-D, la Russie, l'Ukraine et le Bélarus continuent à avoir un niveau relativement élevé d'emploi en R-D en pourcentage du total national de l'emploi par rapport aux autres pays de la CEI (fig. 7).

D'une manière générale, les académies nationales des sciences ont été moins touchées par la réduction exceptionnellement forte du personnel que les autres secteurs de la R-D. En Russie, le personnel de R-D du secteur des académies a diminué de 9 % entre 1991 et 1993, contre 33 % dans les établissements de R-D industrielle ; en Ukraine, les chiffres étaient respectivement de 9 et 28 %. L'Azerbaïdjan et le Turkménistan virent un accroissement du nombre de personnes engagées en R-D. Cette situation relativement favorable est le résultat de la politique suivie par les académies, qui consiste à sauvegarder les ressources humaines pour la recherche fondamentale. Il semble que la majorité des scientifiques n'ont pas l'intention de quitter leur aca-

démie, car ils considèrent la recherche comme le travail de leur vie et ont d'ailleurs déjà obtenu quelques résultats scientifiques justifiant cet engagement. Selon le Centre de la recherche scientifique et de la statistique, il ressort d'enquêtes par sondage menées auprès des instituts de recherche de l'Académie russe des sciences que près de 85 % des chercheurs interrogés envisageaient de poursuivre leur carrière à l'Académie ; 2 % seulement des personnes interrogées ont exprimé l'intention de quitter l'Académie.

L'emploi dans les académies présente un attrait pour les chercheurs à cause des possibilités qu'elles leur offrent quant au cumul de cet emploi avec un emploi secondaire dans le secteur des affaires. L'analyse des données provenant des enquêtes par sondage fait apparaître l'accroissement de la proportion que représente le corps de chercheurs des académies employés à temps partiel dans des entreprises privées : de 35 % environ en 1992, le chiffre est passé à 45 % en 1993. 24 % des chercheurs interrogés

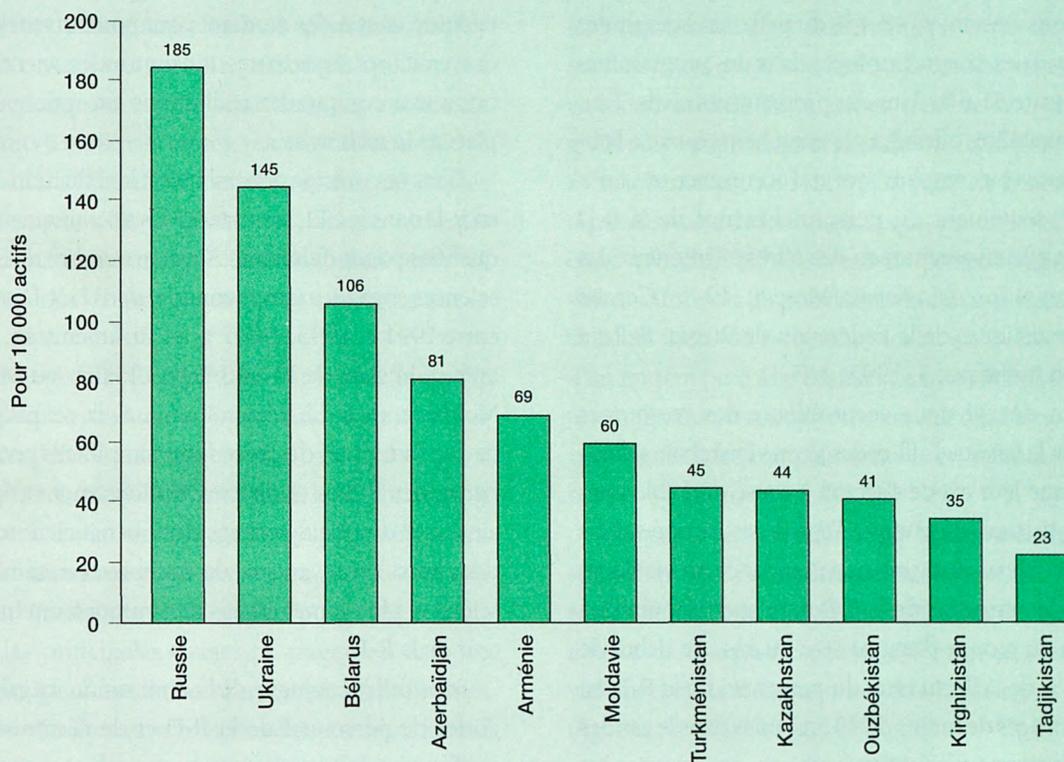
enseignaient également dans les universités, 11 % travaillaient dans des instituts de R-D industriels.

Ce facteur explique dans une certaine mesure les statistiques optimistes de l'emploi dans le secteur des académies. Afin de sauvegarder les unités de recherche, souvent les responsables accordent à des membres de leur personnel des congés de longue durée sans traitement, ou les mutent à des emplois à temps partiel. Cela donne aux chercheurs la possibilité de garder formellement leur poste tout en travaillant ailleurs dans la pratique. Inévitablement, toutefois, cela a un effet fâcheux sur le volume et la qualité du travail de recherche réel qui est réalisé dans les académies.

De toute évidence, il est difficile de mener de front un emploi dans la recherche fondamentale et une activité commerciale, c'est pourquoi la recherche fondamentale est plus sérieusement menacée par ce genre d'arrangements.

En l'absence de mesures stratégiques visant à opérer d'urgence les changements structurels requis, la réduction des effectifs des établissements de R-D et la formation d'un marché du travail en S et T sont chose courante. La plupart des personnes qui quittent les établissements de R-D le font volontairement. Ainsi, en Russie, le personnel en surnombre ne représentait en 1993 que 8 % de l'exode total du secteur de la R-D.

FIGURE 7
PART DU PERSONNEL DE R-D DANS LES TOTAUX NATIONAUX DE L'EMPLOI PAR PAYS, EN 1993.



Note : Données non disponibles pour la Géorgie.

Source : Centre de la recherche scientifique et de la statistique.

La réduction globale du personnel de R-D a touché plus particulièrement les techniciens et le personnel d'appui (à l'exception de l'Azerbaïdjan). On peut imputer ce fait au désir de réduire les frais généraux et aux réductions de matériel de R-D. Comme on pouvait s'y attendre, une baisse de l'efficacité des chercheurs et une détérioration des conditions de travail en ont été les corollaires. En même temps, les représentants des deux catégories touchées s'adaptent plus facilement dans la situation économique nouvelle.

Dans la Fédération de Russie, pendant la période 1989-1994, l'effectif total du personnel employé dans les établissements de R-D de l'industrie de la défense a diminué de 40 % ; parmi les personnes qui ont quitté ces établissements figuraient de nombreux chercheurs talentueux. La réorientation de la recherche vers des fins civiles était accompagnée de changements dans la répartition du personnel de R-D entre les programmes militaire et civil ; selon les estimations existantes, 48,4 % du personnel des unités de R-D converties étaient employés dans des programmes militaires contre 51,6 % dans des programmes civils. Toutefois, les possibilités offertes à ces chercheurs quant à l'obtention de nouveaux emplois sont en l'occurrence très limitées ; 25 % seulement du personnel évincé de la R-D militaire ont effectivement reçu des offres à l'intérieur des mêmes organisations (*Economist*, Moscou, 1995 ; Comité d'État des statistiques de la Fédération de Russie, *Bulletin d'information statistique*, 1, 1995, p. 3-4).

L'élément décisif dans ce problème des ressources humaines est le fait que l'afflux des jeunes chercheurs diminue tandis que leur exode s'accroît à cause du faible intérêt que manifestent les jeunes à l'égard des carrières dans la R-D. On a relevé ainsi une nette tendance au vieillissement parmi le personnel de la R-D, tendance imputable à la réduction du groupe d'âge de 30 à 40 ans. Au début de 1994, 37,6 % de l'effectif total du personnel de la R-D en Russie étaient âgés de moins de 40 ans, mais dans le cas des chercheurs hautement qualifiés, cette proportion était plus faible — 19,9 % et 2,8 % parmi les « candidats » (équivalent du doctorat) et les docteurs (niveau supérieur) ès sciences, respectivement. La proportion des docteurs ès

sciences qui ont atteint l'âge de la retraite atteint 40,8 %. L'âge moyen des membres de l'Académie russe des sciences — les académiciens — varie entre 63 (économistes) et 72 ans (spécialistes des relations internationales). Même dans les domaines les plus dynamiques de la S et T, telles la physique, l'informatique et la biologie, l'âge moyen des académiciens est de 68-69 ans. Dans les autres pays de la CEI, la situation est analogue ; par exemple, au Bélarus, 34,5 % des docteurs ès sciences sont âgés de plus de 60 ans.

Le système de rémunération n'encourage pas les jeunes scientifiques. Entre 30 et 34 ans, ils reçoivent des traitements qui représentent approximativement 84 % de la moyenne, et au-dessous de 30 ans ils reçoivent l'équivalent de 73 % de ce chiffre. Selon nos estimations, les scientifiques âgés de plus de 60 ans sont payés 50 % de plus que ceux âgés de 35 à 44 ans. Pour remédier dans une certaine mesure à cette situation, depuis 1994 des bourses scientifiques d'État sont offertes à de jeunes scientifiques talentueux et à des étudiants qui poursuivent des études universitaires supérieures, ainsi qu'à des scientifiques qui ont à leur compte des réalisations exceptionnelles sur le plan de la recherche.

Dans ce contexte général qu'est la réduction de l'emploi en R-D dans la CEI, la situation des scientifiques hautement qualifiés paraît différente. Ainsi, le nombre de docteurs ès sciences engagés à temps complet dans la R-D a augmenté, entre 1991 et 1993, de 75 % au Turkménistan, de 30,3 % au Kazakhstan, de 16 à 18 % en Ukraine, au Bélarus et en Moldavie, et de 12,5 % en Russie. Cela s'explique en partie par l'adoption de procédures simplifiées pour la soutenance des thèses et de prescriptions moins rigoureuses, ainsi que du grand prestige dont bénéficient toujours les doctorats. En revanche, de nombreux « candidats » ès sciences, plus jeunes et plus dynamiques, ont quitté le secteur de la R-D.

Sous l'effet conjugué de la diminution inégale des catégories de personnel de la R-D et de l'accroissement en chiffres absolus du nombre de scientifiques titulaires d'un doctorat, la part que représente le personnel détenant des diplômes universitaires supérieurs a augmenté de 3 à 6 % dans certains États pendant la période 1991-1993. C'est

seulement en Arménie et au Kirghizistan que l'effectif des titulaires de diplômes scientifiques a diminué, tant en chiffres absolus qu'en termes relatifs.

La migration des scientifiques

Les changements politiques, économiques et sociaux survenus dans les pays de la CEI depuis l'éclatement de l'URSS ont été à l'origine de tendances nettement nouvelles quant à la migration internationale. A cet égard, il conviendrait de considérer deux principaux flux de scientifiques et d'ingénieurs : entre les États de l'ex-URSS, entre ces États et les pays étrangers.

La migration de personnel de R-D entre les pays de l'ex-URSS est en grande partie imputable à des facteurs sociaux. Divers conflits politiques et ethniques ont éclaté dans les nouveaux États indépendants et ont amené une proportion considérable de la population « russophone » à gagner la Russie. Dans cette vague figurent des personnes qualifiées (ingénieurs, enseignants, ouvriers spécialisés, etc.), y compris un certain nombre de personnes qui avaient obtenu précédemment des diplômes dans des universités ou des instituts techniques russes, mais qui avaient trouvé des emplois dans d'autres anciennes républiques soviétiques. Très souvent, ils viennent en Russie en tant que réfugiés, en même temps que des personnes âgées et d'autres catégories de personnes moins protégées sur le plan social.

Parmi les pays de la CEI, la Russie est le seul où il y ait eu un net afflux de migrants en provenance d'autres républiques de l'ex-URSS, le nombre total d'immigrants ayant atteint 800 000 en 1994. Le Kazakhstan, le Kirghizistan et l'Ouzbékistan viennent en tête comme pays de migration, tandis que la deuxième place revient au Tadjikistan, à la Géorgie et à l'Azerbaïdjan ; les conflits politiques et militaires sont les principales causes de migration dans ce deuxième groupe. Dans de nombreux cas, les problèmes nationaux ou ethniques ont aussi des répercussions sur les nationalités autochtones, et celles-ci aussi font partie des flux de migration vers la Russie. Il convient de dire qu'un nombre négligeable d'immigrants ont trouvé des emplois en rapport avec la S et T en Russie.

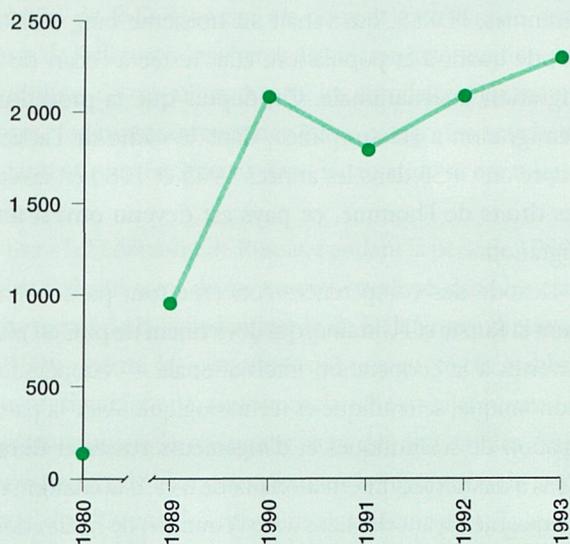
Les chercheurs en S et T, représentant l'échelon le plus élevé de la R-D, ressentent les contrecoups de la migration internationale des scientifiques et des ingénieurs, et d'autres sortes d'exodes des compétences. Pendant des décennies, l'URSS, qui venait au troisième rang dans le monde quant à la population, était restée à l'écart de la migration internationale. Or, depuis que la procédure d'émigration a été simplifiée, dans le cadre de l'action menée en URSS dans les années 1985 et 1986 en faveur des droits de l'homme, ce pays est devenu ouvert à la migration.

L'exode des compétences concerne tout particulièrement la Russie et l'Ukraine, qui deviennent de plus en plus ouvertes à la coopération internationale — coopération économique, scientifique et technologique. Avec la participation de scientifiques et d'ingénieurs russes et ukrainiens à des projets internationaux de S et T, la création de compagnies ayant des liens avec l'étranger, de filiales dont les propriétaires sont des étrangers, et de coentreprises, ces deux pays ont effectivement fait leur entrée sur le marché international du travail en matière de S et T. Il n'est guère surprenant, dans ces conditions, que les scientifiques et les ingénieurs, qui sont mécontents de la situation politique et sociale de leur pays et qui, par ailleurs, ne bénéficient que d'un faible niveau de protection sociale et se voient offrir peu de possibilités quant à la mise en œuvre de leurs idées de recherche, soient en quête à l'étranger d'un emploi ou d'une bourse. Cela se traduit souvent par une migration internationale en vue d'un emploi temporaire ou d'études complémentaires et, au bout du compte, par l'émigration.

Une étude récente réalisée par le Centre de la recherche scientifique et de la statistique, sur la base des données du Ministère de l'intérieur de la Fédération de Russie, a permis d'évaluer statistiquement le nombre de personnes travaillant dans la R-D qui ont quitté la Russie pour émigrer (fig. 8).

Les émigrants ne représentent que 0,6 % de l'exode total du personnel en provenance du secteur de la R-D. Cela semble indiquer que l'exode des compétences n'a pas encore pris de dimensions sérieuses. Le flux d'émigrants

FIGURE 8
ÉMIGRATION DU PERSONNEL DE R-D
HORS DE RUSSIE



Source : Centre de la recherche scientifique et de la statistique, 1995.

est imputable principalement à des facteurs ethniques, comme précédemment ; le marché du travail joue toujours un rôle subsidiaire.

L'Académie russe des sciences a perdu 508 chercheurs par émigration en 1991-1992, chiffre représentant approximativement 0,8 % du total. Selon le Centre ukrainien d'études relatives au potentiel en science et en technologie et à l'histoire de la science, en 1991-1992, 160 chercheurs titulaires de diplômes universitaires supérieurs employés précédemment par l'Académie ukrainienne des sciences ont émigré, soit environ 1 % du total.

Sur les chercheurs de l'Académie russe des sciences qui ont émigré, 13,2 % travaillaient dans la physique générale et l'astronomie, et 11,6 % dans la biochimie, la biophysique et la chimie des composés physiologiquement actifs. La plupart des émigrants étaient titulaires du diplôme de « candidat » (55,9 %) ou de docteur ès sciences (16,2 %). La moitié des chercheurs étaient âgés de moins de 40 ans.

Israël et les États-Unis d'Amérique venaient en tête sur la liste des pays d'accueil, représentant respectivement 42,1 et 38,6 % du nombre total d'émigrants.

En même temps, des emplois contractuels à l'étranger dans le domaine de la R-D gagnent en importance, en particulier en ce qui concerne les spécialistes hautement qualifiés et très sollicités, souvent ayant à leur compte des travaux scientifiques reconnus. S'ils ne reviennent pas, cette forme d'exode des compétences, bien qu'elle ne se fasse pas à une échelle considérable, risque d'avoir un effet important sur le plan qualitatif et représente un problème à long terme pour le développement de la science et de la technologie en Russie. En 1991-1992, 1 701 scientifiques de l'Académie russe des sciences effectuaient des missions de longue durée (de plus de six mois) ou travaillaient à titre contractuel à l'étranger. Sur ce nombre, la proportion de scientifiques âgés de moins de 40 ans atteignait 60 %.

Il est intéressant de voir comment les diverses disciplines scientifiques sont représentées dans la liste des scientifiques de l'Académie russe des sciences qui détiennent un emploi temporaire à l'étranger. Les mathématiques viennent en tête (12,1 %), suivies par la biochimie et la biophysique (9,2 %), puis par la physique nucléaire (4,9 %), enfin par la physique générale et l'astronomie (4,1 %). La majorité de ces scientifiques travaillent aux États-Unis (38,2 %), suivis par l'Allemagne (16,2 %), la France (8,9 %), le Royaume-Uni (5,7 %), le Canada (5,2 %) et le Japon (4,1 %).

L'ENSEIGNEMENT DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE

En URSS, un réseau étendu d'établissements d'enseignement supérieur avait été créé qui, en principe, offrait l'égalité d'accès à l'enseignement supérieur aux ressortissants de toutes les républiques de l'Union. A la fin de 1991, on comptait 951 établissements de cette nature, avec un effectif total de 5 079 800 étudiants (les États baltes compris).

La désintégration de l'Union soviétique a entraîné une rupture des liaisons existantes et rendu nécessaire une division du travail quant à l'enseignement en S et T entre les

pays de l'ex-URSS. Les États de la CEI furent ainsi obligés d'accroître leur propres capacités en matière d'enseignement de S et T et en formation de spécialistes hautement qualifiés afin de satisfaire les besoins nationaux. Tous les pays de la CEI, à l'exception de l'Arménie, ont effectivement réussi à renforcer leurs réseaux nationaux d'établissements publics d'enseignement supérieur : une quarantaine d'instituts nouveaux ont été créés pendant la seule année 1993, y compris ceux qui dispensent une formation en économie (Kirghizistan 1, Moldavie 1, Russie 1, Tadjikistan 2, Ouzbékistan 1), en droit (Kazakhstan 2), en industrie et dans le bâtiment (Kazakhstan 2, Kirghizistan 5, Russie 4), en agriculture (Russie 2, Ukraine 1), en transports (Turkménistan 1), en théologie (Moldavie 1). De nouvelles universités d'un caractère général ont été ouvertes au Kirghizistan (2) et en Russie (3) ; des écoles militaires et académies de police ont été créées au Bélarus et au Tadjikistan. Au commencement de l'année universitaire 1993-1994, on dénombrait 999 établissements d'enseignement supérieur dans la CEI (tableau 6).

Il convient de noter que l'enseignement supérieur jouit toujours d'un grand prestige auprès de la population. C'est pourquoi, en dépit de la crise, la compétition pour l'entrée dans les universités ou instituts universitaires a été relativement stable ; au Kirghizistan, en Russie et en Ouzbékistan, elle s'est même accentuée depuis 1985.

Le nombre d'étudiants pour 10 000 habitants diminue dans la plupart des pays de la CEI, mais pour quelques-uns d'entre eux, tels la Russie (fig. 9), le Bélarus, la Géorgie, le Kazakhstan et l'Ukraine, entre 160 et 170 (tableau 6), il reste comparable à celui de quelques pays de l'OCDE (voir OCDE, 1994b, p. 52).

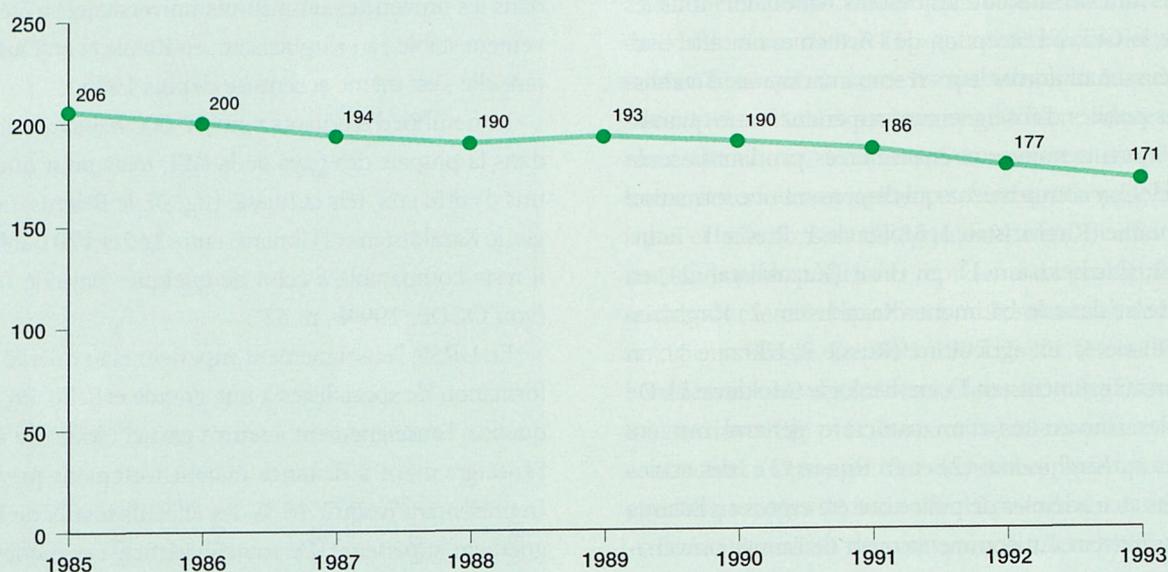
En URSS, l'enseignement supérieur était orienté vers la formation de spécialistes à une grande échelle. En conséquence, l'enseignement à temps partiel (cours du soir) et l'enseignement à distance étaient fortement privilégiés (représentant jusqu'à 46 % des effectifs totaux de l'enseignement supérieur). De toute évidence, ces modes d'enseignement ne peuvent pas fournir la qualité requise de formation, et leur réduction a entraîné une diminution globale

TABLEAU 6
PRINCIPAUX INDICATEURS DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR PAR PAYS DE LA CEI, 1993-1994

	Nombre d'établissements d'enseignement supérieur public	Inscriptions (milliers)	Premières inscriptions (milliers)	Diplômés (milliers)	Inscrits pour 10 000 habitants
Arménie	14	46,5	4,2	12,1	124
Azerbaïdjan	23	94,5	13,6	18,8	127
Bélarus	38	175,4	34,4	35,8	169
Géorgie	23	91,1	12,5	14,9	168
Kazakhstan	68	272,1	54,6	49,1	161
Kirghizistan	21	52,3	11,3	10,0	117
Moldavie	17	46,9	10,2	9,0	108
Ouzbékistan	55	272,3	28,7	63,0	123
Russie	548	2 542,9	543,5	443,6	171
Tadjikistan	22	69,0	16,8	13,2	123
Turkménistan	11	38,9	7,8	9,2	89
Ukraine	159	829,2	170	153,5	159

Source : Centre de la recherche scientifique et de la statistique, services nationaux de statistique.

FIGURE 9
EFFECTIFS DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR POUR 10 000 HABITANTS EN RUSSIE, 1985-1993



Source : Centre de la recherche scientifique et de la statistique.

des effectifs de l'enseignement supérieur dans la CEI pendant la période 1991-1993.

Pendant cette période, les inscriptions dans les établissements d'enseignement à temps partiel et à distance ont fortement diminué dans tous les nouveaux États indépendants (à l'exception du Tadjikistan). Les cours à temps partiel ont diminué de 4,2 fois au Bélarus, de 3,8 fois en Ouzbékistan, d'un tiers au Kazakhstan et en Russie. L'Arménie et la Moldavie ont arrêté les cours du soir dans les établissements d'enseignement supérieur. Pour l'instant, la part la plus élevée que représentent les inscriptions des étudiants à temps partiel dans l'enseignement supérieur revient à l'Azerbaïdjan (11 %), suivi par la Géorgie (9 %), l'Ouzbékistan (8 %) et la Russie (7 %). Dans certains pays, il existe toujours une forte proportion d'étudiants inscrits dans des établissements d'enseignement à distance, et cette proportion continue à s'accroître : elle varie entre 31 et 37 % en Azerbaïdjan, au Tadjikistan, en Géorgie et en Ouzbékistan.

Une autre caractéristique importante de l'enseignement supérieur en URSS était la priorité accordée aux sciences de l'ingénieur. Les inscriptions dans les établissements dispensant un enseignement supérieur dans les disciplines afférentes à l'industrie, au bâtiment, aux transports et aux communications représentaient 42 % environ du total pour toute l'Union. En revanche, la part de personnes qui détenaient un diplôme universitaire en technologies nouvelles était plutôt faible.

Bien que le nombre d'étudiants inscrits pour la première fois dans les établissements d'enseignement supérieur des pays de la CEI ait diminué en chiffres absolus, dans un certain nombre de disciplines, du fait de différentes priorités nationales adoptées par ces pays, ce nombre a en fait augmenté pendant la période 1991-1993. Afin de favoriser le développement de l'industrie nationale, du bâtiment et de l'agriculture, les gouvernements d'Asie centrale ont obtenu une augmentation du nombre des étu-

dians admis dans les instituts universitaires correspondants. En revanche, en Russie, parallèlement aux nouvelles tendances d'une augmentation des admissions dans les établissements d'enseignement supérieur en économie, en droit et en agriculture, l'enseignement universitaire « traditionnel » suscite toujours un intérêt, et celui-ci va croissant. Les chiffres d'admission dans les universités russes continuent à augmenter depuis la fin des années 70, ce qui confirme que l'enseignement universitaire continue à garder un prestige qui a toujours été élevé à travers l'histoire.

Il y a cinq ou six ans, les sciences de l'ingénieur, la médecine et l'agriculture étaient les disciplines les plus populaires dans les pays de l'ex-URSS, l'économie et le droit étant considérés alors comme moins prestigieux. Depuis lors, les besoins du marché du travail ont changé, mais le système d'enseignement supérieur créé dans le cadre d'une planification centralisée, et manquant de souplesse, n'a pas eu la capacité financière et gestionnaire suffisante pour y répondre de manière adéquate. Ainsi, le nombre de diplômés de l'enseignement supérieur en sciences de l'ingénieur et en médecine (y compris la culture physique et les sports) a augmenté de 14 à 15 % (contre une moyenne de 11 %) dans la CEI pendant la période 1991-1993, tandis qu'en économie et en droit ce chiffre a diminué de 16 %.

Étant donné que l'offre de diplômés ne correspond pas aux besoins du marché du travail, en 1993, en Russie par exemple, 17,6 % des diplômés n'ont pas reçu d'offre d'emploi de la part des employeurs par le biais des établissements d'enseignement supérieur, contrairement à la pratique établie depuis des décennies. En outre, 25,7 % des diplômés ont décliné leurs offres, préférant trouver par eux-mêmes des emplois mieux payés et plus prestigieux, principalement dans le secteur des affaires. Parmi eux figuraient des détenteurs de diplômes universitaires obtenus dans une gamme étendue de disciplines dont le marché avait besoin : sur le nombre total de diplômés, de 30 à 33 % avaient obtenu leur diplôme dans les disciplines suivantes : économie, sciences humaines, sciences naturelles, radio-électricité et télécommunications, ordinateurs et systèmes de commande automatisés.

Considérant les tendances actuelles de l'enseignement supérieur, il faut s'attendre à de nouvelles réductions dans l'afflux de personnel qualifié dans la R-D. En URSS, la proportion de diplômés qui avaient l'intention de travailler en tant que chercheurs était de 6 % en 1980, mais ce chiffre était tombé à 2 % entre 1986 et 1990. En 1993, 1 012 diplômés seulement débutèrent leur carrière à l'Académie russe des sciences, contre 3 300 en 1989.

Compte tenu des nouveaux enjeux de la transition vers l'économie de marché et face aux difficultés d'ordre économique, financier et social actuelles, les systèmes d'enseignement supérieur de la CEI subissent des changements selon les axes suivants :

- Création d'universités privées entrant en compétition avec les universités publiques. En Russie, on en dénombrait environ 200 en 1993, mais moins de la moitié d'entre elles — 78 — étaient officiellement habilitées en tant qu'établissements dispensant un enseignement répondant aux normes existantes. En 1993, les universités privées accueillait 7,9 % du nombre total d'étudiants entrant dans l'enseignement supérieur en Russie.
- Introduction progressive de deux nouvelles normes d'enseignement universitaire (l'équivalent des diplômes de licence et de maîtrise) et revitalisation des programmes d'enseignement.
- Amélioration de divers services : par exemple, création de cours payants à temps complet et à temps partiel, recyclage de titulaires de diplômes de l'enseignement supérieur destiné à les orienter vers de nouvelles professions, contrats de formation au sein des entreprises.

Enseignement universitaire supérieur

La formation universitaire supérieure du personnel de S et T qualifié est dispensée dans les pays de la CEI à deux niveaux d'enseignement, débouchant sur les diplômes de « candidat » (équivalent du doctorat) et de docteur (niveau supérieur). Cette formation a connu un fléchissement au cours des deux dernières décennies ; pendant la période 1970-1990, le nombre total d'étudiants de l'enseignement universitaire supérieur a diminué de 7,3 % dans l'ex-URSS dans son ensemble. En Russie, par exemple, les princi-

pales diminutions ont été relevées dans les disciplines scientifiques apparentées à la technologie (sciences de l'ingénieur, mathématiques et chimie), en agriculture et en économie, tandis que l'accroissement était notable en médecine et dans les sciences humaines.

Quelques signes d'une augmentation des effectifs de l'enseignement universitaire supérieur se manifestaient dans la plupart des pays de la CEI en 1993. C'est seulement en Azerbaïdjan et au Kirghizistan que le nombre d'étudiants qui entamaient ce cycle a diminué de 42 à 46 %.

L'efficacité des cours universitaires supérieurs est habituellement faible : sur le nombre total d'étudiants inscrits (par pays), le nombre d'étudiants qui ont terminé leur thèse de « candidat » en 1993 ne représentait que de 12 à 20 % (en Russie, le chiffre était de 24 %).

Le médiocre prestige des diplômes scientifiques et les faibles rémunérations ne font rien pour encourager les étudiants de l'enseignement universitaire supérieur à poursuivre leurs études jusqu'au bout. Le nombre d'étudiants abandonnant en cours de route a augmenté de 1,2 à 2,2 fois en 1991-1993 dans les pays de la CEI, à l'exception de la Russie et du Bélarus, où il n'a pas varié. Seule une faible proportion de titulaires de diplômes universitaires supérieurs ont l'intention de s'engager dans une carrière de la recherche à l'issue de leurs études. Une enquête réalisée en 1993 par le Centre de la recherche scientifique et de la statistique auprès des étudiants de l'enseignement universitaire supérieur inscrits dans les principales universités et écoles d'ingénieurs russes montre que 8,8 % seulement d'entre eux espéraient travailler à l'Académie des sciences à la fin de leurs études, tandis que 54,2 % manifestaient un intérêt pour le secteur des affaires.

La préparation au doctorat représente la dernière étape de la formation du personnel de S et T, et un enseignement a été créé à cet effet dans les instituts de recherche de premier plan et dans les principales universités. En Russie, 452 établissements offraient en 1993 un enseignement de cette nature, que suivaient 1 700 étudiants. Environ 34 % d'étudiants inscrits obtiennent leur diplôme avec une thèse de doctorat. Le Comité suprême d'habilitation de la Fédé-

ration de Russie a confirmé que 19 200 diplômes (de « candidat » et de docteur) ont été décernés en 1993, contre 35 100 en 1991.

POLITIQUES SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Dans le cadre de la politique de centralisation qui avait cours en URSS, tous les organes administratifs qui étaient chargés de la mise en œuvre d'une politique scientifique et technologique commune (le Comité d'État de l'URSS pour la S et T, le Présidium de l'Académie des sciences, le Ministère de la défense, et autres départements) avaient leur siège à Moscou. Les républiques, pour leur part, n'avaient généralement pas de compétence quant à l'élaboration et à la mise en œuvre des politiques globales de S et T. Des exceptions étaient faites pour les programmes de S et T qui, à l'échelon de la république et de la région, étaient consacrés à des applications locales ainsi que pour la gestion semi-publique d'infrastructures locales de R-D sous les auspices des académies des sciences des républiques.

C'est pourquoi depuis leur accès à l'indépendance, les pays de la CEI se trouvent devant la nécessité de mettre au point leur politique scientifique et technologique nationale. La plupart des républiques, en proie comme elles le sont à des transformations radicales d'ordre économique et sociétal, ne sont tout simplement pas en mesure d'élaborer la politique scientifique et technologique qui leur convient, ni d'en organiser la mise en œuvre en partant de zéro. A l'issue d'une période d'incertitude dans ce domaine, de 1991 au début de 1993, il est désormais généralement accepté que la science et la technologie ne devraient pas être conservées uniquement comme un héritage de l'URSS, mais qu'elles peuvent aussi constituer un moteur important du développement économique et social.

A partir de la fin de 1991, les nouveaux États indépendants ont commencé à créer des organismes afférents à la politique scientifique et technologique nationale. Ces organismes ont pris diverses formes (Ministère de la politique scientifique et technologique, en Russie ; Comité d'État de

science et de technologie, en Ukraine, en Azerbaïdjan et en Ouzbékistan ; Ministère de la science et des technologies nouvelles au Kazakhstan ; Comité d'État de la science et des technologies nouvelles au Kirghizistan ; Ministère de l'enseignement supérieur et de la science en Arménie ; etc.), mais en dépit des différences quant à la forme, ils sont tous chargés de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques.

Afin d'accroître l'autorité de la prise de décision en matière de S et T et son influence pratique, des organismes de coordination de haut niveau ont été créés dans quelques pays. Parmi ceux-ci, on peut citer le Conseil de la politique scientifique et technologique, qui relève du Président de la Fédération de Russie, et la Commission gouvernementale de la politique scientifique et technologique, que préside le Premier Ministre russe ; la Commission du progrès de la S et T, du développement et de la conversion technologiques, qui relève du cabinet du Kazakhstan ; le Conseil suprême turkmène de la S et T, que préside le chef de l'État, etc. Lorsqu'ils existent, ces organismes sont chargés de la mise au point et de l'évaluation des stratégies nationales en matière de S et T, des mesures prioritaires et de la coordination entre les départements. Sont représentés au sein de ces organismes les organismes publics qui s'occupent de la S et T, les milieux scientifiques (académies, associations, etc.) ainsi que les scientifiques de renom.

Les académies nationales des sciences ont amélioré leur statut juridique, qui est celui de l'institution scientifique bénéficiant de la plus grande autonomie. En Russie et en Ukraine, les académies nationales ont été déclarées organismes non gouvernementaux, mais, dans tous les pays de la CEI, elles sont presque entièrement financées sur fonds publics. Les académies n'ont subi aucun changement interne important ; elles s'efforcent actuellement de maintenir un contrôle administratif sur les activités des instituts de recherche.

Les infrastructures nécessaires, telles que des organismes de délivrance de brevets, des comités d'habilitation chargés d'approuver les diplômes scientifiques, des organismes de normalisation et de métrologie, ont également été créées.

Les principaux objectifs des politiques nationales des pays de la CEI en matière de S et T sont actuellement les suivants :

- Maintien des potentiels nationaux en R-D en tant que base du développement économique et social.
- Concentration des ressources dans les orientations prioritaires de la S et T.
- Mise en place d'un environnement de marché et d'une base juridique encourageant la S et T et l'innovation.
- Aide de l'État à la conversion de la R-D menée aux fins de la défense.
- Mesures propres à favoriser le développement de la recherche fondamentale.
- Intégration au monde de la coopération scientifique et technologique.

En élaborant des politiques nouvelles en matière de S et T, les autorités nationales s'efforcent de renforcer une approche « finalisée » de l'établissement du budget de la R-D, approche qui est considérée comme condition préalable indispensable à la restructuration du système de R-D. Dans les principaux pays de la CEI, les budgets publics de S et T sont en principe conçus sur un modèle commun. La plus grande partie des crédits budgétaires consacrés à la R-D civile (jusqu'à 80 % du total en Russie et en Ukraine) est allouée aux académies nationales et aux organismes qui leur sont rattachés en vue du financement ultérieur des instituts de recherche. Le restant est divisé entre les programmes nationaux prioritaires de S et T (de 14 à 18 %) et les fondations nouvellement créées (de 2 à 6 %).

La proportion entre ces deux principales parties du budget de la R-D civile a son importance sur le plan politique. Alors que la première partie traduit la volonté de continuer à conserver un grand nombre d'établissements de recherche, souvent même sans une quelconque production visible, la seconde constitue un pas dans la direction de la création d'un organisme pour la mise en œuvre de la politique gouvernementale dans des conditions de marché (toutefois, dans ce contexte, la détermination des priorités choisies est une question de la plus grande importance). En conséquence, les crédits budgétaires de base reflètent

le degré auquel la transformation de la politique scientifique et technologique est opérée.

En Russie, une part substantielle des crédits budgétaires consacrés à la R-D civile alloués aux organismes publics va directement à l'Académie des sciences. A la suite d'une augmentation du financement des programmes prioritaires, cette part, qui était de 17 % du total en 1991, est tombée à 13,3 % en 1994. Dans ces conditions, il ne faut guère s'étonner si cette politique se heurte à une certaine résistance de la part de la bureaucratie de la R-D. A l'heure actuelle, si les instituts de l'Académie sont financés principalement sur le budget fédéral ou par le biais de programmes gouvernementaux de S et T — dans l'un et l'autre cas, le ministère de tutelle est le Ministère de la politique scientifique et technologique —, le rôle que joue le Présidium dans l'administration des unités de recherche et la redistribution des crédits budgétaires ne répond pas aux objectifs de nombreux instituts, en particulier des grands.

Par ailleurs, une proportion croissante des crédits destinés à financer la base de R-D des organismes publics est allouée dans le cadre des programmes économiques fédéraux, qui comprennent un élément de R-D. En Russie, au premier plan de ces derniers figurent le programme spatial fédéral et le programme de développement de l'aviation civile, qui, ensemble, représentent 20 % du total des crédits budgétaires affectés à la R-D civile, et les programmes relatifs à l'électronique, aux machines agricoles, à la sécurité écologique et au nouveau matériel médical. Il existe aussi en Ukraine et au Kazakhstan des programmes économiques et industriels nationaux analogues, englobant la R-D.

PRIORITÉS EN MATIÈRE DE S ET T

Ainsi qu'on l'a indiqué plus haut, il existe des programmes spécifiques de S et T représentant des priorités nationales, y compris la recherche fondamentale sur de nouveaux phénomènes ou la R-D menée dans des domaines déterminés en vue d'applications pratiques (41 programmes en Russie, 21 au Bélarus et 26 au Kirghizistan, par exemple). Le financement des programmes prioritaires de S et T est

habituellement réparti sur une base compétitive et est alloué directement aux unités de R-D par les organismes nationaux de S et T sans passer par l'administration des académies ou les organismes qui leur sont rattachés.

Le tableau 7 indique les programmes prioritaires de S et T classés en fonction des principaux objectifs. Les pays de la CEI s'efforcent de trouver de nouvelles solutions scientifiques et technologiques aux problèmes de l'énergie et de l'alimentation, tandis que les politiques à forte intensité de capital relatives à la production et à la consommation d'énergie, ainsi qu'à l'agriculture, ont quasiment épuisé les possibilités quant à l'avenir. Un domaine d'intérêt commun est celui des technologies de l'information et des télécommunications, perçues comme étant un élément indispensable de toute infrastructure de marché. Les pays plus développés sur le plan industriel (Russie, Ukraine, Bélarus et Kazakhstan) ont lancé des programmes spécifiques visant à créer et à appliquer les technologies industrielles nouvelles, tandis que ceux qui sont riches en ressources minérales et énergétiques s'intéressent davantage à des technologies efficaces pour l'extraction minière et la production de nouveaux matériaux. Une attention particulière est accordée aux problèmes de protection de l'environnement, surtout dans le cas des pays qui ont été touchés par la catastrophe de Tchernobyl (Bélarus, Russie et Ukraine), par les conséquences des essais d'armes nucléaires (Kazakhstan), par les problèmes économiques de la mer d'Aral (Kazakhstan) et de la mer Caspienne (Azerbaïdjan, Kazakhstan et Turkménistan). En Russie, une partie importante des programmes prioritaires a un rapport avec la recherche fondamentale en physique des hautes énergies et physique nucléaire, en supraconductivité à haute température, en exploration de l'espace, en biochimie, en substances chimiques, en exploration de l'Arctique et de l'Antarctique, etc.

Les réformes des systèmes de S et T entreprises dans les pays de la CEI ont pris au Bélarus, en Russie et en Ukraine la forme de la création de fondations visant à financer la recherche fondamentale. Ces fondations fonctionnent en tant qu'institutions autogérées offrant, dans une compétition ouverte, des subventions destinées à financer la

TABLEAU 7
OBJECTIFS DES PROGRAMMES PRIORITAIRES DE S ET T DANS LES PAYS DE LA CEI

Objectifs	Arménie	Azerbaïdjan	Bélarus	Kazakhstan	Kirghizistan	Moldavie	Russie	Turkménistan	Ukraine
Santé			✓		✓	✓	✓	✓	✓
Écologie		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Hautes technologies		✓	✓			✓	✓		✓
Nouveaux matériaux		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Énergie	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Agriculture			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Extraction minière	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓
Industrie manufacturière	✓	✓	✓	✓			✓		
Bâtiment			✓	✓		✓	✓	✓	
Informatique et télécommunications			✓	✓		✓	✓	✓	✓
Problèmes sociaux	✓	✓	✓		✓		✓		✓

Source : Établi par l'auteur sur la base des informations fournies par les autorités nationales.

recherche fondamentale menée non seulement par les unités de recherche et les universités, mais aussi par de petites équipes de chercheurs et des scientifiques travaillant à titre individuel, la mise en place des bases en matériel et en équipement des établissements de R-D, l'acquisition de publications scientifiques, l'attribution de bourses, etc. Ces crédits sont importants pour l'aide à la recherche dans des domaines déterminés (telles les mathématiques, la botanique et la zoologie) qui, ne relevant pas de programmes gouvernementaux, ne sont pas financés au titre des priorités du budget de la R-D. La Fondation pour la recherche fondamentale a été créée la première en Russie, suivie, en 1994, par la Fondation pour la recherche en sciences humaines. Le rôle de ces fondations reste toutefois limité, car la part qu'elles représentent ne dépasse pas 3 à 4 % du budget de la R-D civile.

Un autre type de fondation nouvelle est représenté par les fondations qui visent à financer la R-D industrielle et l'innovation. Elles peuvent être budgétaires (par exemple, le Fonds d'État pour l'innovation en Ukraine, et le Fonds pour la promotion des petites entreprises en S et T en Russie) ou

non budgétaires. Afin de garantir le financement de la R-D sectorielle ou intersectorielle et l'innovation, un réseau de fonds non budgétaires a été créé en Russie en 1992 dans le cadre de ministères, d'organismes, d'associations et de sociétés commerciales. Les ressources de ces fonds proviennent des redevances versées par les entreprises (1,5 % des coûts de production). 25 % du total des ressources sont déposés dans le Fonds russe pour le développement technologique, qui est centralisé, aux fins du financement de la R-D, considérée comme particulièrement indispensable aux groupes d'État et groupes industriels.

Des fonds non budgétaires pour la R-D ont été créés au Kazakhstan (la Fondation pour la science) et en Moldavie (le Fonds républicain pour le financement de la R-D, qui relève du Ministère de l'économie). Ces fonds fournissent des crédits à la recherche tant fondamentale qu'appliquée ; ils tirent leurs ressources de sources budgétaires, de ministères et d'entreprises, et de financements en provenance de l'étranger. La participation des ministères et entreprises intéressés aux dépenses engagées au titre de la R-D appliquée est devenue une condition nécessaire du finance-

ment du budget de projets de cette nature au Bélarus. Au Kirghizistan, même certains programmes gouvernementaux de S et T sont financés par des prêts.

LA STRUCTURE INSTITUTIONNELLE DE LA R-D

La structure institutionnelle de la base de la R-D a connu d'importantes mutations depuis le début de la *perestroïka* en 1985. Les établissements de R-D sont dorénavant libres quant au choix de leurs propres objectifs de recherche et à l'utilisation de leurs propres ressources financières. La forme contractuelle d'aide à la R-D a été introduite, et les instituts de recherche et entreprises sont devenus autofinancés de manière efficace.

Dans les conditions du marché, ils ont dû s'adapter aux contraintes budgétaires et à une demande industrielle qui baisse. Afin de sauvegarder les grands instituts de recherche, réels chefs de file dans le domaine de la science connus à l'échelon international pour leurs réalisations en recherche fondamentale et en technologie de pointe, un programme d'aide aux centres fédéraux de recherche a été adopté en 1993 en Russie. A la fin de 1994, 60 établissements s'étaient vu accorder le statut d'institut de recherche reconnu et, selon les prévisions, le chiffre devrait augmenter et être de l'ordre de 70 à 75 avant la fin de 1995. Parmi eux figuraient notamment l'Institut Kurchatov de l'énergie atomique, l'Institut d'optique d'État, le Centre de recherche sur les constructions navales, et d'autres instituts (physique nucléaire, aviation et espace, chimie, biotechnologie, électronique et fabrique d'instruments). Les centres fédéraux de recherche coordonneront les priorités nationales, en particulier les priorités stratégiques à long terme. Parmi les mesures de soutien envisagées à leur égard, on peut citer notamment le financement prioritaire au titre du budget de la R-D et d'usines expérimentales, les tarifs réduits pour les services communautaires et les communications, les dégrèvements fiscaux et l'amortissement accéléré.

Au Kazakhstan, le gouvernement a organisé des centres scientifiques nationaux dans les domaines de la recherche nucléaire (par le biais de l'Institut de physique de l'Acadé-

mie des sciences), de la biotechnologie, du traitement global des minéraux, de la périélectronique et des télécommunications, de l'informatique et de l'écologie, en fonction des besoins des principaux programmes de l'État. Le Centre d'État des technologies nouvelles de l'espace est implanté au complexe de lancement d'engins spatiaux de Baïkonour. En outre, le Ministère de la science et des technologies nouvelles a créé des centres d'analyse scientifique en vue de la conception de programmes nationaux pour le développement de l'industrie des métaux rares, la surveillance écologique, des études relatives à la mer Caspienne, etc. Des centres nationaux de S et T ont été organisés au Kirghizistan en vue de l'intégration de technologies de pointe à des branches déterminées de l'industrie.

Un autre aspect de la transformation des établissements de R-D concerne leur privatisation. En Russie, près de 20 % des instituts de R-D industrielle et des bureaux de conception, dont une centaine de grandes unités de recherche du Ministère de la défense, ont été privatisés. Des centaines d'unités de R-D industrielle sont désormais incorporées dans les groupes, associations et sociétés industriels. Avec les 34 800 petites entreprises et 305 coentreprises ayant des liens avec l'étranger, elles représentent un secteur non gouvernemental de R-D qui est en expansion. Un certain nombre de « technoparcs » ont été également créés dans le cadre des universités.

Une attention particulière est accordée au cadre juridique de la S et T. Dans la plupart des pays de la CEI, sinon dans tous, des lois relatives aux politiques scientifiques et technologiques nationales ont déjà été approuvées ou sont en cours d'examen au Parlement. Ces lois définissent les principes de l'élaboration et de la mise en œuvre de la politique scientifique et technologique, les organes administratifs qui entrent en jeu, et les procédures de financement. Une série de lois comportant une réglementation en matière de propriété intellectuelle a été adoptée, y compris, dans le cas de la Russie, la loi sur les brevets, la loi sur les marques de fabrique, la loi sur la protection juridique des logiciels et des bases de données, la loi sur la protection juridique de la topologie des circuits intégrés (toutes datant de 1992) et la loi sur le droit d'auteur (1993).

Toutefois, il faudrait accorder une plus grande attention à l'environnement législatif de la création d'entreprises en S et T, à la logique du système fiscal, à des incitations, commerciales et autres, pour les établissements et universités se livrant à des activités de R-D.

Les finalités de la politique scientifique et technologique déterminent à leur tour les objectifs d'une révision des statistiques de la R-D (voir encadré). L'action entreprise en Russie pour mettre en œuvre les normes internationales applicables aux statistiques nationales de la R-D et de l'innovation (Gokhberg, 1993) fournit à la prise de décision une idée réaliste des tendances de la S et T, et à la communauté internationale une information de plus en plus transparente.

COOPÉRATION SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE INTERNATIONALE

Avec la désintégration de l'Union soviétique, les nouveaux États indépendants ont été contraints de mettre au point leurs propres stratégies en matière de coopération internationale dans le domaine scientifique et technologique, laquelle fut naguère, elle aussi, organisée centralement. Des liens directs entre les instituts de recherche et les entreprises des anciennes républiques soviétiques étaient les composantes d'une économie commune. Désormais, ils sont devenus un moyen de collaboration dans le domaine scientifique et technologique au sein de la CEI en tant que nouvelle dimension spécifique de la coopération régionale en la matière.

Les statistiques de la S et T dans les pays de la CEI

Dans l'ex-URSS, les statistiques de la S et T étaient établies sous l'influence du système centralisé de planification et de financement de la S et T, et leur rôle officiel était limité à celui d'une information fournie aux organismes publics à l'appui de leur action. Ces statistiques étaient fondées sur des indicateurs bruts et se prêtaient mal à l'étude analytique. Les données statistiques soviétiques en matière de S et T étaient, en règle générale, incompatibles avec les normes internationales du fait des différences quant à l'enquête et quant aux méthodes de comptabilité, de collecte et de traitement des données.

En tant que produit d'une centralisation rigide, l'Agence centrale de la statistique de l'URSS était seule chargée de la méthodologie des statistiques de la R-D, de l'agrégation des données et des publications. C'est pourquoi toute la compétence correspondante était concentrée en Russie, tandis que les autres républiques n'avaient ni expérience ni tradition en la matière.

En décembre 1993, le Ministère russe de la politique scientifique et technologique (MPST) et le Comité d'État russe des statistiques ont publié une déclaration commune relative à l'amélioration des statistiques de la R-D et de l'innovation. Aux termes de la déclaration, le Centre de la recherche

scientifique et de la statistique (CRSS), créé au début de 1991 et relevant à la fois du MPST et de l'Académie russe des sciences, serait chargé directement de la méthodologie des statistiques de la S et T, de l'application des normes internationales en matière de statistiques, de l'analyse des données, et des logiciels de traitement des données. Le CRSS était par ailleurs autorisé à représenter le MPST dans les relations avec les organisations internationales compétentes dans le domaine des statistiques de la S et T.

Conformément aux objectifs de la politique scientifique et technologique, le CRSS a conçu de nouvelles enquêtes nationales en matière de R-D et d'innovation répondant aux normes de l'OCDE et à l'expérience de l'Union européenne. Les domaines prioritaires à développer comprendraient en outre le financement de la R-D au titre du budget de l'État, les ressources humaines en S et T, la balance des paiements technologiques, les brevets et les statistiques régionales. Le Centre a également conçu un programme ambitieux de publications statistiques. Les initiatives prises par le CRSS sur le plan méthodologique ont suscité l'intérêt du Comité statistique de la CEI, ainsi que de certains pays, à titre individuel, et leurs résultats sont en cours d'examen aux fins de diffusion dans d'autres pays de l'ex-URSS.

Un accord relatif à la coopération scientifique et technologique entre les pays membres de la CEI a été signé par les chefs de gouvernement en mars 1992 à Moscou. Cette collaboration était motivée par le désir de ces pays de sauvegarder à long terme les bases nationales de la R-D et de les améliorer au moyen d'initiatives tant multilatérales que bilatérales. Cela est particulièrement important dans le cas des projets de recherche de grande envergure, par exemple, la recherche fondamentale, les installations scientifiques et les usines expérimentales dont le coût global de l'entretien serait trop onéreux pour un seul pays, à titre individuel, la formation des scientifiques et des ingénieurs, l'information scientifique et technologique et la protection de la propriété intellectuelle. Il était convenu que des domaines seraient déterminés pour des programmes interétatiques de recherche fondamentale, des projets relatifs à l'élaboration et à la mise en œuvre de technologies nouvelles, des installations scientifiques et technologiques destinées à une utilisation commune, et la reconnaissance mutuelle des diplômes scientifiques. Un Conseil interétatique de S et T a été créé pour coordonner la coopération en la matière entre les pays membres ; il a son siège à Kiev.

L'Association internationale des académies des sciences a été fondée en septembre 1993 à Kiev, avec la participation des pays de la CEI, auxquels se sont joints la République tchèque, la Slovaquie et le Viet Nam. L'association a été déclarée ouverte à d'autres États en vue d'une collaboration en recherche fondamentale, d'une aide à des projets de recherche prospective et d'une coordination des politiques mises en œuvre par les académies.

Bien que la coopération scientifique et technologique entre les pays de la CEI ait fait l'objet d'accords intergouvernementaux tant multilatéraux que bilatéraux, elle n'est pas encore pleinement mise en œuvre. Des relations politiques et économiques instables entre les pays de la CEI, les problèmes financiers internes auxquels doivent faire face les unités de recherche et les entreprises industrielles, voire les difficultés de transfert de fonds, tout cela entrave le rétablissement du contact au niveau des professionnels de la R-D.

Du fait des différences quant au potentiel de R-D et aux possibilités de coopération en S et T, les pays de la CEI participent à des degrés divers aux efforts de collaboration internationale multilatérale.

La Russie poursuit, sur la base la plus étendue, la coopération internationale dans le domaine scientifique et technologique par le biais de sa participation à des activités en commun entreprises par l'UNESCO, l'ONUDI, le PNUE, l'OMS, le Conseil international des unions scientifiques (CIUS) et beaucoup d'autres organisations et programmes de S et T internationaux et régionaux. La coopération avec l'Union européenne s'accroît ; parmi les questions d'intérêt commun figurent notamment la santé publique et la médecine, les matériaux nouveaux, les télécommunications, les systèmes d'information, les nouvelles sources d'énergie, la biotechnologie, l'agriculture et la production alimentaire. En 1993, le Gouvernement de la Fédération de Russie a approuvé une décision tendant à participer au programme EURÉKA. Des scientifiques russes participent aussi à de grands programmes multilatéraux sur la physique des hautes énergies, l'énergie et la sécurité nucléaire (le Laboratoire européen pour la physique des particules, CERN, le Réacteur expérimental thermonucléaire international, ITER, l'Agence internationale de l'énergie atomique, AIEA), et l'exploration de l'espace. Depuis 1992, une coopération scientifique a été organisée entre la Russie et l'OTAN.

Parmi les récentes initiatives internationales visant à soutenir la S et T dans la CEI, on peut citer le Programme d'assistance technique de l'Union européenne à la CEI (TACIS) (à partir de 1991) et l'Association internationale pour la promotion de la coopération avec les scientifiques des États indépendants de l'ex-Union soviétique (INTAS, créée à Bruxelles en 1993). Au cours des quatre premières années de la mise en œuvre du programme TACIS, un montant de 1,9 milliard d'ECU (2,5 milliards de dollars des États-Unis) a été affecté au lancement de plus de 2 000 projets, combinant le savoir-faire occidental avec l'expérience locale (Commission européenne, 1994, p. 308-309). INTAS joue un rôle important en soutenant le jumelage d'équipes de recherche et de scientifiques de l'Ouest et des

États indépendants de l'ex-URSS dans tous les domaines des sciences naturelles, des sciences de l'ingénieur et des sciences humaines et sociales. Le financement total pour 1994 s'élève à 21 millions d'ECU (27,5 millions de dollars) (*op. cit.*, p. 308).

Le Centre international de science et de technologie a été ouvert à Moscou en 1994, à la suite d'un accord signé en novembre 1992 par les représentants de l'Union européenne, de la Russie, des États-Unis et du Japon. Par la suite, la Finlande, la Suède et la Géorgie ont adhéré à l'accord, tandis que le Canada, le Bélarus, l'Arménie et le Kazakhstan ont exprimé leur intention de le faire. L'activité du Centre vise principalement à faciliter la conversion de la recherche militaire et nucléaire à des fins pacifiques, et à soutenir les projets de recherche fondamentale et appliquée dans les domaines de la sécurité nucléaire, de la protection de l'environnement, de la chimie et de la technologie du laser. Selon les prévisions, de 4 000 à 5 000 scientifiques pourraient y être associés, et l'engagement quant au financement est de l'ordre de 80 à 100 millions de dollars (*op. cit.*, p. 311).

L'URSS avait, au cours d'une période de plus de vingt-cinq ans, poursuivi une coopération bilatérale en matière de S et T avec les pays étrangers. En Russie, le cadre juridique de cette coopération prend la forme d'une centaine d'accords intergouvernementaux signés avec la plupart des pays industrialisés et des pays en développement, de 52 accords intergouvernementaux et de plus de 400 accords interorganismes signés avec des pays d'Europe orientale et de l'Asie du Sud-Est qui appartinrent naguère au Conseil d'assistance économique mutuelle (CAEM). Pendant la période 1992-1994, le Gouvernement de la Fédération de Russie a révisé les accords conclus par l'ex-URSS, et de nouveaux accords ont été signés avec la Chine, la République de Corée, l'Inde, la République d'Afrique du Sud, ainsi qu'un protocole avec Taiwan.

Les Académies russe et ukrainienne des sciences ont conclu un certain nombre d'accords avec les académies nationales et les centres de recherche nationaux, notamment ceux des États-Unis, de l'Allemagne, de la France, de l'Italie, du Royaume-Uni et d'Israël.

Au Kazakhstan, il est prévu de lancer des études communes sur la surveillance écologique depuis l'espace en collaboration avec la NASA et le Centre national d'études spatiales (France). Autres domaines importants de la coopération bilatérale : extraction minière, sources renouvelables d'énergie, communications par satellite, produits pharmaceutiques et formation aux technologies de pointe.

Les pays de la CEI développent aussi leur coopération bilatérale en matière de S et T, à l'échelon régional, avec les pays voisins ; tel est le cas de la Moldavie avec la Roumanie, et de l'Azerbaïdjan et des pays de l'Asie moyenne avec la Turquie, l'Iran et l'Afghanistan.

Une coopération efficace est réalisée au moyen de la création de centres internationaux de recherche, tels que le Centre international de recherche écologique du Baïkal, l'Institut Euler international de mathématique de Saint-Petersbourg, l'Institut international de physique, à Moscou, ainsi que d'universités mixtes (par exemple, l'Université russo-américaine et l'Université franco-russe d'informatique et de mathématiques appliquées).

Le contact direct entre homologues — instituts, sociétés et scientifiques travaillant à titre individuel — est aussi un élément essentiel de la coopération scientifique et technologique internationale, et cet élément a une influence croissante au fur et à mesure que la situation politique et économique se stabilise et que la base législative s'élargit. A l'heure actuelle, les instituts de recherche et entreprises russes mettent en œuvre plus de 200 projets avec des partenaires étrangers, et l'échange de chercheurs augmente aussi.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie les diverses autorités et académies nationales de la CEI qui ont fourni les précieuses informations utilisées dans l'élaboration du présent chapitre.

Leonid Gokhberg est directeur du Centre de la recherche scientifique et de la statistique, organisme dont le siège est à Moscou et qui est placé sous la double tutelle du Ministère de la politique scientifique et technologique et de l'Académie russe des sciences. Il est titulaire de la maîtrise et du doctorat en économie, délivrés par l'Université des transports, à Moscou.

M. Gokhberg a prêté son concours en qualité de consultant sur les indicateurs de la science et de la technologie à l'UNESCO, à EUROSTAT et à l'OCDE, et a participé à de nombreuses conférences et de multiples projets internationaux. Il est l'auteur de plus de 90 publications, traitant principalement de la science et de la technologie en Russie.

BIBLIOGRAPHIE

- Centre de la recherche scientifique et de la statistique. 1993a. *Développement de la science en Russie*, Moscou, CRSS.
- . 1993b. *Les indicateurs de la science et de la technologie dans la CEI. Recueil de données*, Moscou, CRSS.
- . 1993c. *La science en URSS : analyse et statistiques*, Moscou, CRSS.
- . 1995. *La science et la technologie en URSS : 1994. Recueil de données*, Moscou, CRSS.
- Comité statistique de la CEI. 1994. *Les pays membres de la CEI en 1993. Recueil annuel de données statistiques*, Moscou.
- . 1995. *Bulletin statistique*, 3, Moscou.
- Comité statistique de la Fédération de Russie. 1995. *Information Statistical Bulletin*, 1, p. 3-4, Moscou.
- Commission européenne. 1994. *Rapport européen sur les indicateurs des sciences et des technologies*, Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes.
- Freeman, C. 1994. Postscript, *Economic Systems*, vol. 18, 2, p. 215-219.
- Gokhberg, L. 1991. *Le potentiel scientifique de l'URSS*, Moscou, VINITI.
- . 1993. *Les statistiques de la science et de la technologie en Russie : état actuel et perspectives*, Conférence sur les indicateurs de la science et de la technologie dans les pays d'Europe centrale et orientale, Paris, OCDE (CCET/DSTI/EAS (93) 161).
- . 1994. Basic research in Russia. Human resources and finding, *Economic Systems*, vol. 18, 2, p. 159-178.
- Gokhberg, L. et Mindeli, L. 1993. Soviet R&D resources : basic characteristics, dans *Research and development management in the transition to a market economy*, Laxenburg, IIASA.
- National Science Board. 1991. *Science and engineering indicators, 1991*, Washington, D.C., NSB.
- . 1993. *Science and engineering indicators, 1993*, Washington, D.C., NSB.
- Nekipelova, E., Gokhberg, L. et Mindeli, L. 1994. *Problèmes relatifs à l'émigration de scientifiques*, Moscou, CRSS.
- OCDE. 1994a. *Principaux indicateurs de la science et de la technologie, 1993/2*, Paris, OCDE.
- . 1994b. *Politiques de la science, de la technologie et de l'innovation : Fédération de Russie*, vol. II. Rapport de base, Paris, OCDE.

Les États arabes

SUBHI QASEM

Les États arabes constituent un groupe de pays très divers, leur taille, leur état quant à la science et à la technologie (S et T), et leur niveau de développement social et économique variant considérablement. Certains — tels la Somalie, le Soudan et la Mauritanie — sont classés parmi les plus pauvres du monde, avec un PNB par habitant qui était de l'ordre de 400 à 600 dollars des États-Unis en 1992 ; d'autres — tels les États du Golfe, exportateurs de pétrole — figurent parmi les pays riches, avec un PNB par habitant oscillant entre 17 000 et 20 000 dollars. Bien que leur PNB global ait augmenté ces dernières années, les États arabes se sont appauvris avec le temps. Le PNB moyen par habitant pour l'ensemble des États en 1992, par exemple, était de 2 000 dollars alors qu'il avait presque atteint 2 600 en 1980.

Le développement global de la science et de la technologie dans les États arabes n'a pas été, dans l'ensemble, satisfaisant au cours des dernières années. L'évolution de l'enseignement supérieur, malgré quelques faiblesses, a été beaucoup plus positive que celle des activités de recherche et développement (R-D). La situation générale, qu'elle soit positive ou négative, est de toute manière caractérisée par de fortes disparités entre les pays de la région. On ne saurait parler des États arabes sous un angle quelconque sans prendre en compte les problèmes politiques, économiques et de sécurité qu'ont connus nombre d'entre eux. La Somalie, par exemple, a été dévastée par une décennie de guerre civile, tandis que le Liban, longtemps connu pour plusieurs points forts, en particulier dans l'enseignement supérieur, se relève d'une autre guerre civile qui a duré plus de dix ans. D'autres pays arabes sont confrontés à un large éventail de difficultés, du boycottage international, dans le cas de l'Iraq et de la Jamahiriya arabe libyenne, aux troubles civils, dans celui de l'Algérie, du Soudan et de l'Égypte. L'effet dévastateur de la guerre du Golfe sur certains États, auquel s'ajoute la baisse des cours du pétrole enregistrée sur le marché mondial depuis une décennie, a laissé sa marque sur la plupart des États arabes, sinon sur tous. Pendant le même temps, le processus de paix israélo-arabe, amorcé en 1992, va peut-être se substituer à la guerre qui a connu, tour à tour, au cours des cinquante dernières

années, des phases d'accalmie et d'embrasement. Bien que l'impact de la paix tant attendue puisse être profond, peu de développements positifs tangibles ont été constatés jusqu'à présent.

LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE DANS L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

La capacité institutionnelle de l'enseignement supérieur des États arabes s'est rapidement développée au cours des quatorze dernières années. Sur les 132 universités qui fonctionnaient en 1993, à peu près la moitié a en effet été créée entre 1980 et 1993. En 1992, environ 2,4 millions d'étudiants arabes étaient inscrits dans les établissements d'enseignement supérieur ; sur ce total, 4,6 % seulement l'étaient dans des établissements situés hors des États arabes. Ceux qui poursuivaient leurs études dans la région étaient inscrits dans 132 universités, 136 collèges ou instituts de niveau universitaire — indépendants des universités — et 437 instituts techniques délivrant un diplôme à la fin de deux ou trois années d'étude. La répartition des effectifs par niveau d'étude variait considérablement d'un État arabe à l'autre, mais s'établissait en moyenne comme suit : diplôme (niveau brevet technique) : 15,7 % ; licence : 78,6 % ; maîtrise : 4,3 % ; doctorat : 1,4 % seulement. Le pourcentage d'étudiants inscrits en S et T aux différents niveaux variait également d'un pays à l'autre, mais s'établissait en moyenne comme suit : diplôme : 45 % ; licence : 34 % ; maîtrise : 49 % ; doctorat : 67 %. Ces pourcentages n'étaient pas sensiblement différents de ceux enregistrés en 1984-1985, sauf pour le diplôme et la maîtrise (tableau 1).

Tendances de l'enseignement en S et T

Le taux de croissance des inscriptions en S et T au niveau de la licence a été en moyenne de 4 % par an au cours de la période 1980-1992, contre 9 % pour les sciences sociales et humaines et 7 % pour le total. La répartition des étudiants en S et T par discipline a évolué au cours de la même période (figure 1). Bien que les effectifs aient augmenté en chiffres absolus dans toutes les disciplines,

TABLEAU 1
NOMBRE D'ÉTUDIANTS INSCRITS À CHACUN
DES QUATRE NIVEAUX DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
DANS LES ÉTATS ARABES POUR LES ANNÉES
UNIVERSITAIRES 1984-1985 ET 1991-1992
 (en milliers d'étudiants)
ET POURCENTAGE DES ÉTUDIANTS INSCRITS EN S ET T

Niveau	1984-1985		1991-1992	
	Nombre	% S et T	Nombre	% S et T
Diplôme	282	37	372	45
Licence	1 484	36	1 861	34
Maîtrise	55	57	103	49
Doctorat	23	64	32	67
Total	1 844	-	2 368	-

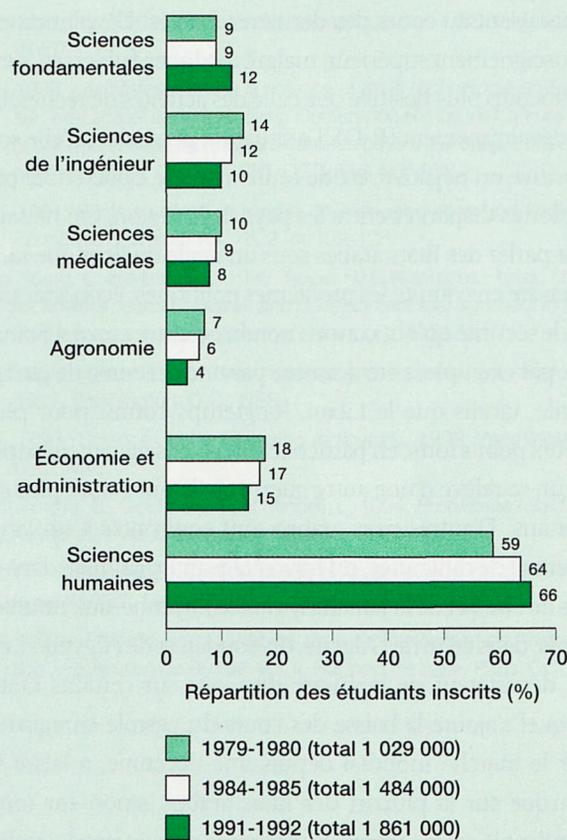
le pourcentage des étudiants inscrits en sciences de l'ingénieur, par exemple, qui était de 14 % en 1979-1980 est descendu à 10 % en 1991-1992. En revanche, le pourcentage des étudiants inscrits en sciences fondamentales est passé de 9 % en 1979-1980 à 12 % en 1991-1992.

La capacité des établissements d'enseignement supérieur arabes ne s'est pas développée aux niveaux de la maîtrise et du doctorat, comme cela a été le cas au niveau de la licence. Ces établissements ont pu accueillir près de 95 % des étudiants inscrits au niveau de la licence, le pourcentage d'étudiants poursuivant leurs études à ce niveau hors de la région arabe n'étant que de 5 %. En revanche, seuls 55 % et 35 % respectivement des étudiants inscrits en maîtrise et en doctorat l'étaient dans un établissement de leur pays d'origine. Le taux de croissance annuelle enregistré au niveau de la maîtrise et du doctorat a été en moyenne de 12 % entre 1980 et 1992, contre 7 % pour la licence, toutes disciplines confondues. Cependant, le taux de croissance en S et T au niveau de la maîtrise et du doctorat a été de 10 %, contre 4 % au niveau de la licence.

Le pourcentage des étudiants inscrits au niveau de la maîtrise et du doctorat par rapport au nombre total des étudiants inscrits à l'université est resté parmi les plus faibles du monde, bien qu'étant passé de 4,8 % en 1980 à 6,5 % en 1992.

La part des étudiants en S et T inscrits aux niveaux de la maîtrise et du doctorat a diminué au fil des ans, passant de 60 % en 1980 à 51 % en 1992. La répartition des étudiants inscrits par discipline en S et T n'a pas changé sensiblement au cours des quatorze dernières années, les

FIGURE 1
RÉPARTITION PAR DISCIPLINE DES ÉTUDIANTS
INSCRITS EN LICENCE DANS LES ÉTATS ARABES
ET ÉVOLUTION AU COURS DE LA PÉRIODE 1980-1992



Source : Qasem, 1990, 1995a.

sciences médicales ayant maintenu leur prépondérance tout au long de la période, suivies par les sciences fondamentales (figure 2).

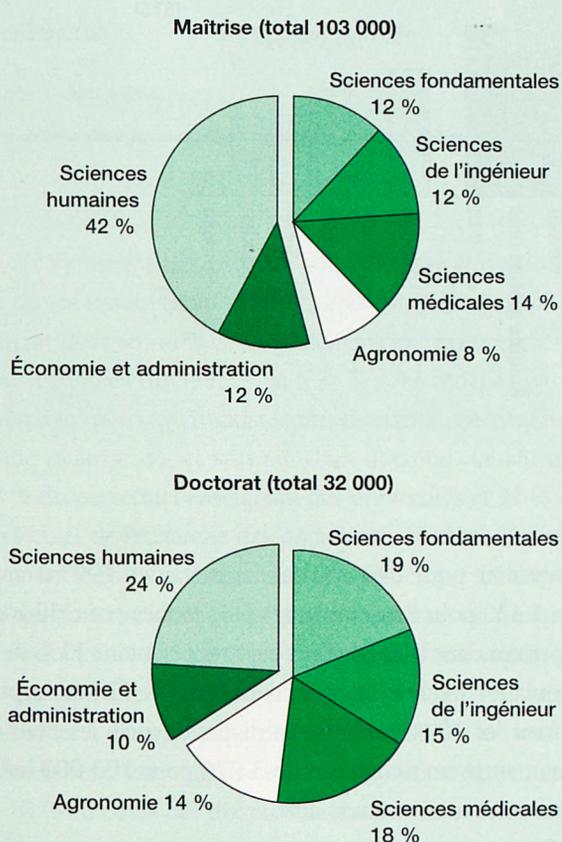
Le pourcentage des étudiantes dans l'enseignement supérieur s'est amélioré au fil des années ; ce pourcentage pour la licence, qui était de 29 % en 1979-1980, est passé à 35 % en 1991-1992. Les étudiantes représentaient la majorité des effectifs inscrits en sciences humaines et sociales, avec une moyenne de 69 % pour l'ensemble des États arabes. En S et T, les sciences fon-

damentales (12 %) jouissaient de la plus grande popularité parmi les étudiantes, suivies par les sciences médicales (9 %), les sciences de l'ingénieur (8 %) et l'agronomie (3 %).

Le ratio moyen d'étudiants inscrits au niveau de la licence, toutes disciplines confondues, était de 815 pour 100 000 habitants en 1992 pour l'ensemble des États arabes ; les niveaux nationaux accusent de fortes disparités, allant de 96 pour 100 000 habitants en Somalie à 2 198 pour 100 000 au Liban (figure 3).

Le ratio des étudiants inscrits dans les disciplines de S et T, quant à lui, différait de celui des étudiants inscrits dans l'ensemble des disciplines au niveau de la licence. La moyenne globale était de 275, mais variait considérablement d'un État à l'autre (tableau 2).

FIGURE 2
RÉPARTITION PAR DISCIPLINE DES ÉTUDIANTS INSCRITS AU NIVEAU DE LA MAÎTRISE ET DU DOCTORAT DANS LES ÉTATS ARABES EN 1992



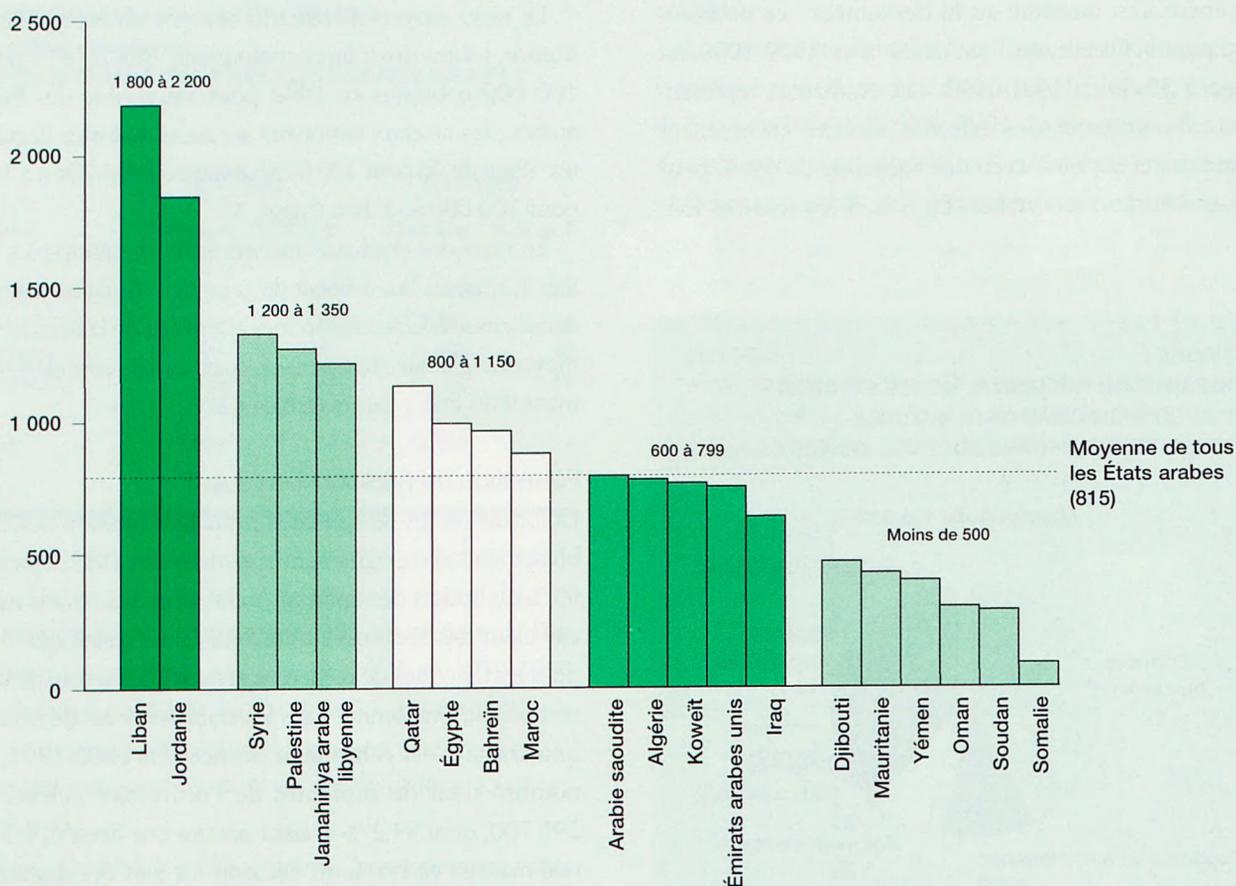
Source : Qasem, 1995a.

Formation du personnel en S et T

La formation est demeurée la principale mission des établissements d'enseignement supérieur. En 1992, environ 95 % du budget des universités étaient consacrés à la mise en valeur des ressources humaines ; il ne restait que 5 % pour les fonctions de recherche et autres. Le niveau de formation qui prédomine dans les établissements de niveau universitaire est celui de la licence. En 1990-1991, le nombre total de diplômés de l'université s'élevait à 291 700, dont 94,2 % avaient obtenu une licence, 4,3 % une maîtrise et 1,5 % un doctorat. La part des diplômés en S et T représentait 35 % du total, dont 12 % en sciences naturelles, 10 % en sciences de l'ingénieur, 8 % en sciences médicales, et 5 % en agronomie et en sciences vétérinaires.

Les caractéristiques de la formation en S et T pour la période 1980-1993 ne diffèrent pas beaucoup de celles de 1990-1991. Les titulaires d'une licence représentaient 95,2 % du total des diplômés, les 4,8 % restants étant répartis entre la maîtrise (3,6 %) et le doctorat (1,2 %). Le nombre total de titulaires d'une licence pour la période de quatorze ans allant de 1980 à 1993 était de l'ordre de 3,2 millions, contre 121 000 titulaires d'une maîtrise et 39 000 titulaires d'un doctorat. La part des titulaires d'une maîtrise ou d'un doctorat ayant obtenu leur diplôme universitaire hors des pays arabes pendant cette période de

FIGURE 3
ÉTATS ARABES CLASSÉS EN FONCTION DU NOMBRE D'ÉTUDIANTS INSCRITS AU NIVEAU DE LA LICENCE TOUS DOMAINES
CONFONDUS, EN 1992 (pour 100 000 habitants)



Source : Qasem, 1995a.

quatorze ans était beaucoup plus importante que celle des titulaires d'une licence : 21 % pour la maîtrise, 52 % pour le doctorat, et 5 % seulement pour la licence. La répartition des titulaires d'une maîtrise ou d'un doctorat par discipline était sensiblement différente de celle des titulaires d'une licence (figure 4).

Ces moyennes cachent de fortes disparités entre les États arabes quant au pourcentage que représentent les divers niveaux, au pourcentage que représente la S et T et au ratio diplômés/habitants. Le nombre moyen de diplômés de

l'université pour 100 000 habitants était en 1993 d'environ 1 420 pour l'ensemble des pays arabes ; ce chiffre est supérieur dans le cas de huit pays représentant 30 % de la population totale et inférieur dans le cas de 13 États représentant les 70 % restants. La disparité entre les États se situait entre un maximum de 3 070 pour 100 000 habitants et un minimum de 300.

En conclusion, l'on peut dire que si le système d'enseignement supérieur des pays arabes a obtenu de bons résultats dans la formation au niveau de la licence, il en

TABLEAU 2
NOMBRE D'ÉTUDIANTS PAR PAYS INSCRITS EN 1992 AU NIVEAU DE LA LICENCE DANS LES DISCIPLINES DE S ET T (pour 100 000 habitants)

Étudiants en S et T	Pays
865	Jordanie
530-630	Liban, Rép. arabe syrienne, Algérie
380-480	Palestine, Jamahiriya arabe libyenne, Bahreïn, Maroc
275	Moyenne de tous les États arabes
230-320	Qatar, Koweït, Tunisie, Égypte, Iraq, Arabie saoudite
100-200	Émirats arabes unis, Mauritanie, Oman, Djibouti
Moins de 100	Yémen, Soudan, Somalie

Source : Qasem, 1995a.

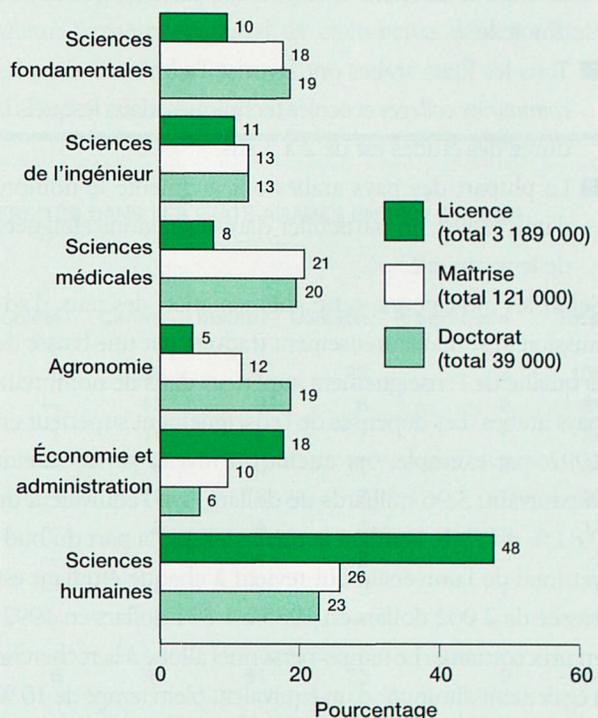
va différemment aux niveaux de la maîtrise et du doctorat où les besoins sont pourtant très importants. Dans la plupart des États arabes, les titulaires d'une licence, même dans certaines disciplines de S et T, sont touchés par le chômage, alors qu'il existe une demande de titulaires d'une maîtrise ou, et surtout, d'un doctorat. Le fait que 37 % du personnel enseignant des universités et 51 % du personnel de recherche des organismes menant des activités de R-D à l'extérieur des universités ne détiennent qu'une maîtrise montre le besoin potentiel de titulaires d'un doctorat. On peut en déduire qu'il est urgent de tendre vers une formation plus équilibrée des ressources humaines : dans le cadre de cette formation, le nombre de titulaires d'une maîtrise ou d'un doctorat augmenterait de 10 % au cours des dix prochaines années et, à un stade ultérieur, atteindrait les ratios qui sont enregistrés dans la plupart des pays développés. En 1990-1991, ce ratio était de 1 titulaire d'un doctorat ou d'une maîtrise pour 4 titu-

laire d'une licence contre un ratio de 1 pour 19 dans le cas des États arabes. A cet effet, les États arabes doivent investir des fonds importants dans le renforcement des enseignements conduisant à des diplômes universitaires supérieurs.

Perspectives de l'enseignement supérieur arabe

La plupart des États arabes ont adopté à l'égard de l'enseignement supérieur une politique de la porte ouverte en matière d'admission. Ils l'ont fait à un moment où le nombre de diplômés de l'enseignement secondaire et de jeunes en âge d'aller à l'université augmentait à un rythme sans précédent. Ce groupe d'âge qui représentait en moyenne près de 10 % de la population dans les États

FIGURE 4
RÉPARTITION DES DIPLÔMÉS PAR DISCIPLINE DANS LES ÉTATS ARABES, 1980-1993 (%)



Source : Qasem, 1995a.

arabes dans les années 80 devrait rester élevé — aux alentours de 9 % — dans les années 90.

Les États arabes, à l'exception de l'Égypte, ont fait face à la demande croissante dans le domaine de l'enseignement supérieur en augmentant les taux d'admission. Le nombre d'étudiants admis dans les universités publiques au Maroc, par exemple, a doublé au cours de la période de quatre ans allant de 1989-1990 à 1993-1994. Au Soudan, ce nombre a augmenté de cinq fois en quatre ans à peine, en passant de 5 100 en 1989-1990 à 25 100 en 1993-1994. En Jordanie, ce nombre a augmenté de 25 % depuis 1988-1989.

Face à cette demande croissante dans l'enseignement supérieur, la réaction globale peut être résumée comme suit :

- De nombreux pays ont encouragé la création d'universités et de collèges universitaires financés par le secteur privé. Le nombre de ces établissements avait atteint 122 en 1994.
- Plusieurs pays ont créé des systèmes d'« université ouverte » (*open university*) pour offrir à un aussi grand nombre d'étudiants que possible un enseignement à domicile.
- Tous les États arabes ont favorisé l'admission dans les *community colleges* et écoles techniques, dans lesquels la durée des études est de 2 à 3 ans.
- La plupart des pays arabes ont augmenté le nombre d'universités, en particulier dans les régions éloignées de leur capitale.

Selon les indicateurs, cette augmentation des taux d'admission s'est malheureusement traduite par une baisse de la qualité de l'enseignement supérieur dans de nombreux pays arabes. Les dépenses de l'enseignement supérieur en 1992, par exemple, ont atteint un niveau jamais atteint auparavant, 3,96 milliards de dollars, soit l'équivalent de 0,81 % du PNB. Pendant le même temps, la part du budget total de l'université qui revient à chaque étudiant est passée de 2 062 dollars en 1985 à 1 891 dollars en 1992, en prix courants. Le temps-personnel alloué à la recherche a également diminué : d'un équivalent plein temps de 10 % du total du personnel en 1984-1985, il est tombé à 6 % en 1992.

Selon les prévisions faites pour les quelques années à venir, les systèmes d'enseignement supérieur des États arabes évolueront de la manière indiquée ci-après :

- Le pourcentage des étudiants inscrits dans les disciplines de S et T continuera à diminuer, peut-être à un rythme supérieur au rythme actuel.
- De plus en plus de ressources — à la fois du temps-personnel et des crédits — seront vraisemblablement allouées aux enseignements menant à la licence, ce qui risque de ne pas améliorer de façon sensible le faible rapport actuel du nombre d'étudiants de maîtrise et de doctorat par rapport au nombre total d'étudiants inscrits.
- Les activités de recherche menées dans les universités, fonction particulièrement importante, continueront à pâtir d'un faible niveau de financement.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Organisation

Dans les États arabes, la recherche scientifique est menée dans les universités, ainsi que dans des organismes de R-D à l'extérieur des universités. Chaque département d'un collège universitaire de S et T — le nombre de ces établissements s'élevait à 557 en 1993 — est une unité de recherche potentielle. Cependant, le temps consacré par le personnel enseignant des universités à la recherche a, dans l'ensemble, diminué au cours des dix dernières années du fait de l'accroissement de leur charge d'enseignement. Dans les départements qui offrent un enseignement menant à la maîtrise et au doctorat, la recherche a également pâti du fait que les taux d'admission sont limités — à l'exception des universités égyptiennes. Le nombre total de départements de sciences fondamentales, de sciences de l'ingénieur et d'agronomie s'élevait à 1 417 ; sur ce chiffre, le pourcentage de départements offrant un enseignement préparant au doctorat était de 30 % contre 54 % pour la maîtrise. En 1990-1991, le nombre total de diplômés de l'université, toutes disciplines de S et T confondues, était de 4 100 pour la maîtrise et de 700 pour le doctorat. Même si chaque gradué devait rédiger une thèse, le nombre de publications de recherche serait encore très modeste pour

un groupe d'États dont la population totale était alors de 224 millions d'habitants. Le nombre de chercheurs à temps complet était également faible — 4 700 pour l'ensemble des domaines de recherche, soit 6 % seulement du total du personnel des universités.

De nombreuses universités ont créé des centres de recherche en S et T pour mieux organiser, financer et suivre les activités de recherche menées dans les domaines prioritaires. Il existe 42 centres répartis comme suit : agronomie et domaines connexes : 30 % ; santé : 26 % ; sciences de l'ingénieur : 14 % ; autres disciplines, y compris le pétrole, les sciences fondamentales, l'environnement et la biotechnologie : 30 %.

Les activités de R-D menées à l'extérieur des universités arabes, quant à elles, sont organisées sous diverses formes sur le plan institutionnel. Sur 244 entités de R-D, on compte 5 sociétés, 94 centres, 61 instituts, 75 divisions et 9 programmes. Le terme « société » n'est utilisé que dans peu de pays. En revanche, le centre est la forme la plus courante. Les centres peuvent être orientés vers des activités de R-D unidisciplinaires ou multidisciplinaires. Les divisions sont habituellement des centres ou instituts,

ou simplement des unités de recherche fonctionnant au sein d'un ministère. En général, de toutes les entités de R-D, à l'exception des programmes, ce sont celles qui ont le plus faible degré d'autonomie.

Répartition de la R-D par domaine de recherche

Les organismes de R-D en alimentation et agriculture sont les plus développés dans les États arabes. En 1993, 105 au total étaient opérationnels dans les domaines suivants : systèmes de production agricole, eau et irrigation, sciences marines et pêche, foresterie, technologies alimentaires, études relatives au désert et environnement. Les autres organismes de R-D peuvent être répartis en sept principaux domaines de recherche (tableau 3).

En 1992, le nombre total de chercheurs dans les États arabes s'élevait à 14 500, dont 53 % titulaires d'un doctorat et 47 % d'une maîtrise. L'effectif du personnel d'appui, du niveau de la licence, et du personnel technique et administratif était de 6 800 et 28 500 respectivement. Comme on peut le constater, l'offre de personnel d'appui est plus forte, le rapport étant de 2,4 pour chaque chercheur. Le nombre global de chercheurs dans les États

TABLEAU 3
LES ORGANISMES DE R-D FONCTIONNANT À L'EXTÉRIEUR DES UNIVERSITÉS DANS LES ÉTATS ARABES EN 1992 ET LEUR RÉPARTITION PAR DOMAINE DE RECHERCHE

Domaine de recherche	Société	Centre	Institut	Division	Programme	Total
Agriculture, pêche, foresterie, eau et technologies alimentaires	3	36	31	33	2	105
Santé, nutrition et biotechnologie	—	12	9	8	2	31
Énergie	1	14	5	7	1	28
Industrie	—	5	6	11	2	24
Géologie, télédétection, météorologie et sciences fondamentales	1	10	1	7	1	20
Sciences de l'ingénieur	—	3	4	5	—	12
Pétrole et pétrochimie	—	3	4	2	—	9
Planification et coordination de R-D	—	4	1	2	1	8
Développement de l'éducation	—	7	—	—	—	7
Total	5	94	61	75	9	244

Source : Qasem, 1995b.

arabes est parmi les plus faibles du monde : en 1992, on comptait 1 chercheur pour 4 295 individus appartenant à la population active, soit 1 chercheur pour 15 000 habitants. Environ un tiers (32,5 %) du personnel de recherche travaille dans les universités, les deux tiers restants étant répartis entre les différents organismes de R-D fonctionnant à l'extérieur des universités. Les activités de R-D continuent à être l'apanage du secteur public, la part revenant au secteur privé, tous domaines confondus, étant de moins de 1 %.

L'affectation du personnel de recherche varie considérablement d'un domaine à l'autre. En 1992, la part du lion, soit 44 % de l'effectif total des chercheurs, revenait aux activités de R-D en agronomie et dans les domaines apparentés, y compris l'eau et l'irrigation, la pêche, les technologies alimentaires et la foresterie. Les 56 % restants étaient affectés à tous les autres domaines de recherche, notamment la santé, l'énergie, le pétrole, les sciences fondamentales, les minéraux, la télédétection, l'industrie, l'éducation, les sciences humaines et sociales (tableau 4).

Les moyennes présentées dans le tableau 4 cachent de fortes disparités entre les États arabes. La part de l'Égypte,

par exemple, représente 52 % du total du personnel de recherche, alors que sa population ne représente que 24 % de la population totale des États arabes. Le Maroc est également bien placé, avec une part de 9 % du total du personnel de recherche arabe alors que sa population représente 11 % de la population totale des États arabes. La part qui revenait à tous les autres pays arabes pris ensemble, dont la population représentait 65 % de la population totale, était de 37 %.

Dépenses de R-D

Dans la grande majorité des États arabes, la R-D est demeurée une activité du secteur public, les pouvoirs publics étant en l'occurrence la seule source intérieure de financement. Si le niveau des dépenses de R-D a fluctué au fil des années, une tendance à la baisse s'est manifestée depuis le milieu des années 80, alors qu'un nombre important d'États arabes commençaient à rencontrer des difficultés économiques. La situation a empiré du fait de la guerre du Golfe, les budgets nationaux ayant été amputés de sommes considérables détournées vers les activités militaires. Malheureusement, les fonds allant auparavant à la recherche

TABLEAU 4
RÉPARTITION DU PERSONNEL DE RECHERCHE (CHERCHEURS TITULAIRES D'UN DOCTORAT OU D'UNE MAÎTRISE) PAR DOMAINE DE RECHERCHE DANS LES ÉTATS ARABES EN 1992

Domaine de recherche	Total	Chercheurs		Personnel d'appui titulaire d'une licence
		Doctorat (%)	Part université dans total (%)	
Agronomie et domaines apparentés	6 400	53,1	10,5	3 200
Santé, nutrition et biotechnologie	2 100	53,7	57,6	800
Géologie, télédétection et sciences de l'ingénieur	2 100	59,0	63,1	1 100
Sciences humaines et sociales	1 500	62,2	85,7	400
Énergie	1 500	42,0	2,7	900
Industrie	900	43,0	5,6	400
Total	14 500	53,0	32,5	6 800

Source : Qasem, 1995b.

ont été les plus durement touchés. Souvent, les fonds initialement alloués à la recherche sont d'un niveau encourageant, mais les dépenses sont alors très sujettes à réduction lorsque des coupes budgétaires s'imposent.

En 1992, le total des dépenses de R-D financées à partir de sources intérieures dans l'ensemble des États arabes atteignait à peine 548 millions de dollars ; sur ce montant, 99 % étaient prélevés sur les fonds publics et 1 % seulement venait du secteur privé. Ce chiffre est beaucoup plus faible que celui des années 80, période au cours de laquelle les dépenses de R-D avaient atteint des niveaux sans précédent dans plusieurs États. La plupart des États arabes non exportateurs de pétrole ont reçu des fonds d'aide à la recherche d'organismes bilatéraux, régionaux et internationaux, dans le cadre de programmes d'assistance technique. Cette aide extérieure a fluctué au fil des années, atteignant au début et au milieu des années 80 des niveaux jamais atteints auparavant mais diminuant à la fin des années 80 et au début des années 90. Parmi les principaux bénéficiaires de l'aide extérieure figuraient l'Égypte, le Maroc, la Tunisie, la Jordanie, le Soudan et le Yémen. Cette aide a atteint une moyenne de 90 millions de dollars par an au milieu des années 80 mais est tombée à un simple tiers de ce montant au début des années 90.

Le niveau des dépenses de R-D est, dans l'ensemble, très en dessous du seuil requis pour mener une recherche significative. Le rapport moyen dépenses de R-D/PNB des États arabes n'était que de 0,1 % en 1992. Cependant, ce chiffre cache de fortes disparités quant aux niveaux de dépenses nationales d'un État à l'autre. Par exemple, certains pays tels l'Égypte, la Jordanie, le Maroc et le Koweït ont atteint un pourcentage de 0,34, 0,28, 0,22 et 0,22 respectivement. De leur côté, les moyennes de dépenses publiques masquent aussi de fortes disparités quant aux niveaux de soutien accordé aux différents secteurs. La part de R-D qui revient à l'agriculture, par exemple, représente un peu plus de 40 % des dépenses totales. Dans certains pays, elle se rapproche du seuil minimal, qui, selon les normes internationales, se situe à 1 % du PNB sectoriel. L'apport de la production agricole au PNB total des États arabes était de 14 % en 1992, mais cette production a absorbé 42 % des

dépenses totales. Par contre, la part du pétrole et du gaz dans le PNB total atteignait 21 %, alors que leur part dans le total des dépenses de R-D ne représentait qu'un peu moins de 5 %. Les industries de transformation constituent un autre secteur dont la part dans le PNB — 10 % en 1992 — excédait de loin leur part dans le total des dépenses de R-D — 4 %. La recherche en santé et nutrition venait au deuxième rang, après l'agriculture, quant au montant du financement, et absorbait près de 15 % des dépenses totales.

Le financement des activités de R-D suit les modalités générales appliquées aux organismes publics. Les salaires des chercheurs et du personnel d'appui constituent le poste le plus important du budget, les dépenses de fonctionnement ne faisant l'objet que d'allocations marginales. Dans l'ensemble, les programmes de recherche sont élaborés sans guère d'apports de la part des clients ciblés. Les activités de recherche étaient en conséquence traditionnellement régies par l'offre. Dans plusieurs pays arabes, des organismes de planification, de coordination et de financement de la recherche ont été créés au cours des dernières années. L'Académie égyptienne de science et de technologie, la Fondation koweïtienne pour le progrès de la science, le Conseil supérieur jordanien de la science et de la technologie, la Cité de la science et de la technologie du roi Abdoulaziz d'Arabie saoudite sont autant d'exemples de ces organismes, dont l'objectif est de réduire l'écart qui sépare la recherche régie par l'offre de la recherche orientée vers la demande. Chaque organisme alloue des fonds pour financer une recherche qui est déterminée et coordonnée à la fois par les producteurs et les utilisateurs. Cependant, le budget de ces organismes affecté au financement de la recherche n'excède pas 5 % du total des dépenses de R-D de leurs pays respectifs, et leur capacité à réorienter la recherche afin de répondre aux besoins et aux impératifs nationaux reste par conséquent bien en deçà des espérances.

Les perspectives d'avenir qui s'offrent aux activités de R-D ne paraissent pas bonnes. À l'exception de l'Égypte, qui compte un nombre suffisant de titulaires d'un doctorat ou d'une maîtrise, la plupart des pays de la région manquent de scientifiques suffisamment qualifiés pour mener

la recherche. Plus de cinquante universités ont été créées au cours des dix dernières années. De nombreuses autres sont prévues et deviendront opérationnelles au cours des quelques années qui viennent. Ces universités seront en concurrence pour les titulaires d'une maîtrise ou d'un doctorat disponibles sur le marché. Dans la plupart des pays arabes, les universités existantes emploient un nombre important de titulaires d'une maîtrise recrutés pour remplir des fonctions qui sont habituellement confiées à des titulaires d'un doctorat. Comme indiqué plus haut, les titulaires d'une maîtrise représentent déjà 37 % de l'ensemble du corps enseignant des universités arabes. En excluant l'Égypte, le pourcentage que représentent les titulaires d'une maîtrise par rapport à l'effectif total du corps enseignant de toutes les universités arabes atteint 44 %. En 1992, la part des universités dans le total des dépenses de recherche était de 34 %, chiffre beaucoup plus faible que celui du milieu des années 80. Le temps que le personnel doit consacrer à l'enseignement va vraisemblablement augmenter au cours des années à venir, ce qui risquerait de marginaliser les efforts de recherche menés par les universités dans la plupart des pays. L'Égypte est le seul pays arabe qui ne pâtisse pas du déclin du rôle des universités dans la recherche nationale.

Il n'est pas prévu d'augmenter de façon significative les fonds alloués aux activités de R-D au cours des prochaines années. Cependant, il est possible que certains États choisissent de concentrer leurs activités de R-D dans un ou deux domaines et aient ainsi une meilleure chance d'allouer des fonds suffisants pour leur mise en œuvre efficace.

Le rôle de l'industrie et d'autres parties du secteur privé dans le financement de la recherche est prometteur dans plusieurs États arabes, mais il intervient à un rythme beaucoup plus lent que celui qui était escompté. Plusieurs pays ont mis en place des mesures d'incitation pour encourager les entreprises à créer leurs propres unités de R-D. Tous ont accepté d'adhérer à l'Organisation mondiale du commerce, prolongement de l'Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce (GATT) (1994). Si les États arabes veulent que leurs exportations soient compétitives sur les marchés régionaux et internationaux, et, bien sûr,

sur leurs propres marchés, ils doivent adopter des politiques beaucoup plus résolues en matière de développement de produits. Cela se traduira à coup sûr par une demande d'activités de R-D et de services techniques correspondants, tels que le contrôle de la qualité et les procédures d'exploitation courantes.

POLITIQUES EN MATIÈRE DE S ET T

Organes de décision

La plupart des États arabes, sinon tous, ont créé un organe national de décision en matière de S et T. Traditionnellement, le ministère de l'enseignement supérieur et le conseil de la recherche scientifique étaient adoptés comme organes de décision pour ce qui était des établissements d'enseignement supérieur et des organismes de recherche. Au cours des toutes dernières années, de nouveaux types d'organe de décision en matière de S et T sont apparus, notamment le ministère de l'enseignement supérieur, le ministère de la recherche scientifique, le conseil de S et T, le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, et le conseil de l'enseignement supérieur. En outre, l'organe de décision en matière de S et T peut porter un autre nom tout en fonctionnant comme un ministère ; tel est le cas de la Cité de la science et de la technologie du roi Abdulaziz en Arabie saoudite.

Dans la plupart des États arabes, les organes de décision pour l'enseignement supérieur sont distincts de ceux chargés de formuler la politique en matière de R-D et de services techniques. Les ministères de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, tels que ceux qui existent en Iraq, au Yémen, au Soudan et en Algérie, sont chargés des établissements d'enseignement supérieur et de la recherche dans les universités, mais pas de la recherche menée dans d'autres ministères. Dans tous les États arabes, les organismes de recherche et les universités sont plus anciens que les nouveaux organes de décision en matière de S et T qui ont été formellement créés. De nombreuses universités bénéficient d'une grande marge d'autonomie, alors que les organismes de R-D ont été créés sous la tutelle de conseils d'administration autonomes ou sous le contrôle

direct d'un ministère. Jusqu'à présent, dans chaque État arabe, la recherche agricole, par exemple, était planifiée, financée et mise en œuvre en très grande partie sous l'autorité du ministère des affaires agricoles. C'est également le cas pour la santé, l'industrie et l'énergie. Peu d'organismes de R-D bénéficient d'une grande marge d'autonomie, et ceux qui en bénéficient ont habituellement un caractère multidisciplinaire. Du fait de cette évolution historique des organismes de S et T, il a été difficile jusqu'à présent d'instaurer des relations de travail harmonieuses entre les organes de décision et les organes d'exécution en matière de S et T.

Objectifs et instruments

Bien que les organes de décision en matière de S et T opèrent sous des noms divers, ils partagent tous la même caractéristique : ils sont constitués au niveau de décision le plus élevé. Ils sont souvent présidés par un ministre ou par un haut fonctionnaire de rang ministériel. Ces organes ont été créés du fait de la nécessité perçue par les décideurs de planifier, de coordonner et de consolider les activités en matière de S et T dans chaque État arabe.

Les politiques de l'enseignement supérieur visent souvent la plupart des objectifs suivants, sinon tous :

- Offrir des possibilités en matière d'enseignement supérieur au plus grand nombre possible de personnes. Cette politique se rapproche davantage de la politique de la porte ouverte que d'une politique d'admission rationalisée. Seul un pays, l'Égypte, a proclamé en 1984 une politique d'admission quelque peu rationalisée, visant en particulier les collèges universitaires de S et T au niveau de la licence. Toutefois, l'Égypte a été le premier État arabe à adopter une politique de la porte ouverte aux universités dans les années 50.
- Offrir un enseignement supérieur dans les disciplines correspondant aux objectifs du développement national et aux besoins de la société.
- Offrir un enseignement supérieur gratuit, le gouvernement supportant tous les coûts universitaires.
- Offrir un enseignement de bonne qualité, et dans certains cas, de qualité exceptionnelle.

Malheureusement, les moyens fournis pour réaliser ces objectifs se sont révélés nettement en dessous du niveau requis dans tous les États non exportateurs de pétrole, et même dans certains États exportateurs de pétrole. La plupart des universités pâtissent d'un faible niveau de financement, et nombre d'entre elles n'ont pas réussi à dispenser un enseignement de qualité répondant aux normes internationales. De nombreuses universités n'ont pas pu réagir à temps aux changements et aux exigences des secteurs social et économique. En outre, l'expansion des admissions au niveau de la licence s'étant faite de manière progressive, les universités n'ont pas eu les moyens de développer leur capacité d'enseignement au-delà de la licence en fonction de la demande croissante.

De leur côté, les organes de décision en matière de R-D poursuivent notamment les objectifs suivants :

- Identification de la R-D et des services techniques dans des plans élaborés conformément aux priorités et aux besoins des secteurs de développement social et économique.
- Utilisation maximale des ressources allouées aux activités de R-D grâce à la coordination et à la consolidation des activités de tous les organismes de R-D.
- Encouragement d'une liaison entre toutes les parties prenantes des activités de R-D et des services techniques, en particulier entre les utilisateurs et les producteurs.
- Création d'un environnement sain, propice à une productivité élevée du personnel de R-D et des services techniques.

Dans quelle mesure les organes de décision ont-ils réalisé les objectifs de la R-D et des services techniques ? Cela varie considérablement d'un État à l'autre. L'expérience montre que les résultats que ces organismes obtiennent dépendent en grande partie du type et de l'efficacité des instruments utilisés pour atteindre les objectifs visés. Ainsi, de nombreux pays ont recouru à la constitution de comités représentant toutes les parties prenantes de la planification et de la coordination des ressources et des activités de R-D, mais peu d'indications permettent de penser que ces comités sont parvenus à réaliser les résultats escomptés. Par

contre, un autre mécanisme plus efficace s'est révélé être l'appui financier accordé hors du cadre budgétaire normal des organismes de R-D. Malheureusement, l'ampleur de cet appui aux organes de décision était bien en dessous du niveau requis pour qu'il produise un effet général. Dans plusieurs cas, cet appui n'a pas été maintenu au niveau initial, et a ainsi perdu progressivement sa capacité à apporter l'impact souhaité. En 1988-1992, l'appui annuel moyen accordé par les organes de décision aux programmes de R-D dans quatre États arabes, à savoir l'Égypte, la Jordanie, le Koweït et l'Arabie saoudite, représentait 3,6 % des dépenses totales de R-D.

La recherche menée sur contrat conclu entre les utilisateurs et les producteurs de R-D est un autre mécanisme efficace pour accroître l'adéquation des travaux de R-D aux besoins des utilisateurs. Dans ce cas aussi, cet instrument, bien qu'efficace et populaire, n'a pas été à la hauteur des promesses, en raison du faible niveau du financement disponible, d'une part, et du caractère indépendant du financement des organismes de R-D opérant sous la tutelle de divers ministères, d'autre part. Dans le cas des organismes de R-D placés sous la tutelle des ministères de l'agriculture, par exemple, les crédits sont destinés à financer les salaires et les dépenses de fonctionnement afférentes aux activités normales de l'organisme. Généralement, les crédits de fonctionnement ne sont guère suffisants pour obtenir une production de qualité et efficace. Les organismes se battent habituellement pour obtenir davantage de crédits, mais les procédures financières traditionnelles des ministères ne permettent pas d'allouer les crédits adéquats. De ce fait, les chercheurs se contentent généralement de vaquer à leurs activités ordinaires ; ils ne sont guère incités à rechercher un appui supplémentaire, habituellement assorti de conditions et donc impopulaire auprès de la majorité des chercheurs. La plupart des chercheurs ont l'habitude d'établir leur propre programme de recherche, de fixer leurs propres priorités, de soumettre leurs résultats de recherche sous la forme de publications qui conviennent à leur propre promotion, et sont donc généralement réticents à l'égard des évaluations externes. La relation entre les chercheurs et les hauts fonctionnaires a atteint une forme dont les uns

et les autres semblent s'accommoder fort bien. Une politique délibérée s'impose pour mettre un terme à cette relation douillette et instaurer un cadre plus réaliste pour réaliser les objectifs visés.

En conclusion, l'on peut dire que la plupart des États arabes ont investi des sommes considérables dans l'enseignement supérieur ainsi que dans les organismes de R-D. Le fait que de nombreux États arabes aient créé des organes de décision en matière de S et T et aient en outre formulé des politiques en la matière constituait une condition nécessaire mais non suffisante pour garantir un système de S et T efficace. De nombreuses indications permettent de penser que, dans de nombreux pays arabes, il existe un grand écart entre les objectifs déclarés des politiques en matière de S et T et les instruments requis pour réaliser ces objectifs. L'écart qui sépare les objectifs déclarés des mécanismes de mise en œuvre est, dans l'ensemble, plus accentué quant à la R-D.

RECHERCHE — PRIORITÉ, RÉSULTATS OBTENUS ET TENDANCES FUTURES

Dans l'ensemble, les États arabes ont été dans le passé récent des bénéficiaires plutôt que des créateurs de savoir-faire en R-D. À l'exception de quelques réalisations en agriculture et en mise en valeur des ressources naturelles, la contribution de la région arabe à la R-D mondiale a été marginale par rapport à celle des pays industrialisés.

Les États arabes possèdent 61,8 % des réserves mondiales de pétrole et 21 % des réserves mondiales de gaz naturel. Ils jouissent également d'une situation géographique leur offrant la possibilité d'une exploitation extensive de l'énergie solaire. Leurs réserves minérales attestées sont d'une grande ampleur, particulièrement en phosphate et potasse. Par contre, les États arabes sont mal dotés en ressources en eau, le désert occupe plus de 82 % de la superficie de la région et un climat aride y sévit. De ce fait, la superficie des terres convenant à une production agricole stable est limitée. La part de ressources potentielles en eau renouvelables par habitant, dont 60 % sont d'ores et déjà utilisés, a diminué au fil des ans pour se situer à envi-

ron 1 100 m³, soit l'équivalent de 12 % seulement de la moyenne mondiale par habitant. En l'an 2000, la part d'eau par habitant qui serait effectivement disponible pour la consommation, sur la base des scénarios les plus optimistes de mise en valeur des ressources en eau potentielles, se situera aux alentours de 550 m³, soit à peu près le niveau actuel.

Dans la plupart des États arabes, le capital humain souffre toujours, dans l'ensemble, de faiblesses structurelles : parmi les diplômés de l'université, les licenciés prédominent, le ratio étant de 19 licences pour 1 maîtrise ou 1 doctorat. Dans une région qui connaît l'un des taux les plus élevés d'accroissement de la population, les besoins croissants en alimentation et en services de santé et d'éducation continueront à absorber la majeure partie, si ce n'est la totalité, de l'augmentation escomptée du produit intérieur brut dans la majorité des États. Tirer parti d'un savoir-faire salubre en science et technologie, que ce soit pour améliorer la qualité et la productivité des ressources humaines ou pour accroître au maximum la valeur ajoutée des services et des industries de transformation liés à la mise en valeur des ressources naturelles, telle paraît être la meilleure, sinon la seule, option qui soit offerte pour améliorer la qualité de vie dans la région.

Résultats obtenus et tendances futures

Bien que les États arabes ne soient pas bien dotés en ressources agricoles, les résultats qu'ils ont obtenus en matière de production alimentaire se sont sensiblement améliorés au cours des récentes années. Cette amélioration est imputable surtout à une meilleure intégration des apports de S et T dans les systèmes de production alimentaire, plutôt qu'à un accroissement des ressources. Il est vrai que la part de la région dans la superficie mondiale totale des terres arables s'élevait à 3,8 % en 1992, chiffre proche de la part qui lui revient dans la population mondiale — 4,2 %. Cependant, 80 % de la production alimentaire provenaient de 25 % à peine de la superficie totale de ces terres arables, la superficie utilisée se trouvant être irriguée. A la fin des années 80, les États arabes ont intensifié l'utilisation d'intrants de production améliorés, tels que les semences, les

fertilisants, les pesticides et les systèmes modernes d'irrigation, et ont pu ainsi atteindre, pour certaines récoltes, des niveaux de productivité égalant les plus élevés du monde. Cependant, ces bons résultats n'ont pas été sans conséquences néfastes. Une grande partie des ressources en eaux souterraines des États arabes, par exemple, a été surexploitée. Cela a entraîné une détérioration de la qualité des aquifères et la détérioration de la capacité de production des terres agricoles irriguées en raison du taux élevé de salinité de l'eau et de la monoculture. Les systèmes arabes de recherche agricole ont, jusqu'à présent, centré leurs efforts sur l'exploitation maximale des ressources en n'accordant que peu d'intérêt à la productivité durable. Certains États sont plus touchés que d'autres quant à la détérioration de la qualité des ressources et de la productivité. Ceux qui possèdent de grands bassins fluviaux ont déjà été sévèrement touchés. Par ailleurs, l'écart qui sépare l'accroissement de la population de la croissance économique s'accroît dans la plupart des pays. Des programmes de planification familiale ont été mis en place dans plusieurs États arabes, mais nécessitent des instruments efficaces pour harmoniser les taux d'accroissement de la population, d'une part, et créer des conditions adéquates pour des niveaux de développement humain raisonnablement acceptables, de l'autre.

Les ressources minérales et les ressources énergétiques non renouvelables des pays arabes sont actuellement exploitées à un rythme sans précédent. L'élaboration de méthodes d'exploitation minière et de transformation plus efficaces devient une priorité. Des efforts de recherche modestes ont déjà commencé dans ce domaine mais ont besoin d'être renforcés pour produire l'effet escompté. La recherche sur l'énergie solaire et éolienne a été entreprise dans plusieurs États arabes, mais elle se focalise davantage sur l'évaluation et le transfert de technologies conçues dans des environnements différents de ceux existant dans la région arabe.

Jusqu'à présent, les produits manufacturés arabes étaient destinés aux marchés locaux et régionaux, les marchés d'exportation à l'échelle internationale ne faisant l'objet que d'un intérêt marginal. Les conditions commerciales qui s'ébauchent jouent contre les barrières tarifaires et les autres mesures nationales de protection des produits de

qualité inférieure sur les marchés locaux. Ces tendances ne manqueront pas d'influencer le champ et la qualité des activités de R-D en matière de transformation, en particulier dans les domaines où les États arabes sont relativement avantagés. Il s'agit notamment du tourisme, de la pétrochimie, des fertilisants, des technologies d'irrigation, des textiles et de l'industrie pharmaceutique.

En conclusion, l'on peut dire que les États arabes ont réellement la possibilité d'améliorer la performance de leur systèmes de S et T afin de mieux réaliser les objectifs sociaux et ceux du développement. L'expérience du passé et les réalités mondiales nouvelles devraient permettre aux décideurs de choisir des options plus réalistes et d'utiliser des moyens plus efficaces pour atteindre les objectifs visés. Les tendances des activités en matière de S et T qui se dessinent peuvent se résumer comme suit :

- Mise au point de modèles de gestion de l'eau et des sols en vue d'obtenir une productivité maximale et durable dans l'exploitation de ces ressources, en particulier dans le domaine des systèmes de production irriguée.
- Conception et mise au point de technologies en vue de dessaler l'eau saumâtre et l'eau de mer, de préserver la qualité des ressources en eau existantes et d'obtenir une efficacité maximale dans l'utilisation de l'eau dans tous les secteurs.
- Conception et mise au point de technologies visant à accroître l'efficacité de l'extraction pétrolière et gazière, ainsi que de l'exploitation des minerais. Une augmentation de 1 % à peine de l'extraction des réserves pétrolières existantes signifie un gain de dizaines de milliards de dollars.
- Élaboration de stratégies et intervention réaliste en vue d'introduire la planification familiale dans les foyers.
- Mise au point d'instruments en vue d'encourager le secteur privé à soutenir les activités de R-D et de services techniques en matière de tourisme, de transformation de produits et de marketing.
- Mise au point de modèles et d'instruments en vue d'améliorer la gestion des organismes publics ainsi que des entreprises de transformation et entreprises commerciales du secteur privé.

- Mise au point d'instruments et d'indicateurs pour suivre et évaluer la performance des universités publiques et privées.
- Réactivation des activités en matière de R-D et de services techniques au moyen de la mise en œuvre de mesures réalistes pour encourager la liaison entre les parties prenantes et créer des cadres institutionnels sur la base de la compétitivité et de la productivité des ressources humaines en S et T.

CONDITIONS DE TRAVAIL DE LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

Les conditions de travail des scientifiques arabes varient considérablement d'un pays à l'autre. Dans les États riches ou dans les États qui jouissent d'une situation économique et politique stable, les établissements offrent généralement des conditions de travail attrayantes pour les scientifiques : revenus bons à modérés, un certain nombre d'incitations ou d'avantages divers, et la possibilité d'exercer les activités d'enseignement, de recherche et/ou de service au public avec satisfaction. En revanche, les établissements qui opèrent dans les pays confrontés à des difficultés économiques ou à des tensions sociales et à des troubles civils connaissent un certain nombre de contraintes — revenus du personnel faibles par rapport aux normes régionales et internationales, graves insuffisances dans l'environnement requis pour l'exercice normal d'activités scientifiques.

Les budgets d'une trentaine d'universités et de grands centres de R-D ont été analysés pour un certain nombre d'années. Dans tous les cas, les postes les plus touchés par les réductions budgétaires sont ceux qui intéressent directement la qualité des résultats :

- Fonds d'appui à la recherche menée dans les universités.
- Fonds alloués pour l'achat de nouveaux livres et de matériels de référence et pour l'abonnement à de nouveaux périodiques.
- Fonds alloués pour les abonnements à des périodiques établis.
- Entretien du matériel.

- Matériel et équipement d'enseignement ou de recherche.
- Fonds alloués pour la participation à des conférences à l'étranger.
- Création de nouveaux postes au titre du personnel de recherche, d'enseignement et d'appui.

Exception faite pour les États du Golfe, la plupart des organismes de S et T des États arabes ont pâti d'un faible niveau de financement depuis le milieu des années 80. L'une des principales conséquences de cet état de choses a été l'exode massif vers l'étranger de scientifiques arabes en quête de meilleures conditions de travail. Selon les statistiques, en 1990-1991, 6 800 scientifiques arabes travaillaient hors de leur pays d'origine mais à l'intérieur de la région arabe, 89 % d'entre eux détenaient un doctorat. Ce chiffre représentait 11 % du nombre total de titulaires d'un doctorat travaillant dans toutes les universités et tous les établissements de R-D arabes. Une seconde catégorie de scientifiques travaillent hors de leur établissement ; il s'agit de ceux qui sont employés par des entreprises ou des universités du secteur privé dans leur pays d'origine. Le nombre total de titulaires d'un doctorat appartenant à vingt-cinq universités situées dans quatre États arabes qui étaient en congé représentait de 8 % à 15 % du total de l'effectif de chacune de ces universités.

On ne dispose pas de statistiques sur la migration des scientifiques arabes vers les pays situés hors de la région. Toutefois, selon un rapport sur les indicateurs relatifs à la science et aux sciences de l'ingénieur du Conseil scientifique national des États-Unis, le nombre total de migrants en provenance du Proche et du Moyen-Orient était de 1 600 en 1991. Selon le même rapport, 29 % des étudiants originaires des pays d'Asie occidentale qui venaient d'obtenir leur titre de doctorat envisageaient fermement de rester aux États-Unis.

Les établissements qui accordent un congé à des membres de leur personnel pâtissent souvent d'un rapport étudiants/enseignants inadéquat. Par contre, d'aucuns voient dans cette migration temporaire de scientifiques un phénomène positif du point de vue du transfert d'expérience. Cependant, il n'existe actuellement aucune étude

approfondie en la matière ni aucune information fiable sur l'impact de cet exode sur la performance des établissements de S et T dans les États arabes.

COOPÉRATION ET AIDE INTERNATIONALES — DOMAINES PRIORITAIRES

Bien que les États arabes aient atteint des niveaux variables de développement, notamment quant à leur capacité en S et T, nous pouvons identifier certains besoins communs à tous les États, à la majorité d'entre eux, ou à des groupes sous-régionaux. Voici une brève récapitulation des domaines dans lesquels une intervention internationale aiderait à accélérer l'amélioration :

- Modèles de gestion des ressources : le besoin est devenu encore plus urgent au cours des dernières années. L'objectif de ces modèles est d'améliorer la gestion des ressources humaines, financières et naturelles afin d'obtenir une performance optimale. Certains de ces modèles se sont révélés d'une portée universelle ou régionale et susceptibles d'être transférés moyennant une légère modification ; d'autres ont besoin d'être adaptés aux caractéristiques culturelles propres aux pays arabes.
- Mise au point de directives en matière de politique de S et T : l'enseignement supérieur et la recherche sont deux activités coûteuses, et de nombreux pays arabes n'ont pas les moyens de s'offrir des établissements de S et T d'un type perfectionné dans tous les domaines. Jusqu'à présent, les objectifs ont souvent été trop ambitieux, sinon tout à fait irréalistes, par rapport aux moyens disponibles. Toutes les universités publiques, par exemple, revendiquent trois fonctions, chacune d'elles nécessitant des crédits considérables : la préparation à la maîtrise et au doctorat, la recherche et les services au public. Une telle ambition peut être légitime lorsque n'existe qu'une seule université dans un pays. Cependant, la majorité des pays arabes possède au moins quatre universités ou établissements de niveau universitaire ; la moitié des pays possède huit universités, ou davantage, et ce chiffre augmente chaque année. La plupart de ces établissements, à l'exception de ceux

des États exportateurs de pétrole du Golfe, doivent faire face à un faible niveau de financement ; les crédits alloués ne sont tout simplement pas suffisants — c'est le moins qu'on puisse dire — pour réaliser les objectifs déclarés. La mise au point de politiques et d'indicateurs de performance s'impose, afin de guider les choix stratégiques et de rationaliser l'utilisation des ressources en vue de réaliser les objectifs au moyen d'une approche plus réaliste.

- Promotion du dialogue entre les responsables : les universités arabes sont regroupées en une association rassemblant presque tous les États arabes ; de même, les conseils et/ou les ministères de la recherche font partie d'une union panarabe. Malheureusement, l'une et l'autre souffrent d'un déficit budgétaire, et, de ce fait, leur action visant à faciliter le dialogue et l'échange d'expérience entre les responsables des établissements de S et T est limitée. Ces deux organisations, l'Association des universités arabes et l'Union des conseils de recherche scientifique, peuvent néanmoins offrir un cadre permettant de discuter de démarches réalistes à l'égard des choix stratégiques en matière de S et T. Une aide extérieure est requise pour l'organisation de réunions conçues aux fins suivantes : procéder à un échange d'expérience ; mobiliser des fonds à l'appui des activités menées en matière de S et T ; définir les critères permettant de mesurer le caractère responsable de la recherche ; déterminer les priorités en fonction des ressources disponibles et de la masse critique nécessaire pour mener des travaux fructueux.

Subhi Qasem, né en Jordanie, y a reçu une formation en sciences agricoles avant de poursuivre ses études scientifiques à l'Université de l'État du Kansas et l'Université du Minnesota aux États-Unis d'Amérique.

A son retour en Jordanie, il travailla pendant cinq ans avec le Ministère de l'agriculture avant de rejoindre l'Université de Jordanie où il a été appelé à différents postes, successivement professeur associé et professeur de pathologie végétale puis doyen des facultés de sciences et d'agriculture.

M. Qasem a été Ministre de l'agriculture en 1991 et s'est établi comme consultant en 1992. De nombreuses organisations nationales et internationales, y compris l'UNESCO, la FAO, le PNUD, la Banque mondiale, le PNUE, l'ALECSO, le CRDI et l'USAID, ont fait appel à lui dans les domaines de l'enseignement scientifique et technologique et de la R-D. Récemment, il a accompli pour l'UNESCO une étude capitale sur les indicateurs scientifiques et technologiques dans les pays arabes.

BIBLIOGRAPHIE

- Fonds arabe pour le développement économique et social et autres. 1993. *The 1993 unified Arab economic report*, Koweït.
- National Science Board. 1993. *Science and engineering indicators, 1993*, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office.
- Qasem, S. 1990. *L'enseignement supérieur dans le monde arabe* [en arabe], Amman, Arab Thought Forum.
- . 1995a. *The higher education system in the Arab states : development of S & T indicators*, Le Caire, UNESCO.
- . 1995b. *R & D systems in the Arab States : development of S & T indicators*, Le Caire, UNESCO.

L'Afrique

THOMAS R. ODHIAMBO

Au seuil du troisième millénaire, le continent africain demeure profondément marqué par trois handicaps. Le premier est la grave blessure psychique infligée par cinq siècles de déracinement et de joug colonial, qui n'ont trouvé leur terme historique qu'en mai 1994 lorsque la République d'Afrique du Sud a officiellement aboli l'*apartheid* et instauré la liberté démocratique. Le deuxième est la fragmentation et le morcellement de l'Afrique selon des frontières arbitraires par les puissances coloniales durant les dernières décennies du XIX^e siècle. Cette aberration géopolitique est à elle seule à l'origine d'au moins deux grands problèmes inextricables : l'exacerbation des rivalités inter-ethniques et la création d'un grand nombre d'États-nations minuscules. Sur les 53 pays que compte l'Afrique, 22 sont des micro-États peuplés de moins de 5 millions d'habitants, et 12 autres des mini-États, dont la population varie entre 5 et 10 millions d'habitants. Cette situation, à quoi s'ajoute — autre séquelle de l'ère coloniale — un contrôle strict des frontières, constitue un formidable obstacle à la communication, à la coopération et au commerce à l'échelle du continent. De fait, les liens sont historiquement beaucoup plus forts avec les anciennes métropoles qu'avec les pays voisins. Enfin, depuis le début des années 70, l'Afrique n'a cessé de s'appauvrir, malgré la richesse et la diversité extraordinaires de ses ressources naturelles, tandis que s'alourdissait son endettement à l'égard des prêteurs bilatéraux (64 % de l'ensemble des créances) et des institutions financières multilatérales, et en particulier de la Banque mondiale, de la Banque africaine de développement (BAfD) et du Fonds monétaire international (FMI), qui représentent 19 % de l'encours total. Les stratégies mises en œuvre pour réduire cet endettement se sont révélées inadéquates et n'ont pas empêché la dette extérieure de croître. Pourtant les organismes de financement multilatéraux se sont opposés à toute radiation de la dette, voire à son rééchelonnement. Il en résulte que, dans les faits, la dette extérieure de l'Afrique est devenue impossible à rembourser.

C'est à la lumière de ce contexte qu'il convient de réfléchir au rôle décisif de la science et de la technologie (S et T) dans le développement futur de l'Afrique et dans sa contri-

bution au progrès des connaissances scientifiques au niveau mondial.

TENDANCES NOUVELLES DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR SCIENTIFIQUE

Les universités africaines sont en proie à une crise qui ne cesse de s'aggraver depuis le milieu des années 70. C'est l'aspect matériel de cette crise qui frappe de prime abord : résidences universitaires, salles de cours et laboratoires surpeuplés, bibliothèques d'un autre âge et manquant d'ouvrages, laboratoires sous-équipés, ateliers dont les machines ne fonctionnent plus, enseignants surchargés, si mal rémunérés qu'ils sont obligés pour survivre de trouver un deuxième emploi, rareté des étudiants de troisième cycle, qui doivent prolonger leurs études deux ou trois ans de plus que la période normale pour les mener à terme, fréquentes émeutes étudiantes et, de temps à autre, grèves perlées des enseignants, et administration excessivement bureaucratique. L'inadaptation croissante de ces universités à la société africaine moderne n'apparaît qu'à un œil plus averti.

En 1972, l'Association des universités africaines (AUA) a organisé à Accra (Ghana) une grande conférence sur le thème « Créer l'université africaine » en vue d'examiner les problèmes qui venaient tout juste de surgir, une décennie seulement après la véritable accession à l'indépendance politique. Les participants décidèrent que l'objectif premier était de forger une nouvelle conception de l'université africaine, qui devait devenir une « université du développement » et, dans cette perspective, lui assignèrent cinq grandes missions : former des chercheurs et des universitaires africains ; élaborer des programmes en rapport avec les problèmes de l'Afrique et ses réalités économiques et sociales ; mettre fin à la dépendance à l'égard des universités des anciennes métropoles sur le plan de l'enseignement et de la recherche et sur le plan administratif ; introduire l'enseignement des langues africaines dans leurs établissements ; et prendre part au développement national.

Malgré les progrès considérables accomplis dans la mise en œuvre de cette vision de l'université africaine définie par

l'AUA en 1972, de nouveaux problèmes sont apparus et ont pris une place centrale : pression accrue des inscriptions dans le premier cycle alors même que les budgets diminuent ; diplômés ayant de plus en plus de difficultés à trouver un emploi du fait de la libéralisation croissante de l'économie ; rapports de plus en plus tendus entre les étudiants et les administrateurs, et entre ces derniers et les gouvernants sur fond de démocratisation de la vie politique ; et besoin vital de disposer en nombre suffisant de spécialistes et d'entrepreneurs ayant une formation de haut niveau pour faire face à la marginalisation croissante des économies africaines — autant de raisons qui poussaient l'AUA à organiser un deuxième débat sur l'université africaine prenant en compte ce nouveau contexte géopolitique et géoéconomique.

En janvier 1995, une conférence internationale sur le thème « L'université en Afrique dans les années 90 et au-delà » a donc réuni à Maseru (Lesotho) les dirigeants de près de cent universités africaines afin qu'ils proposent des mesures concrètes pour enrayer le déclin de l'université africaine et réaffirmer son rôle dans le développement du continent (AUA, 1995). Les participants ont constaté que le savoir était désormais la base de la production et du développement économique partout dans le monde et que, sur ce plan comme sur d'autres, les vieilles conceptions de l'université encore à l'honneur en Afrique était devenues anachroniques ; que les universités africaines devaient à présent utiliser les armes du savoir pour répondre aux besoins pressants en matière de développement et en matière sociale ; que l'apprentissage était véritablement devenu un processus qui se prolongeait toute la vie ; et qu'il fallait avant tout restaurer dans l'esprit du public l'image d'une université africaine moteur de la transformation sociale. Suite à cette réunion, l'AUA met sur pied un programme de formation supérieure et de recherche associant plusieurs universités sur certains aspects clés du développement, aux premiers rangs desquels figurent la gestion de l'environnement et les biotechnologies.

Attentifs à ces récentes initiatives, les bailleurs de fonds ont pris de leur côté un certain nombre de mesures. En juin 1995, un petit groupe de donateurs a organisé à Upp-

Une Université africaine de recherche

Dans le cadre de son programme Priorité Afrique, l'UNESCO finance un projet mis en œuvre au Research and Development Forum for Science-Led Development in Africa (RANDFORUM), basé à Nairobi (Kenya), dans lequel une petite équipe de planification élabore un plan pilote en vue de la création d'une université africaine d'un nouveau type — de taille modeste, hautement spécialisée et tournée vers la recherche. Cette université aura en principe pour siège un centre qui s'est distingué dans un domaine représentant une priorité stratégique pour l'Afrique, comme la médecine tropicale, la conception et l'exploitation de logiciels ou les sciences de la mer et de la Terre, relié à six autres centres d'excellence ou plus du continent. Un tel réseau, proposant des programmes d'enseignement à distance, constituera l'Université de recherche, qui concentrera ses efforts sur l'enseignement de niveau postuniversitaire, la recherche axée sur le développement et l'assistance-conseil, et qui tissera des relations fonctionnelles solides avec la communauté d'accueil et le secteur productif. Dotée de telles attributions, cette Université sera particulièrement bien armée pour répondre aux problèmes et aux besoins du secteur productif et de la collectivité et pour servir les objectifs de développement nationaux, tout en contribuant à l'accroissement des connaissances dans le monde et à l'intégration de l'Afrique. Ce modèle d'un type nouveau verra officiellement le jour vers le milieu de 1996.

sala (Suède) une conférence internationale sur le thème « Soutien des donateurs à la recherche axée sur le développement dans les disciplines fondamentales » (International Science Programs, 1995). Le but était d'éviter que la tendance des pays en développement à ne s'intéresser dans leur précipitation à la S et T que du seul point de vue de son utilité sur le plan de l'innovation technologique n'ait pour effet à long terme de tarir les sources vives de la connaissance scientifique. Il importait de corriger cette tendance en renforçant les disciplines fondamentales (bio-

logie, chimie, physique et mathématiques), qui doivent demeurer la base de l'éducation et de la technologie nationales. Considérant que « toute recherche appliquée et tout développement à long terme doivent s'appuyer sur la recherche fondamentale », que « chaque pays en développement et ses institutions nationales devraient élaborer des stratégies visant à promouvoir la recherche fondamentale et à lever les obstacles rencontrés par ce pays sur la voie du développement », et que « les domaines de recherche dans les disciplines fondamentales doivent être choisis à bon escient en ayant à l'esprit les besoins de développement futurs du pays », la conférence d'Uppsala a recommandé cinq formes d'action :

- Renforcement des capacités en matière de recherche fondamentale ; formation dans chaque pays de cadres de haut niveau à la faveur de recherches axées sur les problèmes.
- Soutien à la recherche et à l'enseignement supérieur dans les disciplines fondamentales, par exemple en appuyant le renforcement des capacités en biologie moléculaire dans le cadre du financement d'un projet concernant la santé.
- Coordination et coopération accrues des organismes de financement à l'intérieur de chaque pays, à l'exemple des efforts efficaces faits dans ce sens par l'Université Eduardo-Mondlane du Mozambique ; une telle coopération est indispensable pour la mise en œuvre des programmes régionaux de formation postuniversitaires et des programmes de formation et de recherche Sud-Sud.
- Acquisition de technologies modernes (telles que systèmes d'exploitation de CD-ROM et de liaison par courrier électronique) de manière à faciliter l'accès à l'information disponible dans les bibliothèques et les centres de documentation.
- Rénovation complète des structures d'enseignement et de recherche de la plupart des universités africaines, qui doivent impérativement être rééquipées — préalable indispensable au développement des capacités en matière de S et T.

La rénovation des quelque 200 unités s'occupant de S et T dans les grandes universités d'Afrique et la modernisation

de leur équipement nécessiteront sans doute dix ans d'efforts et un investissement de quelque 6 milliards de dollars. Il s'agit là d'une somme considérable pour les gouvernements africains, qui gèrent 98 % de ces unités et en contrôlent la politique et la gestion. Étant donné leur caractère extrêmement conservateur, faire de ces unités des moteurs dynamiques du changement risque d'être une tâche herculéenne, exigeant un engagement hors du commun.

Toutes ces tentatives récentes pour reconstruire l'université africaine ont pour but d'assurer le plein épanouissement des talents dans la région et de le faire dans un sens plus conforme à l'esprit d'entreprise. On observe notamment une volonté d'intégrer pleinement les femmes dans les universités, en tant qu'étudiantes et en tant qu'enseignantes. Selon l'*Annuaire statistique de l'UNESCO 1993*, les pourcentages d'étudiantes sont actuellement peu élevés en sciences exactes et naturelles, en informatique, en médecine et en sciences agricoles (entre 8 et 40 %), et plus faibles encore en sciences de l'ingénieur, où ils demeurent en général inférieurs à 10 % (voir le chapitre de Lydia Makhubu intitulé « La place des femmes dans la science : le cas de l'Afrique »).

Du fait du rôle central des ressources humaines dans l'économie moderne, l'enseignement supérieur — universités et instituts de technologies — est une des clés pour résoudre la crise du développement que traverse aujourd'hui l'Afrique.

STRUCTURE ET ORGANISATION DE LA SCIENCE EN AFRIQUE

Une autre façon de contribuer à la solution à long terme de la crise actuelle est d'organiser l'activité scientifique en Afrique sous la forme de missions conçues en fonction des besoins.

La S et T semble se structurer et s'organiser en Afrique de la manière suivante :

- Au niveau des régions et du continent, les orientations politiques sont données par l'Organisation de l'unité africaine (OUA) et la supervision technique assurée par la

Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique (CENUA), sous l'égide de la Commission de recherches scientifiques et techniques de l'OUA (OUA/CRST), comme il était indiqué dans le *Rapport mondial sur la science 1993* de l'UNESCO. Depuis, le Conseil scientifique pour l'Afrique, en sommeil depuis près de 15 ans, a été réactivé (vers le milieu de 1994) sous les auspices de la CRST pour devenir le principal organe consultatif de l'OUA sur les politiques de la S et T. En outre, des protocoles concernant ces politiques sont mis au point conformément aux instruments statutaires signés en 1991 à Abuja (Nigéria) en vue de la création d'une Communauté économique africaine d'ici à l'an 2025.

- *Au niveau national*, les gouvernements ont mis en place depuis le début des années 70 des organismes consultatifs nationaux sur la politique de la S et T, ou des organes analogues, sur un modèle dont l'UNESCO s'était faite l'inspiratrice aux premiers temps de l'indépendance politique en vue de remplacer des mécanismes coloniaux jusque-là sous la tutelle d'une institution basée en métropole. L'université a souvent joué un rôle important au sein de ces organismes. A la suite de la Conférence de Vienne sur la science et la technique au service du développement qui s'est tenue en 1982, certains gouvernements ont créé un ministère de la science et de la technologie (ou une variante) tout en conservant l'organisme consultatif, doté d'une existence autonome. Dans la majorité des cas, l'industrie n'a pas pris une part active à la formulation des politiques ou à leur évaluation. En principe, la politique de la S et T devrait être un élément stratégique du plan de développement national, comme de sa mise en œuvre, mais cela est rarement le cas, sauf lorsqu'il s'agit d'améliorer la compétitivité des principaux produits exportés.
- *Au niveau du secteur privé*, les innovations indispensables sont soit introduites par les laboratoires de recherche scientifique et de développement technologique (R-D) des sociétés étrangères basés dans le pays, soit achetées sous forme de biens d'équipement ou de projets clés en main. Les efforts de R-D axés sur la résolution des problèmes entrepris par les industries manufacturières dans la plupart des pays africains sont négligeables.
- *Au niveau des professions intellectuelles et des spécialistes*, diverses institutions se sont développées au cours des trois dernières décennies — le plus souvent sous la forme de branches ou de filiales nationales d'associations professionnelles ou d'organisations dotées d'une charte établies de longue date (dans le cas par exemple des médecins, des banquiers, des comptables, des juristes ou des spécialistes de la gestion), ou de centres rattachés à des réseaux internationaux (dans le cas par exemple des universitaires et des chercheurs, des sociétés savantes et des associations d'ingénieurs). Ces entités sont résolument tournées vers l'extérieur et adhèrent aux normes professionnelles internationales, telles qu'elles sont appliquées dans les pays industrialisés.
- *Les académies des sciences*, en tant qu'institutions élitaires dont la vocation est de distinguer l'excellence et le mérite et de promouvoir le progrès scientifique, sont des créations récentes sur le continent (Odhiambo, 1983). Dans leur majorité, ces académies nationales des sciences, telles celles du Maroc, du Nigéria ou du Kenya, sont calquées sur le modèle forgé historiquement en Europe : ce sont des associations privées dont les membres publient des revues savantes, prononcent discours et conférences, récompensent par des prix des travaux scientifiques éminents et conseillent les gouvernements sur la politique de la S et T chaque fois qu'ils y sont invités. L'Académie des sciences du Ghana a choisi une autre voie en prenant modèle il y a quatre décennies sur les anciennes académies de l'Europe de l'Est, qui chapeautaient l'ensemble des institutions de recherche. Elle s'est depuis considérablement éloignée de ce modèle, mais a gardé des liens solides avec le gouvernement. Tout autre est l'Académie africaine des sciences, créée en décembre 1985. Probablement unique en son genre, elle recrute ses membres sur tout le continent. Ni fédération des académies nationales, ni organisme au sommet, elle a pour vocation première de promouvoir en Afrique un développement induit par la science en encourageant l'excellence et la pertinence

et en mettant en œuvre un certain nombre de programmes, portant notamment sur le renforcement des capacités (en matière, par exemple, de gestion des ressources en eau, de recherche en sylviculture et d'accès des femmes aux stages de formation scientifique). Un certain nombre d'autres institutions à caractère privé commencent à voir le jour en Afrique.

Toutes ces structures de la S et T n'ont pas encore entrepris de résoudre, de manière systématique et dans une perspective à long terme, le problème de la propriété intellectuelle au moment où l'Afrique entend devenir compétitive sur le plan de la production et des techniques commerciales, tant sur ses marchés intérieurs que sur les marchés internationaux. De fait, bien que l'Organisation africaine de la propriété intellectuelle (OAPI), basée à Yaoundé (Cameroun), et l'Organisation régionale de la propriété intellectuelle de l'Afrique (ARIPO), basée à Harare (Zimbabwe), aient été créées (la première en 1962 et la seconde en 1976) en vue d'instituer de nouveaux mécanismes mettant fin à la dépendance à l'égard des anciennes métropoles en matière de dépôt des brevets, innovations, marques et dessins industriels, ces mécanismes africains n'ont pas encore fait la preuve de leur efficacité opérationnelle (Ojwang', 1989). De plus, les nouvelles préoccupations apparues depuis la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, tenue en 1992 à Rio de Janeiro, dans le domaine en particulier de la biodiversité, du dépôt de brevets en génétique et de la prospection chimique, et la conclusion des Négociations d'Uruguay dans le cadre de l'Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce (GATT), en ce qui concerne notamment l'obligation faite à tous les États de protéger la propriété industrielle sur leur territoire, réclament d'urgence l'attention de l'Afrique, surtout si elle entend mettre à profit ses propres ressources biologiques et l'immense corpus que constituent les savoirs traditionnels locaux, en appuyant par exemple la médecine des plantes sur des bases scientifiques rationnelles.

Le problème clé aujourd'hui en Afrique n'est pas la protection des brevets et autres éléments de la propriété industrielle (marques de commerce et de fabrique, modèles d'uti-

lité et dessins industriels) déposés par des pays étrangers — les diverses conventions auxquelles les États africains sont individuellement parties y pourvoient —, mais la question de savoir comment inciter les inventeurs, innovateurs, entrepreneurs et investisseurs en capital-risque locaux à créer, produire et commercialiser de façon compétitive des réponses africaines aux besoins technologiques du continent.

Déjà, des initiatives privées ont donné naissance à des associations d'inventeurs au Congo, en Côte d'Ivoire, en Égypte, au Kenya, au Maroc, au Sénégal, au Soudan, en République-Unie de Tanzanie, au Zaïre et au Zimbabwe. Particulièrement dynamique, l'Association des inventeurs du Congo encourage la créativité chez les jeunes en organisant des expositions sur les inventions et les innovations et des campagnes d'information destinées au grand public. Néanmoins, il reste encore à nouer des liens de synergie durables avec le secteur productif.

LE FINANCEMENT DE LA RECHERCHE

La R-D est financée en Afrique par quatre sources principales :

- *Les fonds publics* dans le cas des centres de recherche, qui sont dans leur grande majorité des organismes paratatiques dépendant des gouvernements. L'Afrique est de toutes les régions du monde celle où le soutien global apporté à la R-D par les pouvoirs publics est le plus faible, comme cela a déjà été souligné dans le *Rapport mondial sur la science 1993*. Ce soutien constitue néanmoins de loin la principale source de financement de la R-D sur le continent, sauf peut-être dans le secteur agricole (Bhagavan, 1989), comme le montre la répartition des fonds alloués à la R-D en Éthiopie de 1974 à 1984 (tableau 1).
- *Les secteurs d'activité eux-mêmes* par le biais d'une taxe destinée à financer la R-D, comme cela a été fait avec tant de succès pour le sisal, le pyrèthre, le café et le thé. Ainsi, la totalité des fonds utilisés par la Tea Research Foundation of East Africa pour financer la R-D provient d'une taxe acquittée par tous les producteurs de thé, des

TABLEAU 1
FONDS ALLOUÉS À LA R-D EN ÉTHIOPIE PAR L'ÉTAT
ET LES DONATEURS ÉTRANGERS DURANT LA PÉRIODE
1974/1975-1983/1984

Secteur	Budget de la R-D	
	Total (en millions de birr)	Apport des donateurs (en % du total)
Alimentation et agriculture	98,1	53,2
Industrie et technologie	6,7	3,6
Ressources naturelles	49,8	27,0
Santé	16,9	9,2
Construction	5,9	3,2
Éducation et culture	0,7	0,4
Autres	6,2	3,4
Total	184,3	100,0

Source : Bhagavan, 1989.

simples paysans aux propriétaires de plantations, dont les représentants sont pleinement associés à l'élaboration du programme de recherche à tous les stades de la production jusqu'au produit fini et conditionné. Cette approche fondée sur la participation et la résolution des problèmes en fonction de la demande, et l'efficacité du système de commercialisation qui fonctionne depuis un demi-siècle, et notamment de la Bourse aux enchères établie à Mombasa, premier port de la côte orientale, ont fait de l'industrie du thé de l'Afrique de l'Est l'une des plus compétitives sur le marché mondial.

■ *Les donateurs*, par le canal du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et des institutions spécialisées de l'ONU (UNESCO, ONUDI, FAO, OMS, etc.) ; du Fonds OPEP pour le développement international et d'autres organisations régionales d'aide au développement (comme le Fonds arabe pour le développement économique et social) ; des fonds d'assistance technique de la BAfD et de la Banque mondiale ; des institutions d'aide bilatérale de différents pays (telles

que le Centre de recherches pour le développement international (CRDI) canadien, la Japan International Cooperation Agency (JICA) et l'Agence suédoise de coopération scientifique avec les pays en développement (SAREC)) ; des organismes philanthropiques privés (Fondation Rockefeller, Carnegie Corporation of New York, Fondation Nuffield, Fondation Sasakawa) ; et des mécanismes de financement indépendants internationaux mis en place par un certain nombre d'institutions, comme la Fondation internationale pour la science (dans le domaine de l'aquaculture, de l'élevage, de la science des cultures, de la sylviculture et de l'agroforesterie), l'Académie des sciences du Tiers Monde (TWAS) (pour les pièces de rechange, les conférences scientifiques et la coopération Sud-Sud en matière de recherche) et l'Académie africaine des sciences (AAS) (pour le renforcement des capacités dans le domaine de la gestion des sols et des eaux, la recherche en sylviculture et la recherche sur l'éducation des femmes).

■ *Les prêts*, dans le cadre de programmes spécifiques négociés avec la Banque mondiale et la BAfD. Les programmes récents ont porté sur l'enseignement supérieur (Nigéria et Kenya), la R-D agricole (Soudan et Ouganda) et l'amélioration du riz (pays membres de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest, CEDEAO). Ces prêts ont été consentis à des taux d'intérêt extrêmement faibles, d'environ 0,5 % à 1 %, sur 25 à 40 ans, avec une période de franchise de 5 à 10 ans. Compte tenu de l'endettement énorme des pays africains à l'égard de leurs créanciers étrangers, y compris le FMI, ces facilités sont désormais le seul moyen pour eux de réunir des capitaux importants en vue de financer la rénovation de l'infrastructure de R-D, qui s'est considérablement dégradée au cours des deux dernières décennies, et de lancer de nouveaux programmes présentant un intérêt stratégique pour le développement national. Des dons sous forme d'assistance technique, même s'ils sont relativement modestes, seraient néanmoins préférables. De 1974 à 1992, le Fonds africain de développement (FAD), mécanisme de financement à faible taux d'intérêt de la BAfD, a

consenti au total 517,14 millions de FUA (soit environ 6,5 % du montant global des prêts et dons approuvés par la Banque durant cette période) à l'ensemble des États et institutions de R-D de l'Afrique (chaque FUA est équivalent à un droit de tirage spécial (DTR), l'unité de compte du FMI, correspondant à peu près à 1 dollar des États-Unis). Les dons sous forme d'assistance technique ont fortement augmenté à partir du début des années 80 (BAfD, 1993).

Devant la détérioration croissante du financement public de la R-D en Afrique, le désengagement à présent patent des donateurs et la très faible contribution des pouvoirs publics comme du secteur manufacturier à la R-D industrielle, de nouveaux mécanismes plus sûrs de financement de la recherche-développement commencent à se mettre en place à l'intérieur même du continent.

Au niveau national, des fondations subventionnées par l'État sont créées dans plusieurs pays (Ghana, Botswana, Afrique du Sud, etc.) en vue de financer la R-D dans un certain nombre de domaines, et d'assurer le nécessaire renforcement des capacités dans ces domaines. Le Trésor public verse des allocations annuelles à ces fondations nationales, qui sont dans le même temps encouragées à attirer des fonds privés.

A l'échelle du continent, un nouveau fonds de dotation est mis en place sous le nom de Fondation africaine pour la recherche et le développement (African Foundation for Research and Development — AFRAND), dont la charte a été signée lors d'une cérémonie en présence de plusieurs chefs d'État le 22 juillet 1994 à Maputo (Mozambique) durant la deuxième session annuelle du Forum des présidents sur la gestion de la S et T pour le développement en Afrique. Ses organes directeurs ont été depuis institués et elle commencera à fonctionner à son siège à Lilongwe (Malawi) au début de 1996. Son programme de mobilisation des fonds vient d'être lancé : il prévoit une dotation versée en une seule fois par chacun des États africains participants, des dons d'organismes philanthropiques ou d'aide au développement, la constitution d'un fonds de contribution — l'African Millennium Trust Fund, alimenté par tous les partenaires du développement de l'Afrique sur

des bases scientifiques, qu'il s'agisse de personnes privées, d'institutions ou de personnes morales — et des discussions en vue de mettre sur pied un plan d'échange dette/science portant sur un portefeuille de créances extérieures dont la composition sera négociée et fera l'objet d'un accord officiel. La plupart de ces fonds seront prudemment investis sous forme d'une dotation, dont les revenus seront alloués à des programmes prioritaires présentant une importance stratégique pour l'Afrique.

Si l'AFRAND devient réellement opérationnelle et réussit à jouer le rôle qu'elle s'est choisi en tant que principal mécanisme de financement du modèle de développement induit par la science que l'Afrique s'appête à mettre en œuvre, elle aura opéré la percée décisive dont le continent a cruellement besoin. L'AFRAND est de fait l'un des rouages du secteur indépendant en pleine expansion, tout comme les organismes à l'origine des consultations lancées à l'échelle du continent en 1988 qui ont abouti à sa création : l'AAS, la TWAS et le Centre international sur la physiologie et l'écologie des insectes (ICIPE). L'une des forces — et des promesses — de l'AFRAND tient au fait qu'il existe déjà un puissant instrument capable d'assurer de façon continue un environnement géopolitique propice à la R-D et au développement fondé sur la science en Afrique, à savoir le Forum des présidents ; et au fait que les principaux acteurs de l'économie et du développement se trouvent tous directement associés au travail de la Fondation par le biais des trois cellules de réflexion qu'elle se propose de créer — la Table ronde des conseillers scientifiques pour un développement induit par la science en Afrique, la Table ronde des entrepreneurs orientés vers la technologie en Afrique et la Table ronde des chefs de file du renforcement des capacités en Afrique. Un autre atout de l'AFRAND est sa volonté de mobiliser les ressources intellectuelles africaines disséminées dans le monde à travers son programme relatif aux scientifiques et chercheurs africains dans la détresse ou expatriés (Distressed and Expatriate Scientists and Scholars from Africa — DESSA), dont le Forum des présidents a approuvé le plan de mise en œuvre à sa troisième session annuelle, tenue à Kampala du 24 au 25 juillet 1995.

Au niveau international, deux initiatives récentes présentent un intérêt particulier. La première est la création, voici environ cinq ans, par la Banque mondiale, le PNUD et la BAfD, de l'African Capacity Building Foundation, basée à Harare (Zimbabwe). Même si les activités de cette fondation portent essentiellement sur le renforcement des capacités africaines en matière de gestion de l'économie, elles présentent des points de convergence manifestes avec le mandat de l'AFRAN et l'effort général de l'Afrique dans le domaine de la R-D. La deuxième est due à l'UNESCO, qui a institué il y a deux ans, dans le cadre de son programme Priorité Afrique, un Fonds international pour le développement technologique de l'Afrique avec une dotation initiale de un million de dollars des États-Unis, à laquelle s'ajouteront, on l'espère, les contributions d'autres donateurs. L'UNESCO a commencé d'utiliser les revenus de ce fonds pour financer des projets novateurs dans le cadre de son programme de partenariat entre l'université et l'industrie (UNISPAR).

LES POLITIQUES DE LA S ET T

Les politiques adoptées au cours des trois dernières décennies par les États africains en matière de science et de technologie ont largement privilégié le premier de ces deux domaines. On prend peu à peu conscience que ces deux facettes d'une même politique sont en réalité comme « un couple de danseurs exécutant des pas différents bien que rythmés par la même musique » et que la technologie a été livrée à elle-même sans le moindre secours manifeste de la science (Aju, 1994). C'est ainsi que 4 seulement des 25 grands instituts de recherche fédéraux du Nigéria s'occupent de recherche industrielle. Il faut ajouter que même ces centres n'ont exercé qu'une influence minime sur le développement économique du pays, dont le secteur manufacturier reste tributaire de la technologie, des matières premières et des biens de production importés.

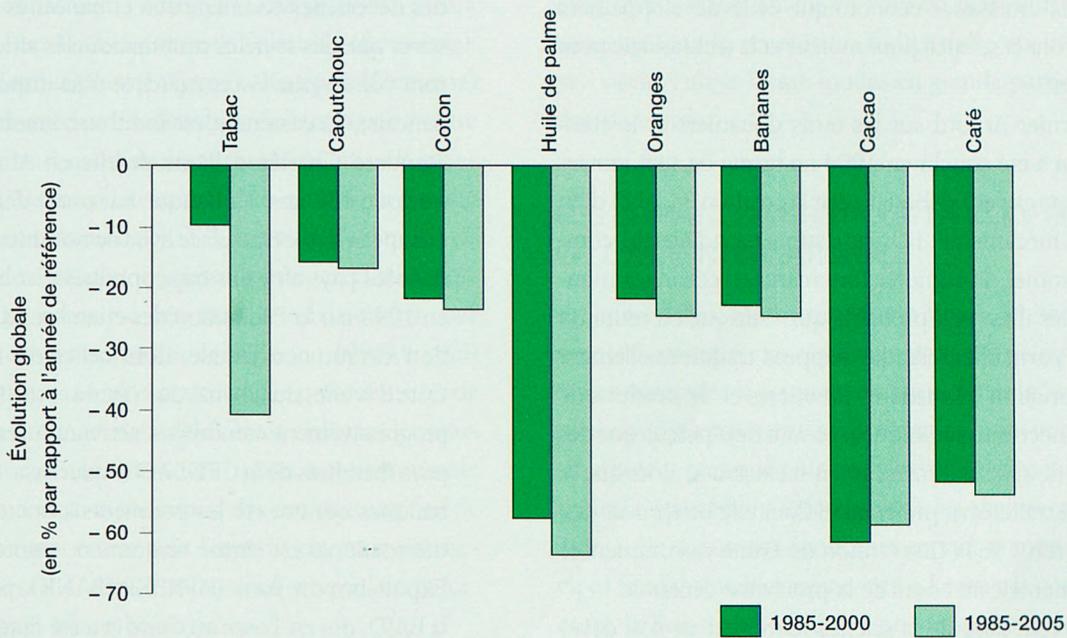
Pour approcher du cœur du problème, on peut même aller jusqu'à dire — c'est du reste une évidence — que les chercheurs et les analystes élaborant les politiques de la S et T africaines n'ont en général aucun lien solide avec les

entreprises (Tiffin et Osotimehin, 1992). Si l'on considère par exemple les pays membres de la Southern African Development Community (SADC), on constate que, bien qu'il existe dans plusieurs d'entre eux un organisme national chargé de la politique de la S et T — le Centre de la technologie au Botswana, le Conseil national de la recherche au Malawi, la Commission pour la science et la technologie en Tanzanie, le Conseil national de la recherche scientifique en Zambie ou le Conseil de la recherche au Zimbabwe, tous placés sous l'autorité d'un ministre, sauf en Zambie où le Conseil est présidé par le Premier Ministre —, il ne semble pas avoir influé sur l'orientation ou le contenu du développement national. Ces organes se contentent de coordonner la recherche, le seul exemple de liens fonctionnels limités avec le secteur productif étant la Zambie, où l'industrie minière finance la recherche et les dépenses d'équipement à l'École des mines de l'Université de Zambie. Tous manquent de compétences et d'expérience en matière de fourniture de services de vulgarisation industrielle, de conseils aux entreprises, de planification stratégique et d'élaboration des budgets, et de choix et d'évaluation des technologies ; et aucun n'a mis sur pied un programme ordinaire d'analyse décisionnelle à micro-niveau aux fins de l'élaboration d'une politique à l'échelle d'un secteur ou d'une usine (Tiffin et Osotimehin, 1992).

Pourtant, l'Afrique doit rompre avec sa dépendance excessive à l'égard des exportations de produits de base. Durant la période comprise entre 1900 et 1986, les cours des denrées alimentaires de première nécessité ont diminué à un taux annuel moyen de 0,35 %, ceux des aliments autres que les boissons de 0,54 % et ceux des produits agricoles non alimentaires de 0,82 % ; de 1950 à 1992, la baisse des cours des denrées alimentaires s'est accélérée pour atteindre 1,3 % par an. Les études prospectives montrent que les cours mondiaux des produits agricoles (fig. 1) vont continuer de baisser en termes réels, encore que ce tableau pourrait être quelque peu modifié par les retombées futures des nouvelles technologies (Valdes et Zietz, 1995).

Dans les pays membres de la SADC, les ressources minérales sont le deuxième pilier de l'économie, l'Afrique

FIGURE 1
ÉVOLUTION PRÉVISIBLE DES COURS MONDIAUX DES PRODUITS AGRICOLES TROPICAUX



Source : Valdes et Zietz, 1995.

du Sud occupant une position dominante dans ce secteur. La région s'est lancée dans la production de fer et d'acier, ainsi que dans la fabrication d'ouvrages en métal et de matériel roulant (Afrique du Sud, Zimbabwe, Zambie et Tanzanie). Mais, comme le reste de l'Afrique, elle n'est pas encore parvenue à articuler un programme d'industrialisation cohérent fondé sur ses ressources naturelles. Les tentatives faites dans ce sens dans le cadre de la Décennie du développement industriel de l'Afrique parrainée par la CENUA et mise en œuvre par l'ONUDI, inaugurée en 1981 et reconduite dix ans après, n'ont guère donné de résultats jusqu'à présent. Le processus d'industrialisation engagé au Maroc, en Égypte, au Kenya, au Zimbabwe et à Maurice s'auto-alimente. Dans le cas de Maurice, il est le fruit d'un ensemble de mesures fortement ciblées concernant la S et T et de la volonté politique de l'État. Au nombre de ces mesures figurent le renforcement des capacités de l'enseignement supérieur dans les seuls domaines ayant un

rapport direct avec le programme d'industrialisation nationale ; la création de zones franches industrielles (ZFI), accompagnée de très fortes mesures d'incitation, dont la prise en charge des travaux d'infrastructure et des exonérations fiscales ; la création de sanctuaires financiers extra-territoriaux, l'exploitation d'entreprises conjointes, en particulier avec les nouvelles sociétés multinationales apparues en Asie dans certaines branches stratégiques du secteur manufacturier ; et un programme visant à diversifier l'économie pour qu'elle ne dépende plus exclusivement de l'exportation de produits de base comme la canne à sucre.

LES TENDANCES DE LA RECHERCHE ET L'AVENIR DE L'AFRIQUE

Ironiquement, le continent africain, bien que riche en ressources naturelles, tant biologiques que minérales, connaît un profond dénuement, alors que des nations et des

sociétés étrangères opérant en Afrique se sont enrichies grâce à ces mêmes ressources. L'Afrique doit donc partir de cette réalité et adopter une approche stratégique, dans laquelle la croissance économique et le développement social auront la science pour moteur et la technologie pour fondement.

Le dernier Accord sur les tarifs douaniers et le commerce qui a été conclu en 1994 au terme de sept années de négociations et a débouché sur la création en 1995 d'un nouveau mécanisme, l'Organisation mondiale du commerce, promet de stimuler fortement les échanges mondiaux. Mais il est peu probable que l'Afrique en retire un avantage particulier, elle qui s'appuie traditionnellement sur l'exportation de matières premières et de produits de première nécessité sur lesquels ne sont déjà perçus que des droits de douane minimes, sinon inexistantes, alors que le régime de traitement préférentiel dont elle bénéficiait jusqu'ici en vertu de la Convention de Lomé va commencer à être démantelé au cours de la prochaine décennie.

Si elle veut faire de la science le moteur de son développement sur la base de ses ressources naturelles de manière que les produits transformés ou manufacturés et les services qu'elle exporte trouvent des débouchés, l'Afrique doit devenir compétitive sur le plan de la production et de la commercialisation en mettant en œuvre cinq mesures au moins :

- Afin de rompre avec sa dépendance traditionnelle à l'égard des produits primaires (agriculture, sylviculture, pêche, exploitations minières), elle doit identifier avec soin des créneaux pour des produits et des services produisant de la valeur ajoutée, et des activités non traditionnelles à forte intensité de savoir.
- Elle doit, en priorité, développer et moderniser considérablement son infrastructure de S et T et en assurer la maintenance de façon efficace et économiquement rationnelle en usant de tous les mécanismes possibles, publics, privés ou mixtes.
- Les gouvernements africains doivent abroger les lois et procédures qui font obstacle à l'investissement des capitaux nationaux, africains et étrangers dans les économies nationales et régionales. C'est seulement lorsque

ces pratiques restrictives auront été définitivement bannies que les dynamiques entreprises domestiques du secteur non structuré et leur épargne se tourneront vers des débouchés commerciaux et bancaires plus organisés et que des sociétés multinationales africaines pourront voir le jour. A cet égard, le plus important réseau bancaire du continent est indubitablement celui de la Standard Chartered Bank, établie en Afrique depuis quelque 130 ans. La Banque nationale de Paris (BNP) occupe la deuxième place avec de nombreuses agences dans les pays africains francophones. Ecobank, fondée en 1990 par la Fédération des chambres de commerce de l'Afrique occidentale, dont celles du Bénin, de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Nigéria et du Togo, devrait progressivement étendre ses activités à l'ensemble des pays membres de la CEDEAO (Sudarkasa, 1993). A ces banques qui ont été les premières à opérer au niveau transnational est venue récemment s'ajouter l'African Export-Import Bank (AFREXIMBANK), parrainée par la BAfD, qui est basée au Caire et a été dotée d'un capital initial de 100 millions de dollars.

- L'Afrique a besoin de diversifier la destination de ses exportations. A l'heure actuelle, les échanges se font pour l'essentiel avec les anciennes métropoles — Belgique, France, Allemagne, Italie, Portugal et Royaume-Uni — et par extension avec l'Union européenne. Depuis l'indépendance politique, les États-Unis sont fortement présents et achètent 20 % des exportations africaines (en 1991), suivis par l'Allemagne. Le Japon commence à devenir un important débouché, mais les échanges commerciaux avec l'ensemble de l'Asie restent limités ; il en est de même de l'Amérique du Sud, de l'Europe de l'Est et de toute la région à cheval entre l'Europe et l'Asie.
- L'Afrique doit développer rapidement ses marchés financiers, qui (à l'exception de la Bourse de Johannesburg) demeurent très fragiles et manquent de liquidité (Sudarkasa, 1993). Alors que plus de 700 sociétés sont cotées à la Bourse de Johannesburg et représentent une capitalisation supérieure à 180 milliards de dollars, les valeurs cotées dans les 12 autres bourses, pour la

plupart de création très récente — celles du Caire (Égypte), de Lagos (Nigéria), Nairobi (Kenya) et Bulawayo (Zimbabwe), et celles, de taille très modeste, de Casablanca (Maroc), Abidjan (Côte d'Ivoire), Accra (Ghana), Port-Louis (Maurice), Gaborone (Botswana), Lusaka (Zambie), Lomé (Togo) et Kampala (Ouganda) — ne totalisent que 6 milliards de dollars, répartis entre un millier seulement de sociétés. Même si ces Bourses des valeurs sont relativement peu actives, la Société financière internationale (SFI), membre du Groupe de la Banque mondiale, les classe parmi les plus performantes du monde : les titres zimbabwéens, par exemple, se sont appréciés de 90 % (en 1990) en dollars par rapport à leur cote de l'année précédente (et de 163 % en monnaie nationale). Il est clair que les marchés financiers africains sont prêts à jouer un rôle important dans la mobilisation des capitaux aux fins de l'investissement et, on peut l'espérer, du préinvestissement dans la R-D dans les secteurs d'activité faisant fortement appel à la technologie.

L'un des principaux domaines dans lesquels ce cadre intégré sera peut-être mis en œuvre est celui qui regroupe tout ce qui touche à la médecine des plantes fondée sur les savoirs traditionnels (Okogun, 1985). En effet, une proportion écrasante (environ 80 %) des soins de santé sont administrés sous cette forme dans les pays en développement (World Resources Institute *et al.*, 1992). De plus, on le sait, les grandes sociétés multinationales étrangères ne s'intéressent pas suffisamment aux maladies tropicales les plus répandues, comme la malaria, la leishmaniose et la trypanosomiase, parce qu'elles jugent le marché africain restreint et peu solvable. Enfin, la riche base de connaissances que constituent les savoirs ancestraux africains n'a pas été exploitée de façon systématique et dans le cadre d'un partenariat organique entre les héritiers traditionnels de ces savoirs et les spécialistes de la chimie analytique et synthétique moderne, les pharmacologues et les médecins, comme cela a été fait en Chine (Eisenberg et Wright, 1995). Si un tel programme voyait le jour, dans le cadre par exemple du programme Pharmacopée africaine parrainé par l'OUA/CRST, ou de la création d'une

entreprise dans le secteur des biotechnologies, il pourrait être le point de départ d'une relance moderne de l'industrialisation de l'Afrique — selon un autre modèle que celui qui prévaut actuellement en Asie ou que celui qui a été inauguré par la révolution industrielle en Europe au XIX^e siècle, l'un et l'autre fondés en grande partie sur l'industrie lourde.

LES DOMAINES MÛRS POUR LA COOPÉRATION OU L'AIDE INTERNATIONALE

En juillet 1993, le Gouvernement suisse, en coopération avec la Conférence des académies suisses, a défini une stratégie concernant la coopération future entre la Suisse et les pays en développement qui pourrait avoir un impact décisif, d'autant plus que l'Afrique y est désignée comme prioritaire (Département fédéral suisse des affaires étrangères, 1993). Ce document énonce un certain nombre de principes fondamentaux devant régir à l'avenir la coopération entre la Suisse et l'Afrique : un programme spécial de recherche en partenariat devrait être mis sur pied ; des efforts seraient faits pour constituer des réseaux, qui permettent de concilier efficacité et économie et sont dans l'intérêt même de la Suisse ; face à la difficulté de mobiliser des fonds suffisants pour permettre aux diplômés africains rentrant dans leur pays de faire de la recherche, on encouragerait l'octroi de subventions à moyen terme pour financer les travaux de tels rapatriés qualifiés ; enfin, des mesures d'incitation seraient adoptées afin de promouvoir les recherches intéressant le développement. Il reste à tester les éléments de cet éventuel nouveau partenariat entre la Suisse et l'Afrique dans le cadre d'un consensus entre les deux parties qui devra être trouvé ; mais ce modèle représente déjà une rupture suffisamment marquée par rapport aux formes d'aide et d'assistance technique classiques pour mériter un examen attentif.

C'est par le biais d'accords de partenariat de ce type, impliquant un engagement à long terme, que la coopération internationale portera ses fruits. Pour commencer, la plupart des préoccupations majeures des responsables du développement en Afrique ne coïncident pas toujours

avec les priorités des pays industrialisés. Ensuite, les problèmes se posent en général sur une très longue durée. Et troisièmement, l'aide au développement classique ayant pratiquement échoué, force est d'envisager, dans le domaine de la S et T, un partenariat et des entreprises conjointes d'un nouveau type, fondés sur des liens de synergie plus étroits — entre pays africains, entre l'ensemble de l'Afrique et les autres régions en développement, entre l'Afrique et les nouveaux pays industrialisés (NPI) du monde entier et entre l'Afrique et les pays industrialisés de longue date.

Il ne nous est pas possible ici d'indiquer autrement que de façon très succincte les domaines qui sont mûrs pour une telle coopération internationale et dans lesquels des capitaux d'amorçage permettraient des avancées décisives sur les grandes priorités. Nous en retiendrons six :

- Les maladies tropicales, notamment celles qui sont dues à des arbovirus jusqu'ici inconnus, comme les virus Ebola et onyong'-nyong', et les grandes maladies transmises par un vecteur, telles que la malaria.
- La reconstitution des sols tropicaux fragiles, et souvent dégradés, qui nécessitent une fertilisation à long terme par un enrichissement progressif en phosphore afin de les préparer à des apports d'azote et d'autres engrais permettant d'améliorer les cultures et la production de fourrage pour le bétail.
- La relative pénurie d'eau douce, liée aux longues périodes de sécheresse qui se répètent tous les dix ans environ et dont l'origine historique et géologique remonte à au moins 60 000 ans — pénurie qui joue également un rôle dans les fréquentes famines, invasions de sauterelles et épidémies que connaît le continent —, exige des mécanismes de gestion des eaux novateurs et respectueux de l'environnement, des méthodes de récolte efficaces et une exploitation rationnelle des petites étendues d'eau comme sources d'énergie hydraulique pour les communautés de taille modeste.
- Une meilleure maîtrise de l'énergie solaire, au-delà de l'utilisation des piles voltaïques classiques.
- Le recours aux biotechnologies pour améliorer la productivité agricole, les soins médicaux et la gestion de

l'environnement, et mettre au point de nouveaux matériaux.

- L'élaboration de nouveaux matériaux permettant l'extension à grande échelle d'établissements humains, ruraux et urbains, économiquement viables, en zone tropicale ou semi-aride.

L'obstacle majeur à une telle coopération internationale est le fait que l'Afrique est un partenaire handicapé par une situation financière fragile. La plupart des gouvernements hésiteront assurément à contracter des engagements à long terme qui risquent de les détourner de leurs obligations présentes envers les programmes de S et T nationaux, ou d'empiéter sur leur souveraineté comme cela a souvent été le cas dans le passé. Il importe donc de forger de nouveaux instruments, peut-être en faisant appel au secteur privé africain.

RÉORIENTATION DE LA RECHERCHE POUR LA DÉFENSE

Alors que le reste du monde se préoccupe de reconvertir ses installations militaires — qu'il s'agisse de la R-D en matière de défense ou de l'industrie de l'armement — en installations civiles, l'Afrique doit faire face à la démilitarisation de la société et à la démobilisation des armées créées durant les guerres civiles dans près de 40 % des États. Les deux seuls États africains ayant un budget de R-D important dans le domaine de la défense sont l'Égypte et l'Afrique du Sud (où l'objectif était de consolider le régime de l'*apartheid* aujourd'hui aboli et discrédité).

Trois ans avant de devenir un pays démocratique (en 1994), l'Afrique du Sud a démantelé son modeste stock d'armes nucléaires et son programme de R-D militaire, juste avant d'adhérer au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires en 1991 (Collina, 1995). Il convient néanmoins de noter que Denel, société d'armement contrôlée par l'État, parcourt le globe à la recherche de nouveaux partenaires en vue de renforcer ses compétences en matière de conception, de mise au point et de fabrication de produits exportables dans le domaine de l'aéronautique, et en particulier d'hélicoptères d'assaut et autre matériel mili-

taire. De fait, des récentes déclarations montrent que l'Afrique du Sud cherche, à travers Armscor, à tripler ses exportations d'armements (Cock, 1994). A cet effet, elle s'efforce d'obtenir la levée de l'embargo décidé par les Nations Unies et de devenir membre du Régime de contrôle de la technologie des missiles (Missile Technology Control Regime).

CONCLUSION

Ce qui frappe avant tout lorsque l'on survole ainsi la situation de la S et T en Afrique, c'est le fait qu'en dépit des troubles civils et de la crise économique dans lesquels est plongé le continent, celui-ci regorge d'initiatives visant à récolter les fruits de la science et de la technologie et à échapper ainsi au désespoir en renouant avec le développement. Il sera intéressant de voir quels succès il remportera dans cette entreprise à l'approche du XXI^e siècle.

Thomas R. Odhiambo est actuellement directeur du Research and Development Forum for Science-Led Development in Africa (RANDFORUM) et président de l'Académie africaine des sciences. Chercheur en biologie se consacrant particulièrement à l'endocrinologie des insectes et à la biologie du développement, il a été nommé en 1970 premier professeur d'entomologie à l'Université de Nairobi. Il a fondé le prestigieux Centre international sur la physiologie et l'écologie des insectes (CIPE) dont il a été le premier directeur, poste qu'il a occupé jusqu'en 1994.

Tout au long de sa brillante carrière, le professeur Odhiambo a reçu de nombreuses distinctions, dont la médaille d'or Albert-Einstein qui lui a été décernée par l'UNESCO en 1991. Il est l'auteur d'un grand nombre de publications sur la recherche scientifique, allant d'ouvrages de vulgarisation pour les enfants à des monographies sur le développement et la politique de la science en Afrique.

BIBLIOGRAPHIE

- Aju, A. 1994. *Industrialisation and technological innovation in an African economy*, Akoka, Regional Centre for Technology Management.
- AUA. 1995. *The university in Africa in the 1990's and beyond*, Actes d'un colloque tenu à l'Université nationale du Lesotho, 16-20 janvier 1995, Manuscrit, Accra, Association des universités africaines.
- BAfD. 1993. *African Development Fund : 20 years of contribution to development in Africa*, Abidjan, Banque africaine de développement.
- Bhagavan, M. R. 1989. *Ethiopia : development of scientific and technological research and SAREC's support 1979-1988*, Stockholm, SAREC (SAREC Documentation, Research Surveys).
- Centre de recherches pour le développement international. 1993. *Towards a science and technology policy for a democratic South Africa*, Johannesburg, IDRC Regional Office for Southern Africa.
- Cock, J. 1994. We must break with our militarized past if we are to prosper, *Business Day*, 18 mai 1994, p. 6.
- Collina, T. Z. 1995. South Africa bridges the gap, *Bull. Atomic Scientists*, vol. 51, 4, p. 30-31.
- Département fédéral suisse des affaires étrangères. 1993. *Swiss strategy for the promotion of research in developing countries*, Berne, Académie suisse des sciences.
- Eisenberg, D. et Wright, T. L. 1995. *Encounters with qi : exploring Chinese medicine*, Londres, W.W. Norton and Company.
- Ellis, G. F. R. 1994. *Science research policy in South Africa : a discussion document*, Le Cap, Royal Society of South Africa.
- International Science Programs. 1995. International Conference on Donor Support to Development-Oriented Research in the Basic Sciences, Uppsala, 15-16 juin 1995, *Declaration and recommendations for action*, Uppsala, Université d'Uppsala.
- Maduemezi, A., Okonkwo, S. N. C. et Okon, E. E. (dir. publ.). 1995. *Science today in Nigeria*, Lagos, Nigeria Academy of Science.
- Odhiambo, T. R. 1983. The natural history of academies of science in Africa, *Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*, série V, vol. 7, 2, p. 99-110.
- Ojwang', J. B. 1989. A regime for protecting inventions and innovations, dans C. Juma et J. B. Ojwang' (dir. publ.), *Innovation and sovereignty*, p. 29-55, Nairobi, African Centre for Technology Studies.
- Okogun, J. I. 1985. Drug protection efforts in Nigeria : medicinal chemistry research and a missing link, Nigerian Academy of Science, Lecture, p. 29-52.
- Sudarkasa, M. E. M. 1993. *The African business handbook : a practical guide to business resources for U.S./Africa trade and investment*, Washington, D.C., 21st Century Africa Inc.
- Tiffin, S. et Osotimehin, F. 1992. *Nouvelles technologies et développement des entreprises en Afrique*, Paris, Centre de développement, Organisation de coopération et de développement économiques.

Valdes, A et Zietz, J. 1995. Distorsions in world food markets in the wake of GATT : evidence and policy implications, *World Development*, vol. 23, 6, p. 913-926.

World Resources Institute, Union mondiale pour la nature et Programme des Nations Unies pour l'environnement. 1992. *Global biodiversity strategy : guidelines for action to save, study and use earth's biotic wealth sustainability*, Washington, D.C., World Resources Institute.

L'Asie du Sud

A. R. RAJESWARI

L'INDE

Tout au long de l'histoire, la pensée scientifique et les idées novatrices en matière de technologie ont fait partie intégrante de la culture de l'Inde et constitué le fondement de sa civilisation. Mais c'est seulement après l'accession du pays à l'indépendance que l'activité scientifique et technologique — grâce à la clairvoyance et au soutien sans réserve des dirigeants indiens — a fait l'objet d'un développement planifié en tant que facteur important de changement social et économique. Cette clairvoyance s'exprime dans une remarque du premier Premier Ministre de l'Inde, Jawaharlal Nehru, qui disait : « Seule la science peut résoudre le problème de la faim et de la pauvreté. L'avenir appartient à la science et aux amis de la science. »

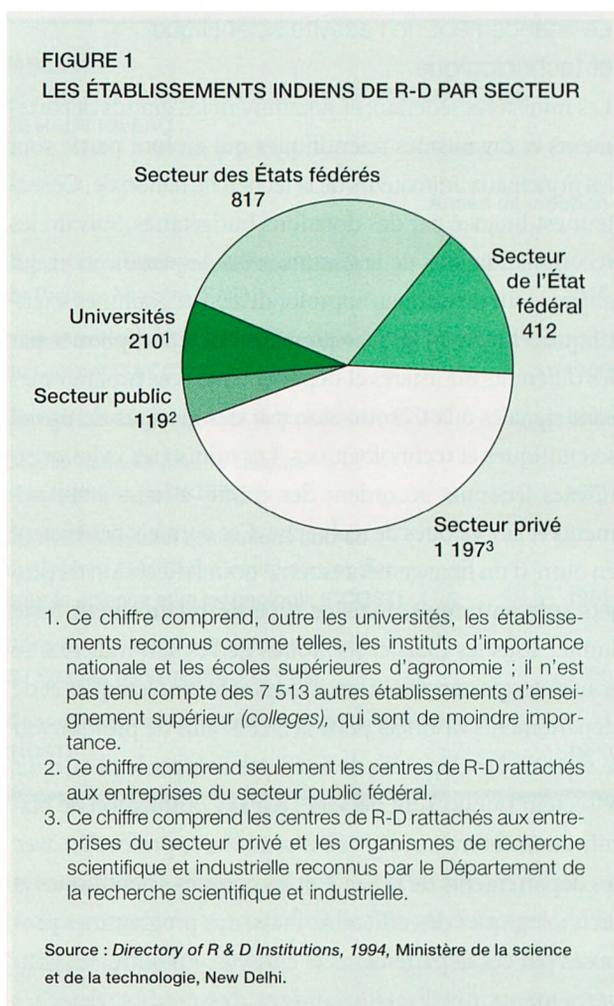
Le système scientifique et technologique

L'activité scientifique et technologique, en Inde, est menée par toute une série d'établissements et de laboratoires que l'on peut rattacher *grosso modo* aux secteurs suivants :

- le gouvernement central (fédéral) ;
- les gouvernements des États fédérés ;
- le système d'enseignement supérieur ;
- les entreprises industrielles publiques et semi-publiques soumises au contrôle administratif du gouvernement fédéral ou du gouvernement d'un État fédéré ;
- les entreprises industrielles du secteur privé ;
- les établissements et associations privés à but non lucratif.

Au total, quelque 2 750 établissements indiens se livrent à des activités de recherche-développement (R-D) ; leur répartition par secteur est indiqué à la figure 1. Le montant des ressources consacrées à l'activité scientifique et technologique et les types d'activité varient selon les secteurs.

En plus de ces établissements, l'Inde possède plusieurs réseaux, systèmes, centres d'information ou centres de documentation importants, tels le Conseil d'information, de prospective et d'évaluation en matière de technologie (Technology Information, Forecasting and Assessment Council), le Centre national d'informatique et le Système



national d'information pour la science et la technologie, qui fournissent des informations scientifiques et techniques et divers services connexes.

La planification de l'activité scientifique et technologique

Il incombe à la Commission de planification d'intégrer la science et la technologie (S et T) dans la planification socio-économique nationale. Les méthodes et les objectifs de la planification en matière de S et T se sont précisés au cours des plans quinquennaux successifs, jusqu'au plan actuel qui est le huitième (1992-1997).

Le financement de l'activité scientifique et technologique

Les ministères fédéraux et notamment les grands départements et organismes scientifiques qui en font partie sont les principaux animateurs de la recherche nationale. Ce secteur est financé par des dotations budgétaires, suivant les recommandations de la Commission de planification qui s'appuie sur un examen approfondi des programmes scientifiques et technologiques préparés ou déjà appliqués par les différents ministères et départements ; ces programmes sont signalés à la Commission par des groupes de travail scientifiques et technologiques. Les ministères et les organismes fédéraux accordent des crédits à leurs établissements et laboratoires de recherche. Ces derniers bénéficient en outre d'un financement externe pour l'exécution de projets subventionnés, mais ce type de financement reste limité. Tous les États et territoires de l'Union indienne se sont dotés de conseils scientifiques et technologiques et de départements distincts pour la S et T, afin de promouvoir la science. Les dépenses de S et T prévues par le plan, dans le secteur public, sont décidées par la Commission de planification centrale après une discussion approfondie, avec les départements de la S et T et les conseils scientifiques et technologiques des différents États, des programmes proposés par ces départements et conseils. En outre, les gouvernements des États accordent des crédits, dans les domaines de l'agriculture, du développement rural, de l'énergie, etc., à des établissements de recherche scientifique et technologique relevant de différents départements. Les dépenses des États prévues par le plan sont couvertes en partie par les ressources des États eux-mêmes et, pour le reste, par l'aide que leur fournit le gouvernement central.

Le financement de l'activité scientifique et technologique menée par les entreprises industrielles du secteur public provient à la fois des sources de financement propres de ces entreprises et des ministères et départements du gouvernement central. Les entreprises industrielles du secteur privé financent elles-mêmes leurs activités de R-D et subventionnent des établissements de recherche à but non lucratif. Le secteur de l'enseignement supérieur bénéficie, en Inde, d'un financement à la fois externe et interne pour

ses activités scientifiques et technologiques. Le financement externe est assuré dans une plus ou moins large mesure par les départements et organismes du gouvernement central qui s'occupent de S et T ; le financement interne de la recherche est assuré par la Commission des bourses universitaires (University Grants Commission), qui relève du Département de l'éducation du Ministère de la mise en valeur des ressources humaines. Le financement externe est réduit : il couvre seulement 2 % du total des dépenses nationales de R-D.

Les financements externes vont surtout au secteur de l'enseignement supérieur, et, dans une moindre mesure, aux laboratoires nationaux ; ils portent sur des projets de recherche subventionnés, approuvés par des comités de haut niveau. L'industrie ne finance presque pas la recherche effectuée dans le secteur de l'enseignement supérieur. Étant donné la faible circulation intersectorielle des fonds destinés à la R-D, la répartition des dépenses de R-D par source et par agent de financement est à peu près la même dans les différents secteurs.

Les dotations budgétaires s'effectuent pour la durée du plan quinquennal et donnent lieu à une vérification annuelle. Une partie d'entre elles sont soumises au plan. Les dotations soumises au plan sont destinées aux activités projetées et, dans tous les cas, aux activités nouvelles ; les dotations hors plan couvrent les salaires, l'entretien et les autres dépenses courantes.

La politique scientifique et technologique

La formulation de la Résolution relative à la politique scientifique de mars 1958 reflète l'importance attachée à la science et à la technologie considérées en elles-mêmes et comme instruments du développement national. Cette résolution avait notamment pour but d'encourager, de promouvoir et de soutenir la recherche scientifique ; d'assurer une offre suffisante de scientifiques de haut niveau, de garantir à leurs travaux la reconnaissance et les récompenses qu'ils méritent ; et, plus généralement, de procurer aux habitants du pays tous les avantages qui peuvent résulter de l'acquisition et de l'application des connaissances scientifiques.

Ayant compris l'importance des choix technologiques dans le contexte économique, social et culturel particulier de l'Inde, le gouvernement a adopté, en janvier 1983, une Déclaration de politique générale en matière de technologie (*Technology Policy Statement*) pour répondre aux besoins précités. Cette déclaration assignait en particulier au pays les objectifs suivants : accéder à l'autonomie en matière de technologie ; utiliser au maximum les ressources nationales ; créer le plus grand nombre possible d'emplois rémunérés ; développer des technologies compétitives sur le plan international ; réduire la demande d'énergie. Cette politique technologique est actuellement révisée à la lumière des changements survenus dans les domaines de l'économie et de l'industrie. L'Inde a adopté en 1986 une nouvelle Politique de l'éducation qui modifie la politique adoptée dans ce domaine en 1968, et qui a pour objectifs d'améliorer le système d'enseignement et de répondre aux besoins de la société en s'adaptant à l'évolution technologique ; de redéfinir les cours et les programmes de l'enseignement supérieur pour mieux satisfaire la demande de spécialisation ; d'augmenter l'aide à la recherche universitaire et de maintenir cette recherche à un niveau élevé ; de développer la recherche interdisciplinaire. En outre, le gouvernement a adopté, en matière d'industrie, de commerce, d'informatique, de logiciels et d'information, des politiques qui, d'une manière ou d'une autre, sont toutes liées aux politiques scientifiques et technologiques indiquées ci-dessus.

Les organismes consultatifs en matière de S et T
 Depuis l'accession de l'Inde à l'indépendance, un certain nombre de comités et autres organismes consultatifs de haut niveau ont été créés pour guider et conseiller le gouvernement en matière de S et T, sur des questions comme la coordination de la recherche, la collaboration internationale, la recherche civile et militaire, pour planifier le développement scientifique et pour surveiller l'application des politiques scientifiques et technologiques en faveur du développement national. On en trouvera la liste dans le tableau 1. Ces comités se composent de hauts fonctionnaires, d'administrateurs, de planificateurs et de person-

**TABLEAU 1
 LES COMITÉS SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES
 DE HAUT NIVEAU**

	Année de création
Comité consultatif scientifique auprès du Premier Ministre (SAC)	1948
Comité consultatif scientifique auprès du Cabinet (SACC)	1956
Comité pour la science et la technologie (COST)	1968
Comité national pour la science et la technologie (NCST)	1971
Comité consultatif scientifique auprès du Cabinet (SACC) et Comité du Cabinet pour la science et la technologie (CCOST)	1981
Conseil consultatif scientifique auprès du Premier Ministre (SAC to PM)	1986
Conseil national de la science et de la technologie (NCST)	1990

nalités éminentes représentant les divers domaines de la S et T.

En outre, des comités consultatifs scientifiques et technologiques et des conseils scientifiques et technologiques ont été créés respectivement au sein des divers ministères fédéraux qui s'occupent d'économie et dans les États fédérés, pour déterminer quels sont les projets et programmes scientifiques et technologiques appropriés et les technologies utiles.

L'enseignement supérieur et le personnel scientifique et technique
 Dès l'accession de l'Inde à l'indépendance, l'existence d'une main-d'œuvre qualifiée est apparue comme une condition préalable essentielle pour mener les activités scientifiques et technologiques nécessaires au développement économique et social du pays. Depuis, divers comités et commissions créés par le gouvernement dans le domaine de

l'éducation ont facilité le développement de l'enseignement universitaire. Leur action a conduit à une augmentation phénoménale du nombre des universités et des *colleges* professionnels dans le pays. Il existe aujourd'hui 210 universités et plus de 7 500 *colleges*, dont environ 6 400 dispensent une formation générale en sciences ou en lettres ; parmi les autres *colleges*, environ 500 sont des écoles d'ingénieurs, 450 des écoles de médecine et 150 des écoles d'agronomie. Il existe en outre environ 900 instituts de technologie reconnus, 300 écoles d'infirmières et un certain nombre d'instituts de formation technique, d'associations professionnelles et autres centres d'enseignement ou de formation extrascolaire, qui produisent des travailleurs qualifiés de niveau moyen.

Le développement des infrastructures de la formation scientifique et technique s'est traduit au cours des années par un accroissement régulier du personnel scientifique et technique disponible dans le pays. Depuis quelques années, environ 1,4 million d'étudiants s'inscrivent chaque année dans les disciplines scientifiques et techniques, comme le montre en détail le tableau 2. Environ 0,2 million d'étudiants, en moyenne, obtiennent chaque année un

diplôme dans ces disciplines ; et l'on estime à plus de 4 millions le nombre total des travailleurs qualifiés dans le domaine de la S et T.

Le développement de l'enseignement supérieur et l'accroissement de la main-d'œuvre qualifiée dans le domaine de la S et T posent certains problèmes. Les capacités de cette main-d'œuvre ne sont pas pleinement utilisées pour augmenter la productivité et l'efficacité des entreprises et pour soutenir le développement économique du pays. Les chômeurs, les travailleurs sous-employés ou mal employés s'ajoutent aux nombreux individus qui ne participent pas à l'activité économique. Il est inquiétant que des scientifiques et des techniciens de talent émigrent en Occident et au Moyen-Orient pour chercher de meilleures possibilités de travail.

En Inde les interactions et la coordination entre le système de la S et T et le secteur de la production sont relativement faibles. C'est pourquoi les résultats de la recherche scientifique effectuée dans les universités, les laboratoires nationaux, les entreprises et autres établissements sont insuffisamment exploités. Il est également reconnu que la qualité de l'enseignement supérieur varie suivant les établissements, à cause du relâchement des normes de l'enseignement et de l'insuffisance du matériel.

Des propositions sont faites actuellement, qui tendent à réorganiser le système indien d'enseignement des sciences et de la technologie pour lui permettre de répondre aux besoins de l'industrie et de l'économie et de relever les défis du XXI^e siècle. Il est prévu de mettre sur pied, dans les universités, un système de communication électronique qui permettrait aux établissements d'enseignement et aux laboratoires nationaux de communiquer entre eux et avec la communauté internationale ; l'utilisation des télécopieurs, du courrier électronique et des bases de données se généralise. Le Conseil panindien pour la formation technique (All-India Council for Technical Education) est officiellement chargé d'assurer la qualité de l'enseignement dans les écoles d'ingénieurs et les instituts de technologie, et de déterminer quels sont les établissements reconnus. Dans le même ordre d'idées, le Conseil national d'évaluation et d'habilitation (National Assessment and Accredita-

TABLEAU 2
NOMBRE D'ÉTUDIANTS EN SCIENCES ET EN TECHNOLOGIE,
1992-1993

Discipline	Hommes	Femmes	Total
Sciences (total)	790 400	377 200	1 167 600
Sciences exactes et naturelles	624 000	318 600	942 600
Médecine	109 700	53 800	163 500
Agronomie	56 700	4 800	61 500
Sciences de l'ingénieur/technologie	214 900	19 200	234 100
Sciences/sciences de l'ingénieur (total)	1 005 300	396 400	1 401 700

Source : University Grants Commission (derniers chiffres disponibles).

tion Council) a été créé pour remplir les fonctions suivantes : évaluer les établissements d'enseignement supérieur et leurs programmes, améliorer le cadre universitaire ainsi que la qualité de l'enseignement et de la recherche, promouvoir les innovations et les réformes, encourager l'auto-évaluation et l'acceptation de responsabilités. Le Conseil est notamment chargé de définir et de réviser les programmes d'enseignement, de réfléchir aux contenus de l'enseignement dans les disciplines nouvelles, d'élaborer de nouvelles méthodes d'enseignement et d'évaluation, d'améliorer les services auxiliaires. La nouvelle politique économique nationale, ainsi que la libéralisation et l'ouverture sur le monde qui en résultent, ajoutent une dimension nouvelle à la réflexion des milieux industriels ; elles devraient constituer de nouveaux défis et amener les étudiants et les enseignants à s'intéresser davantage à la situa-

tion de l'industrie. Certains effets de cette tendance sont déjà évidents.

Les ressources consacrées à la R-D

Le Système national d'information pour la gestion de l'activité scientifique et technologique du Département de la science et de la technologie effectue tous les deux ans une enquête nationale sur les ressources consacrées en Inde aux activités scientifiques et technologiques, et a publié sans interruption depuis 1973 des rapports détaillés sur cette question. Ces rapports sont utilisés et cités par les organismes nationaux et internationaux. Les rapports pour 1992-1993 ont été publiés, et l'enquête sur 1994-1995 est en cours.

Le tableau 3 indique la répartition par secteur des dépenses et des effectifs de la R-D en 1992-1993. Le

TABLEAU 3
DÉPENSES DE R-D ET EFFECTIFS DE LA R-D PAR SECTEUR

Secteur	Dépenses de R-D (millions de roupies)		Effectifs de la R-D au 1 ^{er} avril 1992			
	1992-1993	1993-1994 ¹	Scientifiques et Ingénieurs ²	Personnel auxiliaire ²	Personnel administratif ²	Total ²
Ensemble du pays (total)	51 416	57 334	95 486 (9)	98 202 (7)	99 660 (13)	293 348 (10)
Gouvernement fédéral (total)	38 911	42 724	53 389 (9)	70 028 (7)	59 634 (14)	183 051 (10)
Établissements	33 044	36 012	39 263 (10)	64 433 (7)	56 973 (14)	160 669 (10)
Entreprises industrielles du secteur public	5 867	6 712	14 126 (6)	5 595 (7)	2 661 (11)	22 382 (7)
Gouvernement des États fédérés	4 788	5 611	19 041 (9)	17 549 (6)	31 265 (10)	67 855 (8)
Secteur privé (total)	7 717	8 999	23 056 (9)	10 625 (12)	8 761 (18)	42 442 (11)
Entreprises industrielles du secteur privé	6 871	8 011	20 130 (6)	8 320 (4)	4 811 (11)	33 261 (6)
Instituts de recherche privés à but non lucratif	846	988	2 926 (25)	2 305 (39)	3 950 (25)	9 181 (29)

1. Estimations.

2. Le pourcentage des femmes est indiqué entre parenthèses.

tableau 4 indique la répartition des dépenses nationales de R-D selon les objectifs définis par l'UNESCO. La figure 2 montre l'augmentation progressive des dépenses de R-D dans les différents secteurs. Enfin, la figure 3 indique le pourcentage des dépenses nationales de R-D dans les différents secteurs en 1992-1993.

TABLEAU 4
DÉPENSES NATIONALES DE R-D PAR OBJECTIF, 1992-1993

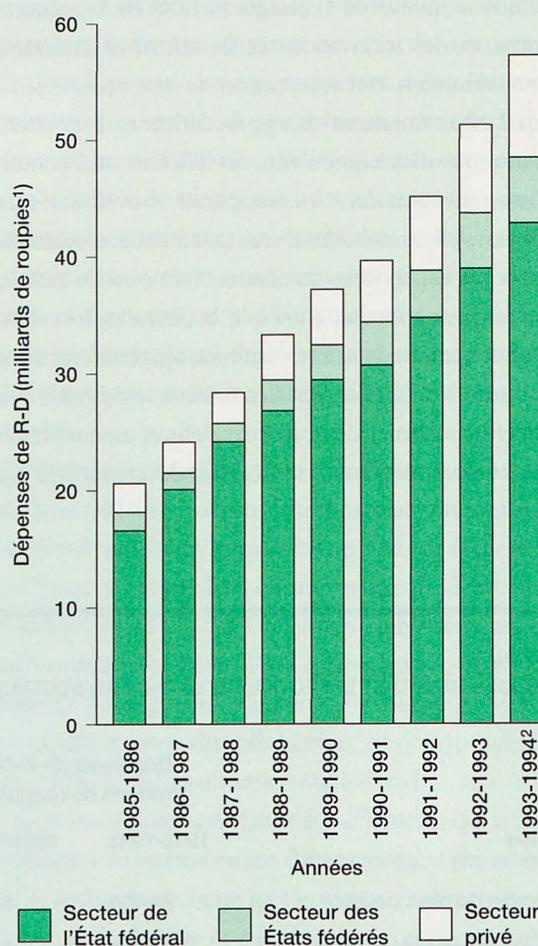
Objectif	%
Défense	19,2
Développement de l'agriculture, de l'exploitation forestière et de la pêche	17,6
Développement industriel	16,4
Espace	9,6
Production, conservation et distribution de l'énergie	7,9
Développement des transports et des communications	6,7
Développement des services de santé	5,5
Progrès général de la connaissance	5,4
Préservation de l'environnement	4,6
Autres	7,1
Total (51,4 milliards de roupies)	100,0

Source : *Research and Development Statistics 1992-93*, Département de la science et de la technologie, New Delhi.

Les réalisations

L'Inde fait aujourd'hui partie du petit nombre des pays en développement qui ont accédé à l'autosuffisance en matière de production vivrière ; elle a fait d'autre part de remarquables progrès pour satisfaire les besoins essentiels, en matière de santé et de logement, de la vaste majorité de ses habitants. Dans le domaine de pointe qu'est la recherche spatiale, l'Inde a lancé avec succès un lanceur de satellites polaires ; puis, en réussissant à mettre sur orbite son satellite IRS-P2, elle est entrée dans le club très fermé des pays capables de placer des satellites de une tonne en orbite polaire héliosynchrone. L'Inde est aujourd'hui en mesure de concevoir, de construire et de lancer ses propres satel-

FIGURE 2
CROISSANCE DES DÉPENSES NATIONALES DE R-D



1. 1 dollar des États-Unis = 26 roupies (1992).
2. Estimations.

Source : *Research and Development Statistics 1992-93*, Département de la science et de la technologie, New Delhi.

lites. Autre réalisation importante : la mise au point d'ordinateurs géants, tel le PARAM 9000 qui peut traiter 2,5 milliards d'opérations flottantes par seconde (« giga-flop »), et dont il existe plusieurs modèles.

Des scientifiques indiens ont réussi à cristalliser l'un des produits naturels les mieux connus du margousier,

l'azadirachtine A, qui possède d'étonnantes propriétés et notamment celle d'inhiber la nutrition chez plus de 200 espèces d'insectes. Pour la première fois, l'Inde a déposé un brevet en génie génétique, pour la production d'un gène extrait des graines mûres d'une pseudo-céréale riche en protéines, l'amarante ; ce gène peut être introduit dans d'autres céréales, dont il augmente la teneur en protéines. De nombreuses technologies ont été élaborées et commercialisées en Inde, par exemple dans les domaines de la pétrochimie, de l'agrochimie, des catalyseurs industriels, de l'industrie alimentaire, de l'industrie pharmaceutique, des matériels et installations techniques, des matériaux de construction ; beaucoup de ces technologies sont également commercialisées à l'étranger.

La collaboration régionale et internationale

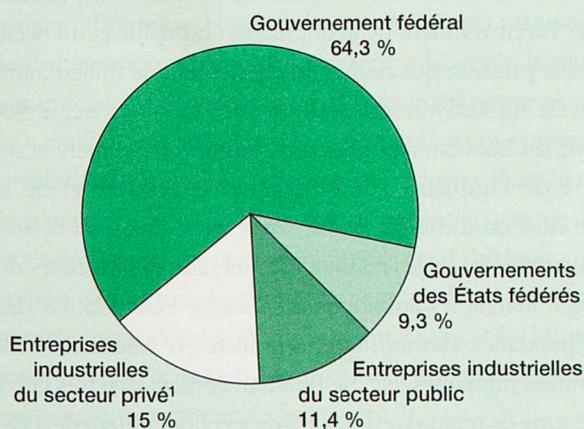
La collaboration actuelle et future de l'Inde avec des pays développés pourrait lui permettre d'acquérir ses propres

savoir-faire dans de nombreux secteurs de pointe, dans des domaines comme la microélectronique, la synthèse des matériaux, la fabrication des instruments de précision, la bio-ingénierie, la gazéification du charbon, la production de combustibles de remplacement. La coopération entre les pays d'Asie du Sud serait utile dans des domaines comme la prospection des eaux souterraines, l'industrie alimentaire, l'exploitation de sources d'énergie nouvelles ou renouvelables, l'industrie du cuir, le traitement de l'information et la documentation, dans le domaine des plantes médicinales, des matériaux de construction peu coûteux, des pesticides, etc.

L'AFGHANISTAN

L'Afghanistan, que l'on appelle souvent le carrefour de l'Asie centrale, a subi de nombreuses invasions au cours de son histoire mouvementée. Il peut être considéré comme un des pays du monde les moins marqués par l'évolution de la science et de la technologie. Il possède une grande variété de minéraux et d'énormes gisements de gaz naturel. L'enseignement supérieur est la composante la moins développée du système d'éducation ; la plupart des établissements d'enseignement supérieur, fondés par d'autres pays, ne répondent pas aux besoins socio-économiques de l'Afghanistan. Une planification insuffisante en matière d'éducation, une pénurie de personnel scientifique et technique, le rôle considérable des spécialistes étrangers, le manque de débouchés pour les scientifiques et les techniciens de haut niveau, l'absence de volonté politique, tous ces facteurs retardent l'apparition des conditions nécessaires au développement scientifique et technologique. Le pays ne dispose pas des biens d'équipement dont il a besoin pour se moderniser ; aussi la coopération internationale, régionale et bilatérale est-elle surtout pour lui le moyen d'acquérir ces biens d'équipement. La succession rapide de périodes d'instabilité politique interne est un autre facteur important qui a limité le développement de la S et T. Il faudrait aujourd'hui à l'Afghanistan un abondant personnel scientifique et technique capable de collaborer à ses programmes axés sur la technologie.

FIGURE 3
DÉPENSES NATIONALES DE R-D, 1992-1993



Total des dépenses : 51,4 milliards de roupies²

1. Y compris les instituts de recherche privés à but non lucratif.
2. 1 dollar des États-Unis = 26 roupies (1992).

Source : Département de la science et de la technologie, New Delhi.

La Commission nationale de la science et de la technologie, créée en 1979 et composée de représentants de différents ministères, est l'organisme chargé de prendre les décisions et d'appliquer les procédures relatives à la coordination des activités scientifiques et technologiques, à la diffusion de la S et T, ainsi qu'au choix et à l'importation de technologies appropriées. Les principaux organismes qui financent ou qui effectuent des recherches sont l'Académie des sciences de l'Afghanistan, le Ministère de l'enseignement supérieur, le Ministère de l'agriculture et le Ministère des ressources minières. Ces organismes font appel à divers centres, instituts ou services spécialisés dans les différentes disciplines scientifiques et techniques. Nous ne disposons pas de statistiques concernant la S et T en Afghanistan, mais il est généralement admis que la R-D y est peu développée.

LE BANGLADESH

Le Bangladesh a commencé à reconnaître officiellement le rôle de la science et de la technologie dans le développement. Il a annoncé en 1983 sa première Politique nationale en matière scientifique et technologique, mais elle n'a pu être appliquée faute de moyens financiers. C'est pourquoi le gouvernement a annoncé une deuxième Politique en 1986. Il a créé le Comité national de la science et de la technologie (NCST), présidé par le Premier Ministre et ayant pour mandat de recommander des politiques nationales et de déterminer des priorités en matière scientifique et technologique, d'approuver les projets et les programmes de recherche appropriés, de proposer des mesures relatives à la coordination des activités de R-D ou à toute autre question connexe. Le Comité exécutif du NCST (ECNCST), qui est dirigé par le ministre chargé du Ministère de la science et de la technologie, surveille l'application des directives et des décisions du NCST.

Il n'y a pas au Bangladesh d'instituts de recherche privés ou rattachés à des entreprises privées. Les principaux organismes de recherche sont la Commission de l'énergie atomique du Bangladesh, le Conseil de la recherche scientifique et industrielle du Bangladesh, les universités, les

laboratoires de recherche ou d'expérimentation, les centres hospitaliers qui sont aussi des centres de recherche médicale, et les services scientifiques auxiliaires ; ces organismes relèvent de douze ministères différents.

La recherche universitaire est très limitée. Environ 95 % des titulaires de doctorats en sciences ou en technologie ont été formés à l'étranger. Peu de doctorats sont décernés au Bangladesh, bien que les universités du pays prétendent avoir mis en place des programmes conduisant à l'obtention de ce diplôme. Le Bangladesh est loin d'avoir acquis une véritable compétence en matière scientifique et technologique. L'insuffisance des crédits affectés à la recherche, le manque de laboratoires, le manque de coordination entre la recherche et l'industrie, le fait que les résultats de la recherche ne soient pas vérifiés dans des usines pilotes, tout cela contribue à maintenir la R-D du Bangladesh à un faible niveau de développement.

LE BHOUTAN

Les efforts du Bhoutan pour moderniser son économie sont récents. Le Bhoutan a porté un intérêt exemplaire aux problèmes écologiques, ce qui lui a permis de garder largement intact son environnement naturel. Mais, soumis par l'accroissement de la population humaine et du bétail à une pression qui augmente rapidement, le milieu naturel est aujourd'hui sérieusement menacé. La stratégie globale du Bhoutan a pour objectif un développement accéléré de l'industrie, de l'exploitation minière et de la production d'énergie, fondé sur le riche potentiel hydroélectrique et sur les ressources minérales et forestières du pays. Malgré les ambitions du Sixième Plan relatif à l'indépendance économique, à la mise en valeur des ressources humaines, etc., le Bhoutan connaît une très grave pénurie de main-d'œuvre qualifiée et notamment de techniciens, son infrastructure institutionnelle reste insuffisante, et il n'y a pas assez d'enseignants diplômés. Le Bhoutan doit recourir à des spécialistes étrangers ou formés à l'étranger ; mis à part un ou deux établissements de recherche en agronomie, il ne possède pour ainsi dire pas d'infrastructure dans le domaine de la S et T ; il n'y a pas

non plus de politique publique ou d'organisme spécialement chargé de prendre des décisions dans ce domaine. Faute de système fiable pour la collecte des informations, la base de données statistiques relatives à la S et T est peu fournie.

LA MONGOLIE

La Mongolie est devenue membre à part entière du Conseil d'assistance économique mutuelle (CAEM) en 1962, et elle l'est restée jusqu'à l'effondrement de cette organisation, en 1990. La rivalité de ses deux grands voisins, la Chine et l'URSS, a hâté la modernisation de la Mongolie en favorisant l'industrialisation, le développement des infrastructures et l'urbanisation. Mais dans le domaine de l'enseignement et de la formation, le pays souffre encore d'un manque de bâtiments, d'équipements et d'enseignants. Et le système d'éducation fait aujourd'hui face à un problème supplémentaire, puisqu'il doit réorienter et former les jeunes dans le contexte d'une économie de marché.

Une nouvelle loi sur les investissements étrangers, destinée à promouvoir le développement de l'industrie lourde et des exportations, est en vigueur depuis le milieu de 1993. Mais dans presque toutes les branches de l'industrie manufacturière, la Mongolie reste largement tributaire des importations. Les ingénieurs mongols jouent le plus souvent un rôle de second plan dans les établissements où ils travaillent, et les techniciens mongols n'ont guère la possibilité d'acquérir les compétences requises. Conscient de la nécessité de réorganiser complètement le système de formation technique et professionnelle pour l'adapter aux besoins nouveaux, le gouvernement a adopté un programme de modernisation de la technologie ; et les Ministères du travail et de l'éducation élaborent actuellement de nouveaux programmes de formation.

LE MYANMAR

Selon des informations publiées en 1976, un comité de ministres, le Conseil directeur de la recherche (Research Policy Direction Board), a été créé au Myanmar en 1965

pour planifier et coordonner l'ensemble des activités scientifiques et technologiques. Bien qu'il n'exerce lui-même aucune activité de gestion, ce conseil est aidé dans sa tâche par un organisme consultatif et un Comité de coordination de la recherche-développement composés de spécialistes des sciences exactes et naturelles, de la technologie et des sciences sociales. Selon des informations publiées en 1986, le Myanmar s'est doté d'une Commission d'État pour la science et la technologie qui est responsable de la politique scientifique et technologique du pays. La Société de recherche du Myanmar, fondée en 1910, encourage les études et la recherche dans les domaines culturel et scientifique. L'Institut de recherche appliquée (qui est un des principaux organismes de recherche) ainsi que trois centres, le Centre d'information technique, le Centre d'instrumentation et le Centre de l'énergie atomique, s'occupent de recherche industrielle et technologique. Le Myanmar possède trois universités où l'on enseigne les sciences et où l'on fait de la recherche scientifique. Il existe en outre des instituts de recherche nationaux gérés par des ministères, comme l'Institut de recherche agronomique et l'Institut de recherche médicale, qui mènent des recherches dans leurs domaines respectifs.

LE NÉPAL

L'enseignement des sciences au niveau universitaire supérieur a commencé au Népal en 1965, après la fondation de la première université du pays en 1959. Un nouveau système d'éducation nationale a été mis en place en 1971. Parmi les laboratoires et les instituts de recherche créés entre 1960 et 1973, on peut citer l'important Centre de recherche en science et en technologie appliquées de l'Université Tribhuvan. Le Conseil national de la science et de la technologie a été créé en 1976, et l'Académie royale des sciences et de la technologie du Népal en 1982. Cette académie est l'équivalent d'un conseil national de la technologie ; il lui incombe de formuler et d'appliquer les politiques et les programmes scientifiques et technologiques, de coordonner et de diriger la recherche scientifique et technologique, de créer des laboratoires natio-

naux, de mettre sur pied un système d'information scientifique et technologique, de faire connaître la science et la technologie.

Le pourcentage du produit intérieur brut (PIB) consacré à la R-D est de l'ordre de 0,13 %, c'est-à-dire un des plus bas de la région Asie du Sud. L'ensemble des crédits budgétaires affectés à la R-D — soit la somme des subventions publiques, des subventions privées et de l'aide étrangère — s'élevait à 2,34 milliards de roupies en 1984-1985. Les effectifs de la S et T, en 1990, comprenaient en tout 34 000 personnes, dont à peine un peu plus de la moitié étaient des ingénieurs. La pénurie de scientifiques et d'ingénieurs serait au Népal d'environ 20 %.

LE PAKISTAN

Depuis quelques années, les dirigeants et les planificateurs pakistanais comprennent toute l'importance de la science et de la technologie et leur donnent la place qui leur revient. Le Ministère de la science et de la technologie (MOST), qui est au sein du gouvernement fédéral le principal organisme chargé du développement scientifique et technologique, a formulé une Politique nationale en matière de S et T qui a été approuvée en mars 1984. Un Plan d'action scientifique et technologique pour l'application de cette politique a été approuvé en 1985. La Politique nationale en matière de S et T a pour but de fonder sur des bases solides un système scientifique et technologique efficace, afin de réduire les importations de technologies ; elle a d'autre part pour but d'orienter le système scientifique et technologique vers la réalisation des objectifs nationaux. Elle porte sur l'organisation et la structure de la S et T, sur la recherche universitaire, le développement de la technologie, le personnel scientifique et technique, la diffusion de la S et T dans la société, la collaboration internationale, le financement des programmes scientifiques et technologiques.

La préparation du Deuxième Plan perspectif (1988-2003) a été marquée par les événements de la vie politique intérieure et internationale, par les innovations technologiques et le développement spectaculaire des connaissances. Le Septième Plan quinquennal (1988-1993) a mis

l'accent sur la nécessité de renforcer les établissements de R-D existants pour répondre de façon appropriée aux exigences du développement national en intégrant la S et T dans les plans de développement nationaux, sur l'extension des programmes de mise en valeur de la main-d'œuvre, etc.

Le principal obstacle qui empêche le Pakistan de mettre à profit les progrès de la S et T pour se développer, ce n'est pas le manque de crédits ou d'installations et d'appareils perfectionnés, mais la pénurie de personnel qualifié et formé, pénurie qui atteint presque le seuil critique dans les universités, dans les établissements de R-D, dans les secteurs de l'industrie et de l'agriculture. C'est pourquoi le MOST a lancé en 1985 un Programme de mise en valeur des ressources humaines, dont le but était de dispenser aux techniciens pakistanais une formation de haut niveau aux nouvelles technologies, afin de relever le potentiel scientifique et technologique du pays et de le doter d'une masse critique de travailleurs hautement qualifiés. Il est proposé, pour encourager la recherche universitaire, de rétablir un Conseil des études supérieures et de la recherche (Board of Advanced Studies and Research) dans chaque université, de développer les bibliothèques, les centres de documentation et les laboratoires, de renforcer la formation supérieure, d'affecter des fonds distincts à la R-D, etc.

Le Septième Plan quinquennal a affecté 7,04 milliards de roupies au développement scientifique et technologique (alors que le Sixième Plan lui avait consacré 5,8 milliards) ; le tableau 5 indique la répartition de ces crédits. En 1987-1988, le pourcentage du PNB consacré à la R-D était de 0,42 %.

La Politique nationale en matière de technologie (NTP) et le Plan d'action pour le développement de la technologie ont été annoncés en novembre 1993. La NTP a pour but d'optimiser le développement axé sur la technologie en s'appuyant sur l'infrastructure scientifique existante, alors que le Plan d'action met l'accent sur des mesures et des projets spécifiques destinés à réaliser les objectifs de la NTP.

L'activité scientifique et technologique, au Pakistan, est actuellement organisée de la façon suivante. Le principal

TABLEAU 5
RÉPARTITION PAR SECTEUR DES CRÉDITS AFFECTÉS
À LA S ET T PAR LE GOUVERNEMENT FÉDÉRAL
DU PAKISTAN, 1988-1993

Secteur	Total des dépenses (millions de roupies)	Dépenses de S et T
Agriculture	9 511	1 439
Industrie	7 278	804
Mines	5 232	260
Eau	19 224	124
Énergie		
Électricité	89 347	757
Combustibles	34 100	—
Transports et communications	52 074	294
Aménagement du territoire et logement	2 640	20
Éducation, science et technologie	11 153	3 260
Santé	3 073	84
Action sociale et culturelle	14 665	—
Total	248 297	7 042

— Données non disponibles.

Source : Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology (APCTT), 1991.

organisme chargé de prendre des décisions dans ce domaine, de planifier et de coordonner l'activité scientifique et technologique, est le Ministère de la science et de la technologie, qui est relié à deux importantes organisations indépendantes, le Conseil pakistanais de la science et de la technologie (PCST) et la Fondation pakistanaise pour la science (PSF). Le PCST a pour principales fonctions de conseiller le gouvernement en matière de politique scientifique ou d'aide à l'activité scientifique nationale ; d'examiner l'activité des conseils de recherche ; de s'assurer que l'activité scientifique est liée aux plans de développement national. La PSF est essentiellement un organisme de financement qui subventionne la recherche fondamentale.

La recherche scientifique et technologique s'effectue en grande partie dans les organismes suivants :

- établissements autonomes ou semi-autonomes reliés sur le plan administratif à des ministères fédéraux ou au Secrétariat du Premier Ministre ;
- instituts et stations scientifiques et technologiques relevant du gouvernement fédéral ou du gouvernement d'un État fédéré ;
- petits centres de recherche rattachés à des entreprises publiques ou privées.

En 1990, les effectifs de la R-D comprenaient en tout 16 000 personnes, dont 6 626 scientifiques et ingénieurs répartis comme suit dans les différentes disciplines : 2 558 en sciences exactes et naturelles, 2 409 en agronomie, 1 277 en technologie, 315 en médecine et 67 en sciences sociales.

SRI LANKA

Bien que 89 % de la population adulte de Sri Lanka soit alphabétisée, l'engagement marqué des autorités en faveur de l'éducation ne s'étend que depuis quelques années à la science et à la technologie, dont l'importance essentielle pour le développement est désormais reconnue. L'Office des ressources naturelles, de l'énergie et de la science (Natural Resources, Energy and Science Authority, NARESA), créé en 1981, qui a remplacé officiellement le Conseil national des sciences de Sri Lanka datant de 1968, peut être considéré comme l'organisme technologique national auquel il appartient de conseiller le ministre compétent en matière de politique scientifique.

La NARESA est un des principaux organismes qui financent la recherche scientifique au Sri Lanka. Elle jouit d'une position mieux assurée que par le passé puisqu'elle relève à présent d'un ministère dont le titulaire siège au Cabinet, le Ministère de la science, de la technologie et de la mise en valeur des ressources humaines.

La politique nationale de Sri Lanka en matière de S et T comprend essentiellement quatre volets : elle consiste à organiser les efforts consacrés à la R-D en fonction des ressources disponibles et des besoins futurs, à déterminer les priorités de la recherche nationale, à privilégier la compétitivité industrielle, à soutenir la recherche à moyen et à long

terme dans les secteurs de pointe. Les autorités de Sri Lanka ont récemment révisé la politique scientifique du pays.

Il n'y a pas d'organisme central qui soit chargé de proposer des mécanismes pour le transfert des technologies et d'en surveiller le fonctionnement ; mais le Centre national de recherche-développement technologique et l'Institut de recherche scientifique et industrielle s'emploient à faciliter ces transferts.

Les universités ont très peu d'argent pour la recherche. La NARESA accorde des bourses aux chercheurs et négocie l'attribution de bourses étrangères aux universités de Sri Lanka. Elle gère d'autre part les bourses accordées à des instituts de recherche relevant d'autres ministères.

En raison de la réglementation financière et des contraintes budgétaires auxquelles le pays est soumis, seu-

lement 0,13 % du PIB a été consacré à la R-D en 1990, alors que ce pourcentage avait été de 0,18-0,19 % pendant toutes les années 80. Les instituts d'agronomie ont la priorité en matière de recherche. Environ 11 % du total des dépenses de R-D sont couverts par des fonds provenant de l'étranger.

CONCLUSION

Les communautés scientifiques d'Asie du Sud ont en commun un certain nombre de problèmes et de difficultés, dont la gravité varie selon les pays. Les possibilités de recherche sont généralement insuffisantes et les chercheurs jouissent d'un prestige social et de revenus relativement faibles par rapport aux autres professions. Les travailleurs

TABLEAU 6
DONNÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES RELATIVES AUX PAYS D'ASIE DU SUD

	Afghanistan	Bangladesh	Bhoutan	Inde	Mongolie	Myanmar	Népal	Pakistan	Sri Lanka
Population en milieu d'année									
1992 (millions d'habitants)	19,1	119,3	1,6	870,0	2,3	43,7	20,6	119,1	17,4
PIB en prix courants (millions de dollars des États-Unis) (1992)	11 495	23 783	238	242 269	966	37 749	2 763	41 904	8 769
Taux d'alphabétisation des adultes (en % d'individus âgés de 15 ans et plus) (1992)									
Total	32	37	41	50 ¹	—	82	37	36	89
Hommes	48	49	55	64 ¹	—	90	39	49	94
Femmes	15	23	26	35 ¹	—	72	14	22	85
Pourcentage du PNB consacré à l'éducation²									
(1988)	4	2,3	3,4	3,7	8,5	2,4	2,0	2,7	3,3
(1992)			(1988)	(1992)	(1991)	(1989)	(1991)	(1991)	(1993)
Nombre d'étudiants de l'enseignement supérieur²									
(1990)	24 333	434 309	422	4 804 500	28 209	260 200	110 339	721 600	61 628
		(1990)	(1986)	(1992-1993)	(1991)	(1991-1993)	(1991)	(1992-1993)	(1988)

— Données non disponibles.

1. Individus âgés de 7 ans et plus.

2. L'année de référence est indiquée entre parenthèses.

Source : *Annuaire statistique de l'UNESCO 1994* ; *Rapport sur le développement humain, 1994*, PNUD ; *The World of Learning, 1994*, Association des universités indiennes (pour les statistiques relatives à l'Inde) ; *Rapport sur les pays les moins avancés, 1993-1994*, CNUCED ; *World Bank Country Study, 1989*, pour le Bhoutan ; *Rapport sur le développement dans le monde, 1994*, Banque mondiale.

qualifiés ou formés ne sont pas assez nombreux mais, paradoxalement, ils sont souvent sous-employés, et les autorités ont tendance à dévaloriser le personnel scientifique et technique national en faisant trop largement appel à des « experts étrangers ». Une partie des scientifiques sont insuffisamment formés à certaines techniques et souffrent des limites imposées à la liberté de la recherche. Il n'est donc pas étonnant que l'exode des cerveaux soit un problème primordial dans les pays de la région. L'engagement

politique en faveur de la S et T n'est souvent pas très profond ; il en résulte une mauvaise planification de l'activité scientifique et technologique et une mauvaise coordination avec les autres secteurs. La R-D industrielle est presque inexistante dans les entreprises privées d'Asie du Sud ; et comme les politiques industrielles voient essentiellement dans la R-D une activité qui contribue à la production, les entreprises ne consacrent aux innovations technologiques que des ressources et des efforts limités.

TABEAU 7
NOMBRE D'ÉTUDIANTS EN SCIENCES ET EN TECHNOLOGIE EN ASIE DU SUD

Pays ¹		Sciences exactes et naturelles			Sciences total	Sciences de l'ingénieur ²	Sciences et sciences de l'ingénieur ²
			Médecine	Agronomie		total	total
Afghanistan (1990)	Total	1 237	655	1 256	3 148	504	3 652
	Femmes	666	286	307	1 259	183	1 422
Bangladesh (1990)	Total	83 026	7 641	4 175	94 842	6 126	100 968
	Femmes	13 791	2 087	291	16 169	300	16 469
Bhoutan	Total	—	—	—	—	—	—
	Femmes	—	—	—	—	—	—
Inde (1992-1993)	Total	942 600	163 500	61 500	1 167 600	234 100	1 401 700
	Femmes	318 600	53 800	4 800	377 200	19 200	396 400
Mongolie (1986)	Total	1 102	5 899	5 788	12 789	12 803	25 592
	Femmes	715	5 190	2 744	8 649	5 465	14 114
Myanmar	Total	—	—	—	—	—	—
	Femmes	—	—	—	—	—	—
Népal (1991)	Total	12 113	1 777	1 175	15 065	2 268	17 333
	Femmes	1 565	921	111	2 597	196	2 793
Pakistan (1989)	Total	28 663	48 482	17 380	94 525	66 473	160 998
	Femmes	6 523	16 360	253	23 136	1 453	24 589
Sri Lanka (1991)	Total	8 594	4 787	2 095	15 476	6 853	22 329
	Femmes	2 239	1 867	878	4 984	1 162	6 146

— Données non disponibles.

1. L'année de référence est indiquée entre parenthèses.

2. La technologie est comprise dans les sciences de l'ingénieur.

Source : *Annuaire statistique de l'UNESCO 1994* ; University Grants Commission (pour l'Inde).

TABLEAU 8
DIVERSES INSTITUTIONS EN ASIE DU SUD

Pays	Académies	Sociétés savantes	Instituts de recherche	Universités	Collèges	Bibliothèques/ Archives	Musées
Afghanistan	1	2	2	5	23	6	7
Bangladesh	1	15	11	7	163	11	3
Bhoutan	1 ¹	—	—	1	7	2	1
Inde	12	400	2 545	210	7 513	885 ²	50
Mongolie	1	—	67	4	6	4	9
Myanmar	—	7	9	3	36	25	7
Népal	2	5	—	3	—	9	1
Pakistan	3	49	54	23	774	51	13
Sri Lanka	1	23	23	10	8	15	10

— Données non disponibles.

1. Commission spéciale.

2. Établissements répertoriés dans le *National Union Catalogue of Scientific Institutions* (850 bibliothèques + 35 dépôts d'archives).

Source : *The World of Learning*, 1994, Association des universités indiennes ; DST, 1993.

TABLEAU 9
PERSONNEL ENGAGÉ DANS LA R-D EN ASIE DU SUD

Pays	Année	Total (EPT ¹)	Scientifiques et ingénieurs		Techniciens	
			Total	Femmes	Total	Femmes
Inde	1992	193 688	95 486	8 490	98 202	7 096
Myanmar	1975	2 220	1 720	—	500	—
Népal	1980	409	334	—	75	—
Pakistan	1990	15 940	6 626	464	9 314	—
Sri Lanka	1985	3 483	2 790	667	693	188

Notes : Données non disponibles pour l'Afghanistan, le Bangladesh, le Bhoutan et la Mongolie.

— Données non disponibles.

1. EPT : Équivalent plein temps.

Source : *Annuaire statistique de l'UNESCO 1994* ; DST, 1992-1993b (pour l'Inde).

Les tableaux 6 à 9 présentent les données les plus récentes dont nous disposons sur la situation socio-économique et sur l'activité scientifique et technologique des pays étudiés dans ce chapitre. L'absence, dans certains États, de mécanismes de collecte des informations explique que la qualité et la quantité des données disponibles ne soient pas toujours satisfaisantes.

Les chercheurs de la région travaillent notamment dans les domaines suivants : la prospection des eaux souterraines, l'industrie alimentaire, les sources d'énergie nouvelles ou renouvelables, les matériaux de construction peu coûteux, les plantes médicinales, les biotechnologies, l'environnement et la pollution, la télédétection, les réseaux d'information, le traitement de l'information et la documentation.

Il faut manifestement instaurer une coopération régionale pour que les pays de la région puissent mettre en commun leur expérience du développement technologique et de l'industrialisation. Cette coopération pourrait s'exercer en particulier dans les domaines suivants : la coordination des recherches à long terme dans les domaines d'importance stratégique ; la création de réseaux informatiques et de réseaux d'information ; la mise en commun, au niveau universitaire, des moyens d'enseignement et de formation scientifique et technique, ainsi que des connaissances pédagogiques ; la définition d'une politique régionale de coopération bilatérale et multilatérale.

A. R. Rajeswari est conseillère auprès du Département de la science et de la technologie du Gouvernement indien. Mathématicienne et statisticienne de formation, elle a enseigné à l'Université de Bombay et au National Institute for Training in Industrial Engineering, avant de travailler pour la Minerals and Metals Trading Corporation. En 1976, A. R. Rajeswari a été nommée administrateur général au Département de la science et de la technologie, à New Delhi ; elle a successivement occupé les postes de directrice, de coconseillère et, à partir de 1993, de conseillère auprès du Département. En cette dernière qualité, elle est chargée de la publication périodique de répertoires et de rapports officiels sur l'activité scientifique et technologique en Inde. Par ailleurs, elle est à titre personnel l'auteur de nombreuses publications et a travaillé comme consultante auprès de l'UNESCO, de l'ONUDI et de la Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique (CESAP).

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie le Département de la science et de la technologie du Gouvernement indien de l'avoir autorisée à écrire ce chapitre. Elle exprime également sa reconnaissance à G. J. Samathanam, qui a collaboré à la collecte des données et aux recherches bibliographiques.

Les opinions exprimées dans ce chapitre sont celles de l'auteur, non pas nécessairement celles du Département de la science et de la technologie.

BIBLIOGRAPHIE

- Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology. 1988. *Technology policies and planning, Nepal*, Country Study Series, New Delhi, APCTT.
- . 1991. *Technology policy studies - Pakistan*, 2^e éd., Country Study Series, New Delhi, APCTT.
- CSIR. 1994. *Status report on S & T in India*, New Delhi, CSIR.
- Cunningham, P. et Barker, B. (dir. publ.). 1992. *World technology policies*, Londres et Harlow, Longman.
- Département de la science et de la technologie. 1992-1993a. *Research and development in industry*, New Delhi, Gouvernement indien, DST.
- . 1992-1993b. *Research and development statistics*, New Delhi, Gouvernement indien, DST.
- . 1993. *Science and technology pocket data book*, New Delhi, Gouvernement indien, DST.
- . 1994. *Directory of R & D institutions*, New Delhi, Gouvernement indien, DST.
- The Economist Intelligence United Ltd. 1993 et 1994. *EIU country profile 1993/94 et 1994/95*, Londres EIU.
- Fuller, S. C. (dir. publ.). 1976. *Guide to world science*, 2^e éd., vol. 15, South East Asia, Guernesey, Francis Hodgson.
- Gopal, D. et Qureshi, M. 1987. *Science, technology and development in Afghanistan*, New Delhi, Navrang Publication.

L'Iran

CYRUS YEGANEH

A l'ère islamique comme dans la période qui l'a précédée, la culture et la civilisation de l'Iran ont fait montre de grandes affinités avec la science, la technologie et le développement tout en adhérant à des idéaux spirituels et moraux très élevés. Le progrès scientifique et technique a trouvé des bases extrêmement solides dans la civilisation iranienne, en particulier durant la période islamique où des géants tels qu'Avicenne, Razi, Kharazmi, Khayyam, Suhrawardi et Rumi permirent à la Perse de briller d'un éclat particulier dans le monde de l'époque.

Au cours des siècles qui suivirent, l'adage du saint Prophète, « Recherche la science, fût-ce [aussi loin qu'] en Chine » exclut toute contradiction entre la religion et la science. L'Iran islamique est donc demeuré fortement attaché à l'étude des sciences, disciplines dans lesquelles un certain nombre des siens ont fait preuve de très grandes aptitudes et remporté des succès éclatants. Néanmoins, les résultats laissent encore beaucoup à désirer, du fait de l'absence en Iran, aux siècles derniers, des institutions, des structures et de l'organisation sociale indispensables à la science moderne. La reconstruction progressive entreprise au ^{xx}e siècle afin de mettre en place des structures et des formes d'organisation modernes a été retardée par les deux guerres mondiales, l'intervention de puissances extérieures, les violences internes et les troubles sociaux. A l'heure actuelle, les forces économiques qui ont été ailleurs le moteur du progrès scientifique et technique sont en train d'émerger en Iran, mais il reste encore beaucoup de chemin à parcourir avant que le potentiel de la société soit pleinement exploité dans ce domaine. En attendant, l'« exode des compétences » n'est qu'un effet de cette situation.

Malgré la richesse et la diversité des ressources naturelles et l'attitude généralement favorable de la population à l'égard de la science, la plupart des entreprises iraniennes ne semblent guère s'intéresser à la science et à la recherche. La relative faiblesse de l'économie, due essentiellement à une dépendance excessive à l'égard des exportations de pétrole et à l'état d'esprit qui prévaut dans le pays, est le principal obstacle structurel empêchant un développement de la science et de la technologie comparable à celui que connaissent les pays industrialisés. Très rares sont les

Iraniens, même d'un haut niveau d'instruction, qui ont une vision réaliste des revenus pétroliers annuels du pays. Ces revenus s'élèvent à 14 milliards de dollars des États-Unis, montant qui peut sembler impressionnant, mais qui, dans la pratique, ne représente qu'un revenu annuel par habitant relativement modeste de 150 dollars. Quant au chiffre global, c'est l'équivalent du chiffre d'affaires brut d'une entreprise de taille moyenne dans bien d'autres pays — bien en deçà de celui de la plupart des grosses entreprises comme Sony, Walmart ou Gulf dont les ventes annuelles se chiffrent respectivement à 33, 44 et 150 milliards de dollars.

La valeur annuelle totale des importations est actuellement de 20 milliards de dollars, et celle des exportations autres que le pétrole de 4,4 milliards de dollars. Du fait de l'évasion des capitaux, 1,1 milliard de dollars seulement sont réinjectés dans l'économie nationale. Le montant de la dette étrangère atteint à l'heure actuelle 6 milliards de dollars. Parmi les autres produits exportés figurent les tapis, la pistache, le fer et l'acier, les produits chimiques, le cuivre et les peaux. Le revenu par habitant n'excédant pas 1 000 dollars, l'État subventionne lourdement les biens et les services et dépense 3,5 milliards de dollars pour importer 30 produits de première nécessité, dont l'huile de table, le riz et le sucre (à l'achat desquels il consacre respectivement 560, 308 et 270 millions de dollars).

Il n'est pas une seule branche importante de l'industrie qui ne soit aux mains de l'État, de sorte que l'économie iranienne est l'une des plus fortement centralisées de la planète. En conséquence, la plupart des entreprises ne sont pas organisées et gérées avec la rigueur qui est de règle dans le reste du monde ; la motivation et la discipline de leurs employés laissent également à désirer. L'économie est caractérisée par la rareté et le monopole, et la faible qualité des biens et des services. Dans leur majorité, les entreprises ne sont donc pas incitées à faire de la recherche-développement (R-D), d'où une faible productivité et un cercle vicieux : faible pouvoir d'achat, production insuffisante sur le plan qualitatif et quantitatif, dépendance à l'égard de l'État pour l'achat des biens de première nécessité, absence d'incitations à plus d'efficacité.

LA POLITIQUE SCIENTIFIQUE DU GOUVERNEMENT

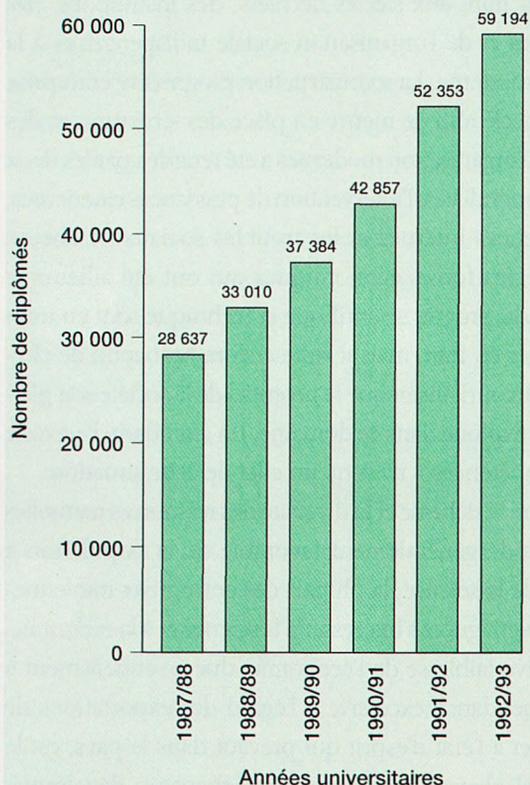
Les principales institutions responsables de l'activité scientifique en Iran sont les suivantes :

- Le Secrétariat de la recherche du Ministère de la culture et de l'enseignement supérieur est chargé de la direction et de la coordination globale de la recherche dans 55 universités et 10 centres de recherche associés. Le Ministère de la santé, des soins et de l'enseignement médical contrôle 5 facultés de médecine.
- Le Secrétariat de la technologie du Ministère de la culture et de l'enseignement supérieur, créé tout récemment, exerce sa tutelle sur la principale institution de recherche, l'Organisation iranienne pour la recherche et la technologie, dont les huit départements s'occupent essentiellement de recherche appliquée et de développement expérimental jusqu'au stade de la production semi-industrielle, y compris dans le domaine des biotechnologies et de la mécanique.
- Le Conseil national de la recherche est le principal organisme chargé de superviser la politique de la recherche. Il dépend du cabinet du Président de la République et se compose de sept commissions responsables de l'industrie, de l'agriculture, de l'eau, de l'énergie, des sciences exactes et naturelles, des sciences sociales et humaines, et de la médecine, chacune coordonnant la politique de la recherche au sein des départements de la recherche des ministères compétents, ainsi que des universités et des centres de recherche concernés.

Le Deuxième Plan quinquennal de développement économique, social et culturel (en cours d'exécution) comporte un certain nombre de mesures adoptées par le Conseil national de la recherche, concernant notamment l'appui à apporter à court et moyen terme au secteur de la recherche, l'encouragement de l'investissement public et privé dans ce secteur, l'aide aux centres de recherche publics et privés, la création d'unités de R-D dans l'industrie et une meilleure utilisation des résultats de la recherche. Des efforts sont faits en vue de l'établissement en Iran de centres de recherche régionaux et internationaux.

La politique mise en œuvre durant le Premier Plan quinquennal visait à développer les universités, en donnant à chaque province les moyens d'en accueillir au moins une. Dans le cadre du Deuxième Plan, priorité est donnée à l'amélioration qualitative de l'enseignement supérieur ; à cet effet, il est demandé au Ministère de la culture et de l'enseignement supérieur de recruter 10 000 nouveaux maîtres assistants et maîtres de conférences. Les universités commencent à envisager des contrats de recherche avec des entreprises publiques et privées, mais les choses évoluent lentement.

FIGURE 1
NOMBRE DE DIPLÔMÉS DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR, 1987-1993



Source : Ministère de la culture et de l'enseignement supérieur, 1994.

LES RESSOURCES HUMAINES ET LES DÉPENSES DE R-D

Les statistiques relatives aux diplômés de l'enseignement supérieur révèlent des progrès réguliers depuis quelques années (figure 1). Le tableau 1 présente les données par discipline pour l'année universitaire 1992/93. Il y a lieu de noter le très faible nombre de femmes diplômées en sciences de l'ingénieur et en agriculture ; leur forte représentation en médecine s'explique sans doute en partie par le fait que cette rubrique recouvre également les formations au métier d'infirmière et autres professions paramédicales.

Le tableau 2 indique l'effectif du personnel engagé dans des activités de recherche et de développement en Iran en 1993. Il est significatif que sur 39 311 chercheurs au total, 25 188 travaillent dans les universités et 14 123 dans le secteur non universitaire ; par comparaison, on recense en Allemagne 296 510 chercheurs dans le secteur productif, 69 667 dans l'enseignement supérieur et 60 269 dans l'ensemble du secteur des services. En Belgique, les chiffres sont respectivement de 25 515, 11 846 et 1 412, et au Japon de 563 018, 264 055 et 82 978 (UNESCO, 1994a). La séparation entre le secteur productif et l'enseignement supérieur est donc très marquée en Iran.

Le nombre total d'ingénieurs, de scientifiques et d'assistants de recherche pour un million d'habitants s'élève à

TABEAU 1
NOMBRE DE DIPLÔMÉS DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
PAR DISCIPLINE, 1992-1993

Discipline	Diplômés		Total
	Hommes	Femmes	
Sciences exactes et naturelles			
Agriculture	4 213	2 342	6 555
Sciences de l'ingénieur	3 029	139	3 168
Médecine	12 597	438	13 035
Sciences sociales et humaines			
Beaux-arts	7 570	9 176	16 746
Total	12 517	6 053	18 570
	656	464	1 120
Total	40 582	18 612	59 194

Source : Ministère de la culture et de l'enseignement supérieur, 1994.

493 en 1993, soit davantage qu'en Amérique latine et aux Caraïbes (364) et dans les États arabes (363) (UNESCO, 1994a).

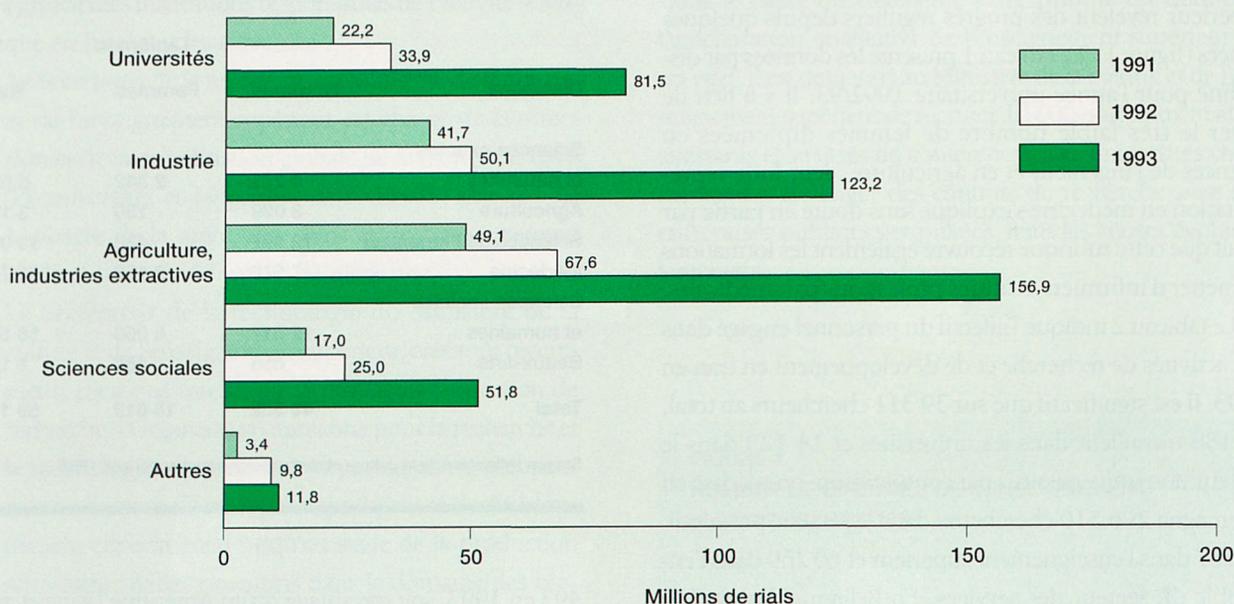
La figure 2 indique le montant des budgets de R-D en monnaie locale. Le taux de change est actuellement de 1 750 rials pour un dollar. La dépense intérieure brute de R-D (DIRD) représentait 0,40 % du produit intérieur

TABEAU 2
PERSONNEL ENGAGÉ DANS DES ACTIVITÉS DE R-D, 1993

	Secteur public		Secteur privé		Total		Total
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	
Ingénieurs et scientifiques	16 522	2 548	2 109	571	18 631	3 119	21 750
Assistants de recherche	5 266	2 268	240	153	5 466	2 421	7 887
Techniciens	6 833	2 579	194	68	7 027	2 647	9 674
Personnel auxiliaire	3 291	1 229	149	113	3 440	1 342	4 782
Total	31 872	8 624	2 692	905	34 564	9 529	44 093

Source : Conseil national de la recherche, 1995.

FIGURE 2
BUDGETS DE LA R-D PAR PROGRAMME



Source : Conseil national de la recherche, 1995.

brut de l'Iran en 1992 et ce pourcentage est passé à 0,53 % en 1993.

LES PERSPECTIVES FUTURES

Le pays et l'État se relèvent pour l'essentiel des destructions, d'un coût estimé à 1 000 milliards de dollars, causées par la guerre avec l'Iraq. L'énorme travail de reconstruction nécessaire a déjà été en grande partie mené à bien. L'un des effets de la guerre a été d'inciter à l'autosuffisance, en particulier dans les secteurs liés à la défense — électronique, métallurgie et sciences de l'ingénieur — mais aussi dans la production de biens de consommation et dans des branches de l'industrie lourde telles que la pétrochimie.

Les grands travaux d'infrastructure lancés par l'État (autoroutes, barrages, électrification et approvisionnement en gaz par gazoducs des villages reculés) génèrent une cer-

taine activité dans le domaine de la science et de la technologie. La libéralisation progressive du secteur manufacturier, des services et de la distribution, jusque-là lourdement contrôlés par l'État, est en bonne voie et devra être encore intensifiée avant que les effets en soient suffisamment sensibles dans toute l'économie pour donner l'impulsion nécessaire au développement de la R-D, de la science et de la technologie. Toute politique gouvernementale de nature à faciliter cette évolution sera la bienvenue. Il est grand besoin de mécanismes pour mobiliser les capitaux dormants et offrir aux entrepreneurs des possibilités de fabriquer et distribuer des produits — sans interventions ni contrôles directs des autorités — et pour promouvoir la confiance en soi, l'autosuffisance et l'esprit d'entreprise au sein de la population. La prospérité future du pays exige la mise en place ou le renforcement de garanties juridiques protégeant les efforts consentis dans le domaine économique.

Cyrus Yeganeh est secrétaire général adjoint chargé des programmes à la Commission nationale iranienne pour l'UNESCO. Sociologue possédant une formation scientifique, Cyrus Yeganeh a enseigné la sociologie industrielle dans un certain nombre d'établissements aux États-Unis d'Amérique avant de rentrer dans son pays, où il consacre l'essentiel de ses recherches à la sociologie de la science et de la technologie et aux statistiques relatives à la recherche et au développement.

BIBLIOGRAPHIE

- Conseil national de la recherche. 1995. *Rapport national sur la recherche 1993*, Téhéran.
- . 1994. *Rapport national sur la recherche 1992*, Téhéran.
- Ministère de la culture et de l'enseignement supérieur. 1994. *Statistiques de l'enseignement supérieur 1993-1994*, Téhéran.
- UNESCO. 1994a. *Annuaire statistique 1994*, Paris, UNESCO.
- . 1994b. *Rapport mondial sur la science 1993*, Paris, UNESCO.

L'Asie du Sud-Est et la ceinture Pacifique*

STEPHEN HILL, TIM TURPIN ET HEATHER SPENCE

L'UNESCO parraina en 1965 la première conférence sur la politique et la gestion de la science en Asie. Sous les auspices de l'organisation australienne Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Organisation du Commonwealth pour la recherche scientifique et industrielle, CSIRO), la conférence réunit en Australie un certain nombre d'acteurs clés qui allaient exercer une influence sur l'implantation de la science en Asie, notamment Abdul Rahman, l'un des architectes de la planification scientifique en Inde, Cyril Ponnampertuma, animateur d'initiatives de recherche fondamentale à Sri Lanka, et Hyung-sup Choi, fondateur de l'Institut coréen de science et de technologie appliquées (KAIST) et architecte des politiques mises en œuvre plus tard par la République de Corée en matière de science et technologie (S et T). A elles toutes, ces personnalités représentaient les tensions entre les différentes visions de la science qui allaient être plus tard appliquées dans les stratégies de développement de l'Asie — de la planification étatique globale aux approches plus libérales d'encouragement à la science dans le secteur public et à la démarche induite par la demande industrielle qui a caractérisé le développement de la République de Corée. Lorsque cette conférence eut lieu, le Japon venait de commencer à élaborer une stratégie technologique de la qualité, la Corée n'avait pas fini de bâtir l'infrastructure indispensable au redémarrage économique après la guerre qui avait déchiré la péninsule et l'occupation japonaise antérieure. La Chine était un pays fermé, empêtré dans sa politique de « Grand Bond en avant » visant à prolétarianiser la technologie industrielle, et l'Asie du Sud-Est n'était guère active dans le domaine de la recherche, sauf dans quelques pays où son mode d'organisation, largement inspiré par la

Grande-Bretagne, était principalement axé sur l'agriculture. Également héritières de structures de recherche publiques léguées par la colonisation, l'Australie et la Nouvelle-Zélande possédaient des instituts de recherche de grande qualité qui, toutefois, n'ont pas encouragé le développement industriel (Hill, 1992). En même temps, l'Asie du Sud-Est comptait un grand nombre des économies les plus pauvres d'Asie. Si l'on exclut Singapour, les industries manufacturières représentaient moins d'un quart du produit intérieur brut (PIB) et moins de 6 % des exportations (East Asia Analytical Unit, 1992, p. 14).

Aujourd'hui, au milieu des années 90, le paysage économique a radicalement changé en Asie et un rôle moteur a été joué à cet égard par la volonté de développer la science et la technologie. En tant qu'entité régionale, l'Asie possède aujourd'hui un potentiel économique et technologique suffisant pour dominer l'économie mondiale pendant le troisième millénaire. Toutefois, il faut être conscient que derrière le miracle économique extraordinaire attesté par le Japon, la République de Corée, Taiwan et les pays appelés « Dragons asiatiques », ou « économies dynamiques d'Asie » selon la terminologie de l'OCDE, il n'existe pas une histoire commune, mais plutôt une imbrication complexe d'histoires différentes du développement scientifique et technologique, dont chacune reflète les spécificités culturelles et historiques nationales et l'état actuel du développement du pays considéré.

Par conséquent, dans le présent exposé sur la science et la technologie en Asie de l'Est et du Sud-Est — la ceinture Pacifique —, nous chercherons à donner une idée des facteurs de dynamisme et des contraintes qui caractérisent la région, tout en présentant au moins un bref aperçu de

* Le présent chapitre porte sur les pays de l'Asie de l'Est et du Sud-Est et ceux de l'Australasie. La République populaire de Chine — qui fait l'objet d'un chapitre distinct — n'est mentionnée qu'en passant, lorsque sa présence a un impact significatif sur la stratégie des autres pays. C'est également le cas de l'Asie du Sud. Pour éviter que ce chapitre ne soit trop long, le Viet Nam, le Cambodge et la République démocratique populaire lao n'y figurent pas, bien qu'une évolution importante soit constatée à présent au Viet Nam. Dans l'Asie de l'Est et du Sud-Est coexistent deux catégories assez différentes de pays et de zones : ceux qui jouent économiquement un rôle moteur — le Japon, la République de Corée, Taiwan, Singapour et, plus récemment, la République populaire de Chine — et les pays regroupés au sein de l'ANASE (ASEAN) — Brunei Darussalam, l'Indonésie, la Malaisie, les Philippines, la Thaïlande, auxquels s'ajoutent, là encore, Singapour et, depuis peu, le Viet Nam. L'Australie et la Nouvelle-Zélande figurent dans ce chapitre à des fins de comparaison puisqu'ils ont commencé au cours de la dernière décennie à renforcer sensiblement leurs relations avec le reste de l'Asie. Regroupant des économies fort diverses, ce chapitre s'efforce donc de donner une image globale de ce qui se passe dans ce « croissant asiatique » en ce qui concerne la science et la technologie en mettant en évidence lorsqu'il y a lieu les principales variations en fonction de l'état économique du pays et des conditions qui lui sont propres. Bien que ce ne soit pas parfaitement exact, les pays considérés ont été regroupés, par souci de brièveté, sous l'appellation de « ceinture Pacifique ». Vu l'espace disponible, ce chapitre doit être considéré comme une brève description des caractéristiques les plus marquantes et non comme un exposé complet.

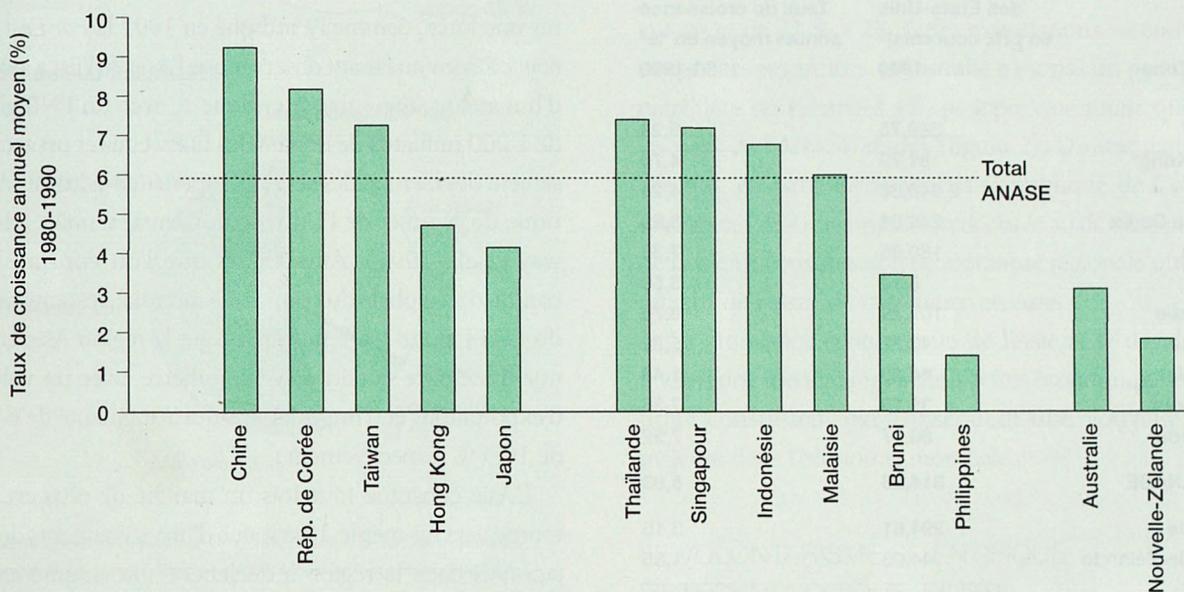
la diversité qui est l'un des traits les plus marquants de ce continent à l'aube du troisième millénaire¹.

LE CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET RÉGIONAL

La croissance annuelle réelle du produit national brut (PNB) des économies de l'Asie du Nord-Est à l'exclusion du Japon (République de Corée, Taiwan et République

populaire de Chine) s'est située en moyenne entre 7,3 % et 9,3 % au cours de la décennie écoulée, certaines régions de la Chine du Sud ayant même dépassé 30 % par an. Dominante dans la région, l'économie japonaise — qui entre pour 69 % dans le produit intérieur brut global de l'ensemble de l'Asie de l'Est et du Sud-Est — a enregistré une croissance de 4,2 % par an au cours de cette même période, tandis que celle des pays de l'Association des

FIGURE 1
NIVEAUX DE CROISSANCE ÉCONOMIQUE DANS CERTAINS PAYS ET ZONE DE LA CEINTURE PACIFIQUE



Source : FMI, 1992.

1. Une mise en garde nous paraît également souhaitable. Des données et des indicateurs de S et T sont obtenus pour les pays de l'OCDE depuis plus d'une vingtaine d'années. La rigueur et la cohérence méthodologiques nécessaires sont moins souvent atteintes en Asie. Le Réseau asiatique de politique scientifique et technologique (STEPAN) basé à l'UNESCO, le Conseil de coopération économique du Pacifique et d'autres organismes travaillent dans chaque pays et dans l'ensemble de la région à mettre au point des systèmes d'information de S et T, mais aucune source de données cohérentes pleinement comparables à celles de l'OCDE n'est encore disponible. Le présent chapitre est donc fondé sur diverses sources, y compris des données recueillies par certains pays. Celles qui ont été publiées en 1993 par la National Science Foundation des États-Unis (NSF, 1993) sont les plus généralement citées. Elles constituent la source de la plupart des données ultérieures de l'OCDE sur l'Asie (OCDE, 1994), qui figurent dans de nombreux rapports, et même d'une partie des séries de données propres à l'Indonésie — rassemblées avec l'assistance des États-Unis (BPPT, 1993). Toutefois, les données de la NSF ne couvrent qu'un petit nombre d'économies asiatiques et les sources originales ne sont pas toujours exactes ou actualisées. Dans le présent chapitre, il n'a pas été toujours possible de vérifier ou de rectifier ces chiffres. Les données de l'Annuaire statistique de l'UNESCO (UNESCO, 1993) sont obtenues sans qu'il soit possible de procéder à un examen méthodologique indépendant des comptes nationaux et reposent souvent sur les moyens d'enquête très limités des pays en question. Elles sont par conséquent susceptibles de présenter des lacunes significatives, notamment en ce qui concerne les séries chronologiques, et peuvent ne pas être toujours aussi comparables que les tableaux le donnent à penser. Le lecteur devrait par conséquent accueillir avec circonspection des données qui, reprises plusieurs fois depuis la source originale (comme c'est le cas pour celles de l'OCDE), peuvent être inexactes. Toutefois, ces données sont les plus valables de toutes celles dont on dispose actuellement. Les principales sources publiées pouvant servir à l'analyse des données de S et T relatives à la région considérée ici sont passées en revue sous la rubrique Bibliographie figurant à la suite du texte.

Nations de l'Asie du Sud-Est (ANASE) a également été élevée (figure 1). Singapour, la Malaisie, l'Indonésie, la Thaïlande, les Philippines et Brunei Darussalam, considérés ensemble, ont connu une croissance moyenne de 5,8 % pendant cette décennie. Ces niveaux de croissance écono-

mique contrastent nettement avec le taux de croissance moyen d'environ 2,7 % des pays de l'OCDE au cours de la même période.

La croissance s'est également accompagnée d'une transformation de la structure économique. Dans tous les pays de l'ANASE, les industries manufacturières ont généré bien plus d'un tiers du PIB et plus de 40 % des exportations ; le niveau de vie s'est considérablement amélioré et l'espérance de vie moyenne est passée de 49 ans en 1965 à 63 ans en 1991. Singapour a été classé au deuxième rang des économies les plus compétitives du monde par le 1994 *World Competitiveness Report*, le premier étant occupé par les États-Unis (Yeo, 1995, 24.2). L'Asie est en train de devenir une force, comme l'a indiqué en 1991 la *Far East Economic Review* en faisant observer que l'Asie de l'Est a aujourd'hui atteint une « masse critique », avec un PNB global de 1 000 milliards de dollars des États-Unis et un accroissement des biens et des services supérieur à celui de l'Amérique du Nord et de l'Union européenne réunies (Holloway *et al.*, 1991). Ainsi, alors que l'on constate une contraction globale du commerce mondial, les statistiques du GATT pour 1993 montrent que la région Asie continue d'accroître sa part de ce commerce, avec un volume d'exportations et d'importations qui a augmenté de 6 % et de 10,5 % respectivement.

L'Asie constitue toutefois un marché de plus en plus tourné vers lui-même. Une vague d'investissements directs japonais dans la région a déclenché une augmentation massive de la demande de biens d'équipement dans toute l'Asie de l'Est. Les exportations de la République de Corée vers l'Asie se sont accrues de deux tiers en deux ans pour atteindre 5,1 milliards de dollars en 1990. L'Asie est devenue, devant l'Amérique du Nord, le premier marché du Japon. En y regardant de plus près, on observe d'ailleurs que ce sont les pays d'Asie au développement le plus rapide qui ont aussi le taux de croissance le plus élevé d'exportation vers le Japon. Les exportations de l'Indonésie vers le Japon de machines et de matériel de transport, d'une part, et de produits manufacturés divers, d'autre part, augmentent actuellement à un rythme stupéfiant : 325 % et 153 % par an respectivement. Les exportations de machines et de

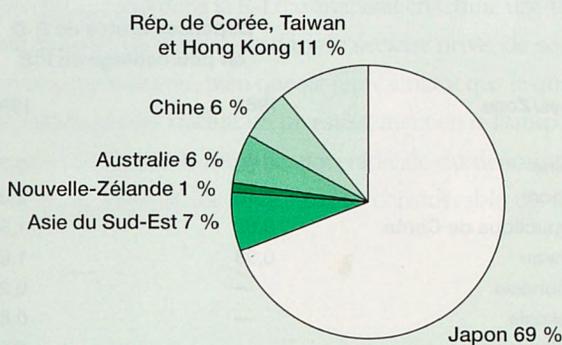
TABLEAU 1
NIVEAUX DE CROISSANCE ÉCONOMIQUE DANS CERTAINS PAYS ET ZONES DE LA CEINTURE PACIFIQUE

Pays/Zone	PIB (milliards de dollars des États-Unis en prix courants) ¹	Taux de croissance annuel moyen en % ²
	1990	1980-1990
Chine ³	369,75	9,28
Hong Kong ⁴	81,79	4,70
Japon	2 940,36	4,20
Rép. de Corée	244,04	8,29
Taiwan	180,65	7,30
Brunei	5,10	3,50
Indonésie	107,29	6,76
Malaisie	42,37	5,82
Philippines	44,20	1,45
Singapour	35,13	7,36
Thaïlande	80,17	7,52
Total ANASE	314,26	5,83
Australie	294,61	3,15
Nouvelle-Zélande	44,03	1,85

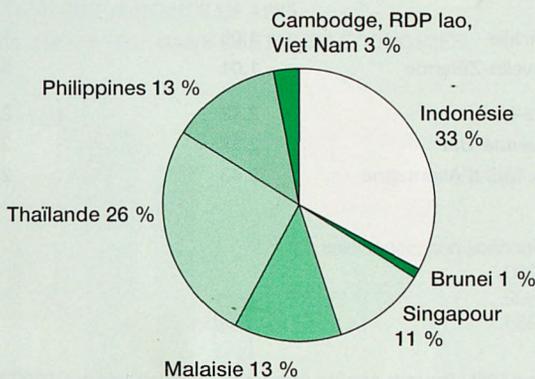
1. Les valeurs du PIB et les taux de change appliqués pour la conversion de la devise nationale en dollars des États-Unis proviennent de FMI, 1992. Les taux de change utilisés dépendent de l'économie, mais correspondent soit au taux moyen du marché en 1990, soit au taux officiel pour la même année.
2. Les taux moyens de croissance du PIB de 1980 à 1990 ont été calculés pour chaque pays en faisant la moyenne des chiffres annuels publiés par le FMI (FMI, 1992).
3. Les valeurs du PIB de la Chine n'étant pas disponibles au FMI et les valeurs du PNB figurant dans sa publication étant tirées de la même base de données que les valeurs du PIB d'autres pays, ce chiffre a été préféré au PIB tiré d'une autre source.
4. Le FMI n'a publié aucun chiffre pour Hong Kong, Brunei ou Taiwan. Les chiffres relatifs à la croissance depuis 1990 sont tirés de statistiques publiées dans *Asia Week*, septembre 1992.

Source : FMI, 1992.

FIGURE 2
PART DES PAYS OU ZONES DE LA CEINTURE
PACIFIQUE DANS LE PIB RÉGIONAL, 1991



Asie du Sud-Est (détail)



Source : *East Asia Analytical Unit*, 1992, fig. 1.1, p. 13 ; *Asian development outlook*, Manille, Banque asiatique de développement, 1992 ; *Global forecasting unit quarterly forecasts*, Londres ; The Economist Intelligence Unit Ltd. (divers pays, divers trimestres) ; FMI, 1992 ; *Economic Report*, Malaisie, Bank Negara, 1992.

matériel de transport de la Chine à destination du Japon enregistrent une croissance de 115 % par an et celles de produits manufacturés divers de la Thaïlande vers le Japon de 116 %. La Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED) a constaté en 1990 qu'un réseau informel de commerce centré sur le Japon se développait dans la ceinture Pacifique (CNUCED, 1990). Depuis, le Forum de la coopération économique Asie-Paci-

fique (CEAP) est venu encore renforcer les liens au sein de cette zone commerciale.

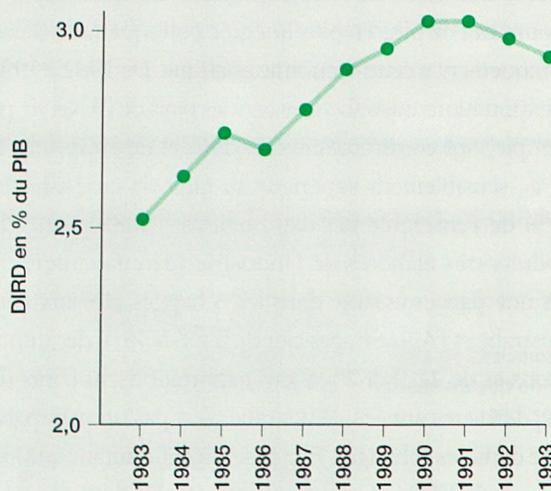
L'Australie, dont les stratégies commerciales étaient dans le passé orientées vers l'Amérique du Nord et l'Europe, est aujourd'hui de plus en plus intégrée politiquement et économiquement à cette économie asiatique. De 1982 à 1992, les exportations australiennes vers les pays de l'ANASE, par exemple, ont connu un taux tendanciel de croissance de 19 %, sensiblement supérieur au taux de croissance de 11 % de l'ensemble des exportations. Parallèlement, les produits très élaborés de l'industrie manufacturière ont pris une part croissante dans les échanges globaux entre l'Australie et l'ANASE, passant de 23 % à 36 % des importations et de 21 % à 23 % des exportations au cours des cinq dernières années. L'Australie n'est pas un petit partenaire dans ces échanges. Elle pèse presque autant que tous les pays de l'ANASE réunis (figure 2). D'autre part, c'est elle qui, en partenariat avec la République de Corée, a donné en 1989 une impulsion décisive au développement de la CEAP, l'organisation économique régionale qui est le moteur de l'essor du commerce en Asie.

La croissance économique de l'Asie et le développement d'une identité régionale à la fois économique et politique constituent par conséquent une nouvelle force majeure dans l'économie mondiale.

LE VOLONTARISME SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE, PILIER DU PROGRÈS DE L'ASIE

Il importe tout particulièrement de noter que c'est le savoir qui est le moteur du progrès dans la région. Le Japon, dont l'économie est fondée sur sa capacité à saisir et à exploiter le savoir, se situe au premier rang de la région tant pour le montant absolu des dépenses consacrées à la recherche-développement (R-D) que pour le pourcentage des dépenses brutes de R-D (DIRD) par rapport au PIB. Ce ratio a atteint en 1990-1991 un pic de 3,02 % et, avec un montant de 13 709 milliards de yens, se situait à 2,92 % en 1993, dernière année pour laquelle ces chiffres sont connus.

FIGURE 3
ÉVOLUTION DES DÉPENSES DE R-D AU JAPON



Source : STA Today, Journal of the Science and Technology Agency, Japan Foundation for Science and Technology Promotion, 1995, vol. 7, 1, p. 6.

La R-D japonaise est essentiellement financée par l'industrie. Comme le montre la figure 3, l'essentiel de la croissance des dépenses de recherche japonaises a été généré par l'investissement industriel. Le pays a cependant pris conscience qu'un niveau supérieur d'investissement public est maintenant nécessaire pour stimuler le développement de la recherche fondamentale indispensable à la croissance industrielle future et pour permettre le renouvellement systématique des installations et des équipements obsolètes des universités et des centres d'excellence.

Si le Japon demeure en tête pour les dépenses de R-D, la science est aujourd'hui bien moins dominée dans la région par la puissance économique du Japon qu'elle ne l'était durant les années 80. La croissance soutenue de l'investissement en R-D de nombreux pays et économies d'Asie qui ont commencé à s'industrialiser s'est traduite par une augmentation rapide de la proportion de leurs dépenses brutes de R-D par rapport au PIB qui se rap-

TABLEAU 2
ÉVOLUTION DES DÉPENSES BRUTES DE R-D (DIRD)
EN POURCENTAGE DU PIB DANS CERTAINES ÉCONOMIES

Pays/Zone	Dépenses brutes de R-D en pourcentage du PIB	
	1981	1991
Chine	0,80	0,72 ¹
Japon	2,13	3,02
République de Corée	0,62	1,86
Taiwan	0,93	1,69 ¹
Indonésie	—	0,20
Malaisie	—	0,80
Philippines	—	0,20
Singapour	0,28	1,27 ²
Thaïlande	0,02 ³	0,16
Australie	1,00	1,34
Nouvelle-Zélande	1,01	0,88
États-Unis	2,43	2,75
Royaume-Uni	2,37	2,08
Rép. féd. d'Allemagne	2,43	2,66

— Données non disponibles.

1. 1990.

2. 1992.

3. 1986.

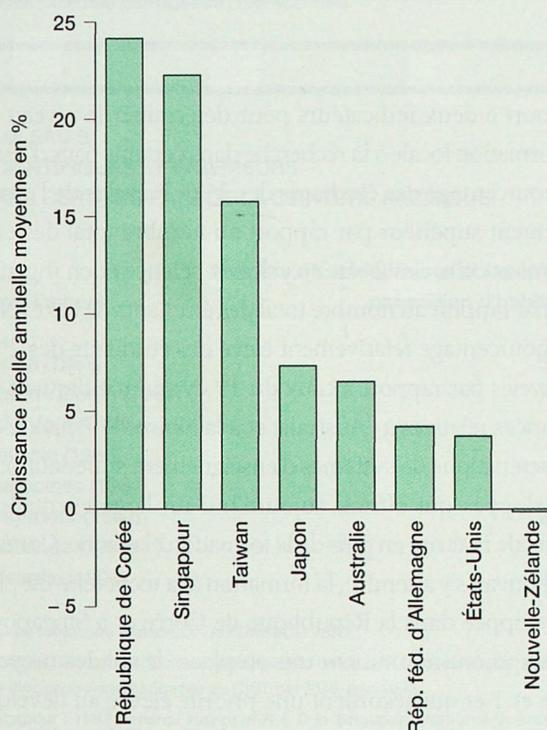
Sources 1981 : Rapports par pays (Indonésie/Thaïlande/Singapour) ; DIST 1994, d'après OCDE, 1993, et NSF 1993.

Sources 1991 : S & T Analysis Section, DIST, d'après des données de l'OCDE et des données nationales (base de données OCDE/STIID en novembre 1993, ABS 8122 et 5206, et estimations de la S & T Analysis Section).

proche de celle enregistrée dans les pays de l'OCDE. En 1981, cette proportion restait, dans les deux économies à la croissance la plus rapide, Taiwan et la République de Corée, nettement inférieure à la moyenne des pays de l'OCDE (environ 1,38 %). Mais leur taux de croissance annuel réel a été élevé tout au long des années 80 — 24 % et 16 % respectivement (figure 4) — si bien qu'en 1990, la République de Corée était passée de la 20^e à la 10^e place du classement mondial, et Taiwan, de la 17^e à la 12^e place.

Pendant la même période, cette proportion s'était accrue à Singapour de 22 % par an et se trouvait ainsi portée du très bas niveau de 0,28 % en 1981 à 1,27 % en 1992, tandis que l'Australie était passée de 1 % à 1,34 %. Le niveau d'investissement dans la R-D connaissait en Chine une très forte hausse, en particulier dans le secteur privé, de sorte que cette proportion, bien que ne représentant que le quart de celle du Japon, traduit un investissement en R-D important dissimulé par la modification radicale du dénominateur, ou autrement dit la croissance considérable du PIB

FIGURE 4
CROISSANCE RÉELLE ANNUELLE MOYENNE DE DIRD,
EN PRIX CONSTANTS DE 1985,
DE 1981 À 1991 DANS CERTAINES ÉCONOMIES



Source : S & T Analysis Section, DIST, d'après des données de l'OCDE et des données nationales (base de données OCDE/STIID en novembre 1993, ABS 8122 et 5206, et estimations de la S & T Analysis Section).

intervenue en même temps. Ainsi, parmi les pays en position médiane en termes d'effort de R-D, au premier rang desquels figurent en général la Suède et la Suisse, les pays de la région Asie-Pacifique sont aujourd'hui ceux dont les investissements dans la R-D s'accroissent le plus vite. En outre, si le montant dépensé en R-D par chercheur en République de Corée, à Taiwan et à Singapour est actuellement de l'ordre de la moitié de celui des États-Unis, l'écart diminue rapidement.

L'impact de ces stratégies axées sur la science est déjà sensible. Les statistiques relatives aux brevets attestent que le retard scientifique est en voie d'être rattrapé. Par exemple, comme le montre le tableau 3, les brevets de la République de Corée déposés aux États-Unis ont augmenté de 400 % en quatre ans seulement. En 1990, les brevets déposés aux États-Unis par ce pays représentaient la moitié de ceux de l'Australie, second producteur de brevets de la région après le Japon. En 1994, la République de Corée déposait deux fois plus de brevets aux États-Unis que l'Australie. En même temps, Singapour, parti, il est vrai, d'un très faible niveau en 1983 (cinq brevets), en avait décuplé le nombre en 1994 puisqu'il était porté à 54.

Les pays de la région n'ont pas, toutefois, le même niveau d'investissement dans la R-D. Comme l'a montré le tableau 2, la Malaisie dépense un peu moins que Singapour mais son rapport DIRD/PIB reste relativement élevé (0,80 %). Si les plans de développement de la Malaisie sont de plus en plus axés sur les industries manufacturières, les moyens de recherche y sont encore surtout concentrés dans le secteur public et son orientation vers un développement lié à l'agriculture n'a commencé à changer que récemment. Dans les autres pays de l'ANASE, les niveaux de dépenses de R-D en pourcentage du PIB sont beaucoup moins élevés et largement tributaires des fonds publics, ce qui met en évidence l'autre face de l'Asie, avec les pays en développement situés en dehors des zones dont l'économie est la plus avancée. Plus au sud, en Australasie, le taux de DIRD/PIB de la Nouvelle-Zélande est plus proche de celui de la Malaisie (0,88 %). Ce taux est en baisse par rapport à celui de 1,01 % enregistré en 1981, mais explicable par la restructuration radicale du financement public de la

TABLEAU 3
BREVETS DÉPOSÉS ANNUELLEMENT AUX ÉTATS-UNIS PAR CERTAINS PAYS DE LA CEINTURE PACIFIQUE

Pays	1983	1985	1987	1989	1991	1993	1994	1983-1994
Japon	8 804	12 756	16 569	20 177	21 028	20 949	22 384	204 597
Rép. de Corée	26	40	84	160	403	764	950	3 361
Brunei	0	0	0	0	1	0	0	2
Indonésie	0	1	1	5	2	4	8	37
Malaisie	2	3	2	2	13	13	12	66
Philippines	5	5	5	7	6	5	2	52
Singapour	5	9	12	19	15	39	54	213
Thaïlande	3	1	1	4	3	7	5	33
RDP lao	0	0	0	0	0	1	0	3
Australie	237	341	386	501	458	372	470	4 701
Nouvelle-Zélande	39	33	69	58	40	38	36	566

Source : CHI Research Inc., Haddon Heights, N.J., États-Unis d'Amérique, 1995. Tableau non publié indiquant le nombre de brevets communiqués au Centre for Research Policy, Université de Wollongong.

recherche scientifique matérialisée par la création de « sociétés de la Couronne », financées sur une base concurrentielle, dont les effectifs ont temporairement diminué. Le niveau des dépenses de R-D de la Nouvelle-Zélande commence à augmenter de nouveau, dans le cadre de sa stratégie nationale délibérément axée sur le développement d'une capacité manufacturière et exportatrice s'appuyant sur son agriculture. La situation de l'Indonésie, des Philippines et de la Thaïlande correspond à un stade moins avancé d'industrialisation. Tous ces pays consacrent environ 0,2 % de leur PIB à la R-D.

DÉVELOPPEMENT DES RESSOURCES HUMAINES

Les ressources humaines disponibles pour la science et l'ingénierie dans les pays moins industrialisés qui s'efforcent de commencer à exploiter les connaissances scientifiques sont relativement modestes. Il est très difficile, toutefois, d'obtenir des indicateurs cohérents. Le tableau 4 — qui rassemble peut-être les données les plus fiables —

recourt à deux indicateurs pour déterminer le niveau de la formation locale à la recherche dans certains pays d'Asie : le pourcentage des étudiants des 2^e et 3^e cycles de l'enseignement supérieur par rapport au nombre total des étudiants et celui des 2^e et 3^e cycles en science et en ingénierie par rapport au nombre total des étudiants de ces cycles. Le pourcentage relativement élevé des étudiants des 2^e et 3^e cycles par rapport à ceux du 1^{er} cycle qu'indiquent les données relatives à l'Australie et à la Nouvelle-Zélande est caractéristique de systèmes d'enseignement supérieur bien développés qui offrent aujourd'hui un large éventail de cours de maîtrise en plus de la formation classique. Comme on pouvait s'y attendre, la formation à la recherche est plus développée dans la République de Corée et à Singapour, pays qui ont récemment mis en place de solides moyens de S et T et qui accordent une priorité élevée au développement endogène impulsé par la S et T. Le tableau 5 montre que ces deux pays ont relativement un pourcentage élevé de scientifiques et d'ingénieurs par rapport à leur population ; ce pourcentage, qui augmente rapidement à Singapour, est approximativement le même que

TABLEAU 4
ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DANS CERTAINS PAYS DE LA CEINTURE PACIFIQUE

Pays	Année	Nombre d'étudiants de l'enseignement supérieur	Nombre d'étudiants diplômés de 2 ^e et 3 ^e cycles			Total	% diplômés (2 ^e et 3 ^e cycles) sur total des étudiants	% sc. ex. et nat. et sc. de l'ing. parmi les diplômés de 2 ^e et 3 ^e cycles
			Sciences	Ingénierie	Autres			
Australie	1991	534 538	21 178	5 698	66 027	92 903	17,38	28,93
Chine	1991	2 124 121	22 806	36 942	20 711	80 459	3,79	74,26
Japon	1989	2 683 035	23 233	30 934	31 096	85 263	3,18	63,53
Rép. de Corée	1991	1 723 886	15 460	13 019	64 120	92 599	5,37	30,76
Malaisie	1990	121 412	1 012	239	3 730	4 981	4,10	25,12
Nouvelle- Zélande	1991	136 332	2 461	402	10 929	13 792	10,12	20,76
Philippines	1991	1 656 815	4 704	816	58 274	63 794	3,85	8,65
Singapour	1983	35 192	144	388	1 337	1 869	5,31	28,46
Thaïlande	1989	765 395	3 523	1 405	16 116	21 044	2,75	23,42

Note : D'après la classification de l'UNESCO des sciences de l'ingénieur et sciences exactes et naturelles : les étudiants en sciences exactes et naturelles englobent les étudiants en sciences naturelles, en mathématiques et informatique, ainsi qu'en médecine et disciplines connexes.

Source : *Annuaire statistique de l'UNESCO 1993*.

TABLEAU 5
SCIENTIFIQUES ET INGÉNIEURS
DANS CERTAINS PAYS DE LA CEINTURE PACIFIQUE

Pays (année)	Nombre de scientifiques et ingénieurs par million d'habitants
Japon (1989)	5 183
Rép. de Corée (1988)	1 343
Indonésie (1988)	181
Malaisie (1988)	327
Philippines (1984)	90
Singapour (1992)	2 305
Thaïlande (1991)	107
Australie (1991)	2 449

Source : *Annuaire statistique de l'UNESCO 1993*.

Australie : DIST, 1994. Chiffres globaux tirés de données de recherche détaillées par discipline communiquées au DIST par ABS, juin 1993.

Singapour : *1992 National survey of R & D in Singapore*, National Science and Technology Board, tableau III.1, p. 18.

Thaïlande : D'après le rapport de recherche *Study of R & D expenditures and personnel in Thailand in 1987-1991*, Conseil national de la recherche, Ministère de la science, de la technologie et de l'environnement. Données recueillies par la Section des indicateurs pour la science.

celui de l'Australie. Le Japon, cependant, demeure en tête, avec un taux représentant deux fois celui de l'Australie et de Singapour. Plus intéressant est le niveau de concentration sur la science et l'ingénierie de la formation endogène à la recherche. La Chine se distingue puisque trois étudiants des 2^e et 3^e cycles sur quatre suivent des cours de sciences et d'ingénierie. Au Japon, cette proportion est également élevée et représente plus de la moitié des étudiants des cycles supérieurs. Dans les autres pays, cette proportion est plus faible, de l'ordre de 20 à 25 % du nombre total d'étudiants des 2^e et 3^e cycles en République de Corée et Singapour et 8,65 % aux Philippines.

Ces données sur la formation locale à la recherche ne donnent toutefois qu'une idée partielle de la situation. Une bonne partie de la formation des jeunes Asiatiques à la recherche s'achève dans les universités des pays avancés d'Europe, d'Australie et d'Amérique du Nord. Par exemple, les doctorats en sciences et en ingénierie décernés aux États-Unis à des ressortissants chinois représentent respectivement 46,1 % des doctorats en sciences et 21,1 %

des doctorats en ingénierie décernés en Chine ; les pourcentages équivalents sont de 46,2 % et 44,4 % pour la République de Corée, et de 81,1 % et 73,6 % pour Taiwan. On peut s'attendre à une situation analogue pour la plupart des pays de l'ANASE. Par contre, le Japon dépend beaucoup moins des doctorats américains puisqu'en sciences et en ingénierie ils ne représentent respectivement que 5,6 % et 1,8 % des diplômes correspondants décernés au Japon.

Il est frappant de constater, toutefois, que même si les dépenses brutes de R-D sont aujourd'hui relativement faibles dans les pays de l'ANASE, ces derniers ont tous entrepris des programmes ambitieux de développement de leur capacité de S et T, en particulier grâce à des investissements dans le développement des ressources humaines.

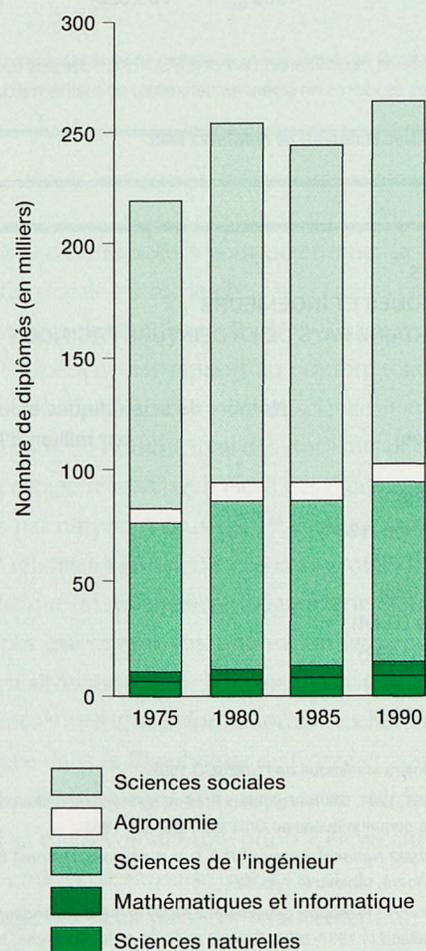
Singapour avait ainsi en 1980 neuf scientifiques et ingénieurs affectés à la recherche pour 10 000 travailleurs. En 1990, ils étaient 28, chiffre qui progresse régulièrement vers l'objectif de 40 scientifiques et ingénieurs affectés à la recherche pour 10 000 travailleurs en 1995. Le nombre de scientifiques et de techniciens affectés à la recherche à Singapour est quant à lui passé de 6 046 à 9 193 entre 1990 et 1992. La croissance de Singapour est actuellement alimentée par des investissements majeurs : plus de 1 milliard de dollars des États-Unis sur cinq ans pour renforcer la R-D industrielle dans le cadre du Plan national de développement technologique ; des programmes similaires ont été entrepris en Indonésie (90 millions de dollars), en Malaisie (150 millions de dollars) et en Thaïlande (50 millions de dollars).

Ces stratégies de développement des ressources humaines ont été fortement influencées par les modèles du Japon et de la République de Corée. Dans le cadre de la reconstruction qui a suivi la seconde guerre mondiale, le Japon a engagé un effort concerté pour augmenter le nombre de diplômes de sciences et d'ingénierie décernés et pour doubler son produit national brut. Grâce aux investissements consentis depuis 30 ans dans les ressources humaines consacrées à la S et T, il décerne aujourd'hui chaque année 250 000 diplômes de sciences et d'ingénie-

rie, encore que la part des sciences exactes et naturelles soit relativement faible (figure 5).

On comptait en 1990 au Japon 74,9 scientifiques et ingénieurs affectés à la R-D pour 10 000 travailleurs tandis que 6 % de tous les jeunes de 22 ans étudiaient les sciences exactes et naturelles ou les sciences de l'ingénieur à l'université.

FIGURE 5
LICENCIÉS EN SCIENCES EXACTES ET NATURELLES ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR AU JAPON, PAR DISCIPLINE, DE 1975 À 1990



Source : NSF, 1993.

La République de Corée comble rapidement son retard. A la fin de la seconde guerre mondiale, seuls 2 % des Coréens âgés de plus de 14 ans avaient achevé leurs études secondaires et le taux d'analphabétisme s'élevait à 78 %. Depuis lors, les inscriptions ont été multipliées par plus de cinq dans le primaire, par 28,5 dans le secondaire, et par près de 150 dans le supérieur. Les investissements importants consentis dans les années qui ont suivi la guerre ont entraîné dans le court terme des problèmes de chômage des diplômés mais ont posé les fondations indispensables au développement économique ultérieur du pays. S'appuyant sur cette base, la République de Corée a triplé le nombre de ses étudiants entre 1975 et 1990, de sorte que cette année-là, 36 % des Coréens de 20 à 24 ans suivaient des cours universitaires, la proportion des étudiants inscrits en sciences exactes et naturelles et en sciences de l'ingénieur étant identique à celle du Japon (6 % de tous les jeunes de 22 ans). Au cours de cette même période de 15 ans, le pourcentage d'étudiants du même groupe d'âge est passé de 16 % à 27 % à Taiwan et d'environ 7 % à près de 20 % à Singapour.

STRUCTURES DE PLANIFICATION ET DE DÉCISION

Depuis la deuxième Conférence des ministres chargés de l'application de la science et de la technologie au développement en Asie et dans le Pacifique (CASTASIA II) organisée par l'UNESCO en 1982, qui a mis en lumière la nécessité d'une science nationale adaptée et orientée par la demande industrielle, on a vu à l'œuvre dans toute l'Asie du Sud-Est une forte volonté de mettre en place des structures nationales de définition des politiques scientifiques intégrées à la planification économique (Raman et Hill, 1982). Dans le cadre de cette évolution, des institutions formelles chargées de piloter la politique scientifique — qui sont depuis longtemps un élément des systèmes scientifiques des pays industriellement développés — ont été établies dans des pays qui n'étaient dotés auparavant que d'infrastructures scientifiques limitées. Cette évolution institutionnelle a comporté la création ou le renforcement de

conseils et de ministères de S et T, d'académies scientifiques et de nouveaux instituts de recherche. En Thaïlande, par exemple, la Société de recherche scientifique appliquée a été créée dans le cadre du Deuxième Plan de développement économique du pays, à la fin des années 60, et une Division de planification écologique et technologique chargée de faire face au problème des conséquences écologiques du développement industriel a été créée à la fin des années 70. Cependant, le Ministère de la science, de la technologie et de l'énergie n'a été créé qu'au début des années 80, dans le cadre du Quatrième Plan de la Thaïlande, et la S et T n'est devenue expressément un volet de la planification du développement national qu'à la fin des années 80, dans le cadre du Cinquième Plan.

Le développement d'une capacité de prise de décision a parallèlement fait l'objet d'une grande attention. L'Australie a apporté un soutien à ce processus jusque vers 1985 grâce à des programmes de formation à la gestion et à la politique de S et T entrepris dans le cadre de l'aide au développement des pays de l'ANASE, tandis que le Conseil pour la science et la technologie de celle-ci (ASEAN-COST) et le Réseau asiatique de politique scientifique et technologique (Science and Technology Policy Asian Network, STEPAN), créé par l'UNESCO en 1988, privilégiaient et soutenaient le développement des systèmes intégrés de gestion et de formation de S et T dans toute la région.

En outre, dans les régions de l'ANASE comme dans celles de l'Asie du Nord-Est, de nombreux pays ont maintenant défini des stratégies de planification à long terme de la S et T dans le cadre de leurs stratégies économiques globales. La Malaisie, l'Indonésie, la Thaïlande, Singapour et la République de Corée ont élaboré des plans de développement de la science et de la technologie qui mordent substantiellement sur le XXI^e siècle. Le Programme scientifique et technologique pour le développement industriel (STAID) est un élément de l'action entreprise par l'État indonésien pour donner un caractère industriel à une économie surtout agricole. Les autorités s'efforcent notamment de susciter le développement grâce à des industries stratégiques, notamment l'aéronautique, puis l'énergie, les

télécommunications, etc. Le Plan directeur industriel malaisien englobe aujourd'hui un Plan d'action pour le développement de la technologie industrielle (APITD), défini dans le cadre du concept de « la Malaisie à l'horizon 2020 » lancé par le Premier Ministre, et a été récemment renforcé par un Programme d'intensification de la recherche dans les domaines prioritaires (IRPA). Il a ouvert pour la Malaisie une voie stratégique pour le développement de la technologie. Singapour a pour objectif d'atteindre le statut de pays développé d'ici à l'an 2000 et, compte tenu du caractère très limité de ses ressources, a reconnu la nécessité de l'innovation technologique et, par conséquent, de la promotion de la R-D. Tous ces pays s'inspirent expressément de l'expérience japonaise, mais aussi de celle de la République de Corée où tant le financement à long terme du développement des infrastructures que, en particulier, la R-D fondée sur l'industrie ont permis d'accroître de façon extraordinaire la compétitivité économique. Répondant à cet intérêt, la République de Corée a formellement entrepris en 1994 un programme d'assistance à la définition des politiques de S et T dans les pays de l'ANASE.

Dans tous les pays de l'Asie du Nord-Est et du Sud-Est, aussi bien dans les pays plus avancés que dans ceux en développement, ou autrement dit dans toute la ceinture Pacifique, il existe une volonté claire et forte de promouvoir l'action scientifique et technologique, qui est considérée dans le monde entier comme la source du développement et de la compétitivité économiques.

LIEN CROISSANT DE LA SCIENCE ASIATIQUE AVEC L'OCCIDENT

Grâce à cette politique volontariste, les scientifiques de toute l'Asie ont de plus en plus la possibilité de travailler dans leur région avec un appui institutionnel et des salaires similaires à ceux dont bénéficient leurs homologues nord-américains et européens. Cette évolution des conditions du travail scientifique en Asie est attestée par le fait que, si le nombre d'étudiants allant poursuivre des études à l'étranger continue de croître, ils sont de plus en plus incités à

rentrer dans leur pays d'origine par des salaires et un cadre de vie et de travail plus attractif. De nombreux scientifiques qui ont longtemps travaillé à l'étranger rentrent actuellement dans leur pays pour jouer un rôle de premier plan dans la gestion de nouveaux instituts bien équipés et, en tirant parti de leur expérience, pour placer leur pays à l'avant-garde de l'effort de recherche international. Comme le dit la revue *Science*, « l'exode de compétences tant déploré jadis apparaît aujourd'hui comme une réserve d'une valeur inestimable [...]. Les aimants qui attirent les exilés sont disséminés dans toute l'Asie : somptueux centres de recherche flamboyants qui offrent des matériels de niveau mondial et des budgets généreux. Les installations telles que le Centre de recherche sur le rayonnement synchrotron de 1,3 GeV (SRRC) de Taiwan, qui sera l'une des sources de rayonnement les plus puissantes du monde lorsqu'il sera mis en service cet automne, et l'Institut de biologie moléculaire et cellulaire de Singapour, qui a acquis en 6 ans une grande réputation, placent les Dragons d'Asie sur la carte du monde scientifique. A Hong Kong et en Corée du Sud (*sic*), de nouveaux instituts de recherche libéralement financés attirent des centaines de professeurs en milieu de carrière exerçant aux États-Unis » (Kinoshita, 1993, p. 348).

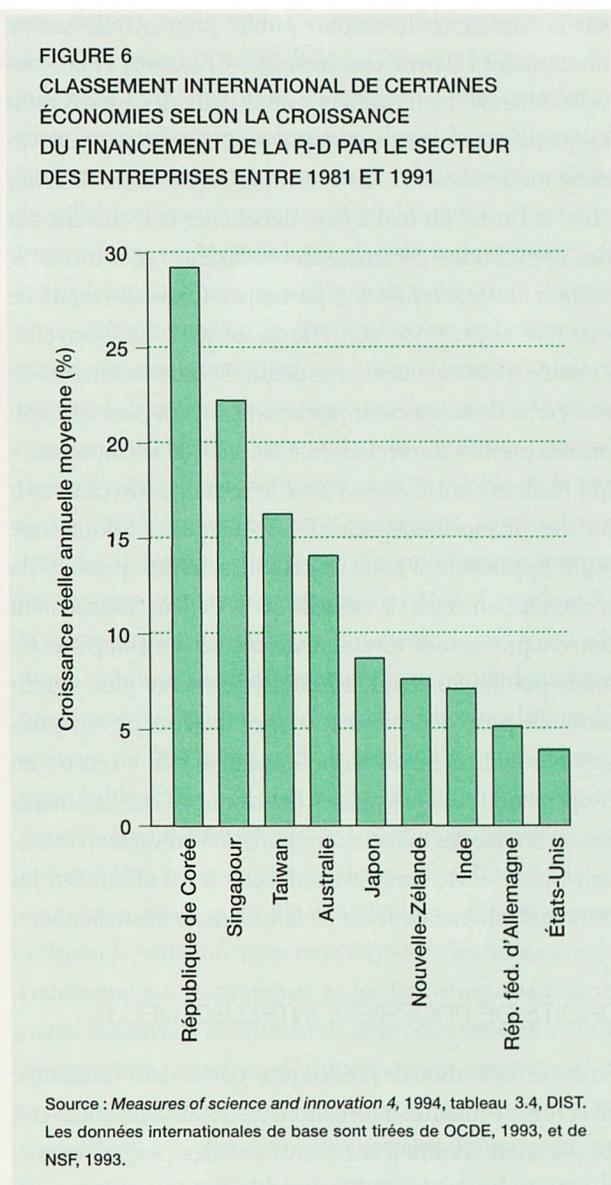
Ces mouvements de retour vers l'Asie de scientifiques formés et ayant acquis une expérience dans des pays industriels avancés reflètent le nouvel engagement de l'Asie — des « Dragons » comme de leurs voisins moins développés — dans l'ordre scientifique et technologique mondial des années 90. Des données récentes montrent que le transfert de connaissances « tacites » ou non formelles est également essentiel pour la réussite des efforts dans les domaines de pointe de la science comme de l'application industrielle des connaissances scientifiques (Hill *et al.*, 1994 ; Hill et Turpin, 1995 ; National Board of Employment, Education and Training, 1995 ; Gibbons *et al.*, 1994). Depuis 1990, la recherche mondiale se situe de plus en plus dans le champ de l'application industrielle, et se caractérise donc de plus en plus par la pluridisciplinarité des équipes, dans lesquelles l'aptitude à articuler les connaissances provenant de divers « compartiments dis-

ciplinaires » et à les relier aux exigences de l'application est cruciale. Le transfert de connaissances est par conséquent très étroitement associé aux mouvements des individus qui ont acquis les connaissances non formelles que la recherche de pointe exige aujourd'hui.

L'AVANTAGE COMMERCIAL

Le marché extrêmement concurrentiel que l'exigence de nouvelles connaissances a créé au cours des années 80 a suscité des liens de plus en plus étroits entre la recherche et l'application dans la science mondiale. Par conséquent, sauf à travers de tels transferts de connaissances non formelles, les connaissances résultant des recherches de pointe ne sont plus aussi accessibles aux nouveaux acteurs publics ou privés qu'elles l'étaient précédemment au cours de ce siècle. Les nouvelles connaissances tendent à être jalousement protégées et ne traversent les frontières qu'en restant internes à une entreprise commerciale au lieu d'être disponibles dans le cadre d'un « fonds commun de connaissances scientifiques accessible à tous » (Hill, 1995). Les gouvernements de tous les pays d'Asie sont conscients des difficultés à surmonter pour appliquer à l'industrie les résultats de recherches conduites par le secteur public. On s'attache donc de plus en plus à développer la R-D dans les entreprises et à mettre en place de nouveaux mécanismes permettant une exploitation commerciale plus efficace des recherches faites dans le secteur public.

Le taux de croissance du financement de la R-D par le secteur des entreprises a généralement augmenté plus vite en Asie et dans le Pacifique que dans les pays de l'OCDE. La République de Corée, Singapour, Taiwan et l'Australie, par exemple, sont dans ce domaine passés devant tous les pays de l'OCDE entre 1981 et 1991 (figure 6). Si les niveaux de financement de la R-D par le secteur des entreprises étaient alors déjà élevés au Royaume-Uni, au Japon, aux États-Unis et en Allemagne (60 % de DIRD pour le Japon), leur croissance y a été inférieure à la moyenne pendant la même période (9,2 % par an). A Singapour, le secteur privé a contribué en 1992 pour 60,8 % — soit 578 millions de dollars singapouriens (environ 350 mil-



lions de dollars des États-Unis) — aux dépenses nationales de R-D.

Les économies les moins développées ont encore un peu de mal à faire participer le secteur des entreprises aux dépenses de R-D et explorent toutes sortes de mécanismes destinés à les y encourager. Il s'agit notamment d'avantages fiscaux, du développement de « parcs » de S et T et de pépinières d'entreprises, ainsi que de pressions accrues

sur la recherche du secteur public pour qu'elle facilite directement l'activité commerciale. L'Australie et la Nouvelle-Zélande, bien qu'étant toutes deux des pays économiquement avancés, sont également des acteurs relativement modestes sur la scène technologique mondiale et ont l'une et l'autre du mal à faire déboucher la recherche sur des applications commerciales suffisantes et à inciter le secteur des entreprises à participer financièrement de manière appropriée aux efforts de R-D. La Nouvelle-Zélande a radicalement restructuré les établissements de recherche de son secteur public en convertissant les organismes publics d'autrefois en « sociétés de la Couronne » qui rivalisent entre elles et avec le secteur privé pour attirer des financements sélectifs. L'Australie a adopté une règle applicable à tous les établissements publics de recherche, en vertu de laquelle 30 % de leur financement doivent provenir de revenus externes venant compléter les fonds publics et, ce qui est peut-être encore plus significatif, elle procède à une expérience majeure de réorganisation avec la création d'une soixantaine de « centres en coopération », qui constituent des réseaux d'établissements mis au service des intérêts communs de l'université, du secteur public et de l'industrie en axant leurs efforts sur les principales lignes de force de la recherche australienne.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

En outre, l'attention de plus en plus portée dans l'ensemble de la région aux flux internationaux de connaissances et à l'application commerciale a entraîné des progrès remarquablement rapides sur la voie de l'harmonisation des législations relatives à la propriété intellectuelle. Si les avantages de l'harmonisation des législations sont devenus manifestes depuis un certain temps pour les responsables du secteur des industries de pointe, les pays de la région reconnaissent aujourd'hui, en rattrapant leur retard, que leur alignement sur une législation internationalement admise dans ce domaine crée un climat plus propre à attirer les investissements étrangers, qu'il s'agisse de technologies ou de capitaux. Par conséquent, bien que des pays tels que la Malaisie, les Philippines, la Thaïlande et l'Indo-

nésie restent des producteurs très marginaux de technologie mesurée en brevets internationaux, ils ont rejoint le mouvement régional en faveur de l'harmonisation des législations concernant les brevets, les droits d'auteur, les conceptions et les marques. Certains pays, tels que la Chine, ont introduit un cadre législatif à l'occasion d'une refonte majeure de tout le système juridique associée à la restructuration économique radicale du pays. Une législation relative à des technologies déterminées, comme celles qui sont liées à la production de variétés de plantes ou de circuits intégrés, a déjà été introduite dans les pays les plus industrialisés de la région. Le Forum de coopération économique Asie-Pacifique a fait du renforcement de cette harmonisation une de ses principales priorités.

INTERNATIONALISATION ET COOPÉRATION

L'économie est basée sur un savoir de plus en plus mondialisé ; plusieurs pays d'Asie s'efforcent d'internationaliser leur capacité de R-D afin d'avoir accès aux connaissances qui, sinon, ne sont transférées à travers les frontières que dans les enceintes bien fermées des multinationales. Cette internationalisation s'effectue de plusieurs manières. Pour le Japon, elle s'est concrétisée par la création de grands centres de R-D dans des pays occidentaux : Canon en France, Hitachi en Californie, Kobe Steel au Royaume-Uni, Kyôcera à Washington, Matsushita Electric à Francfort et à San Jose, Mitsubishi Electric à Boston, NEC à Princeton, Nissan à Detroit et à Bedford, et Sharp à Oxford. En même temps, les unités de recherche des entreprises japonaises demeurent, tout en étant de plus en plus reliées aux publications scientifiques internationales, plus tributaires de la R-D japonaise que de celle de tout autre pays. Cela s'explique en partie par les barrières linguistiques et la distance géographique, mais surtout par la grande adaptation des réseaux de recherche locaux au contexte culturel japonais (Hicks *et al.*, 1994). En revanche, le Japon s'attache maintenant à internationaliser sa population d'étudiants. En 1983, le Premier Ministre Nakasone Yasuhiro a promis que le Japon accueillerait 100 000 étudiants étrangers par an d'ici à l'an 2000. Le nombre d'étudiants étrangers

au Japon a rapidement augmenté pour atteindre 48 561 en 1992, soit une multiplication par plus de quatre depuis 1982. Près de 30 % de ces étudiants se spécialisaient dans les sciences, l'ingénierie ou la médecine (Normile, 1993).

Dans le cas de la République de Corée, les difficultés majeures rencontrées aujourd'hui concernent les « goulets d'étranglement de la croissance ». Jusqu'à présent, le pays s'est appuyé sur des technologies importées de l'étranger pour générer une croissance industrielle rapide. Mais le fossé technologique entre la République de Corée et les pays pleinement industrialisés s'étant rétréci, il est devenu de plus en plus difficile de continuer à progresser sur une assise de technologies importées. Pendant ce temps, les connaissances scientifiques et technologiques indispensables restent largement contrôlées par les entreprises multinationales et ne sont pas aisément accessibles. La réponse de la République de Corée a été l'adoption d'un programme de partenariats locaux et internationaux pour la R-D visant à établir de véritables passerelles entre les intérêts des universités et des entreprises et à étendre ces réseaux au niveau international. La loi de promotion de la R-D en coopération a été adoptée en 1993 pour promouvoir cette collaboration. La République de Corée compte également sur ces nouvelles activités de coopération pour offrir des possibilités de formation au personnel scientifique spécialisé. En 1994, 11 instituts de recherche et 13 universités participaient à des programmes de coopération entre l'industrie et les instituts universitaires de recherche au niveau des 2^e et 3^e cycles qui étaient expressément consacrés à former des personnels pour la R-D.

L'internationalisation exige des apports de qualité appréciés par les partenaires internationaux avec lesquels on coopère. Les pays les moins avancés d'Asie ont donc un handicap à cet égard. Les taux de publication peuvent être considérés comme l'expression du niveau de participation internationale d'un établissement scientifique national et il faut reconnaître que les pays de l'ANASE n'apportent qu'une contribution limitée à cet égard. Ainsi, le nombre d'articles présentant des résultats de recherche s'est élevé pour toutes les disciplines de 1983 à 1986, selon le service des citations de l'Institute for Scientific Infor-

mation (ISI), à 373 pour l'Indonésie, 810 pour la Malaisie, 1 062 pour la Thaïlande et 1 190 pour Singapour. En Indonésie et en Thaïlande, il existait une forte corrélation entre les publications internationales et la collaboration internationale, encore qu'un niveau relativement modeste de collaborations au niveau national (comme c'était également le cas en Malaisie) soit révélateur de faiblesses de la S et T dans ces pays. Si le niveau de publication dans les revues internationales ne constitue qu'un indicateur très partiel des atouts nationaux sur la scène internationale en matière de S et T (en particulier dans des pays tels que l'Indonésie et la Thaïlande où la langue constitue une barrière), il n'en est pas moins une mesure valable de la participation internationale. Fait significatif, la répartition entre les différentes disciplines des publications internationales des scientifiques des pays de l'ANASE révèle qu'en Malaisie, en Thaïlande et en Indonésie, la médecine clinique et la biologie représentaient la majorité des articles présentant des résultats de recherche, alors que la part des sciences de l'ingénieur et de la technologie était relativement faible. Cette part était bien plus importante à Singapour et dans la République de Corée, pays nouvellement industrialisés où la croissance de ces disciplines est beaucoup plus rapide que celle de la biologie. Ces différences reflètent la variation, d'un pays à l'autre, des liens entre les établissements scientifiques et les industries manufacturières. Il convient cependant de faire observer que les indicateurs bibliométriques globaux occultent les centres d'excellence spécialisés dans la recherche qui commencent aujourd'hui à se constituer dans certains domaines autour de scientifiques particulièrement marquants dans tous les pays de la ceinture Pacifique.

Par-delà ces disparités nationales, la coopération internationale est généralement perçue en Asie comme un moyen de surmonter l'isolement relatif par rapport aux principaux courants scientifiques que révèlent les statistiques sur les publications. Cependant, la plupart des chercheurs de l'Asie du Nord-Est et du Sud-Est ont encore surtout tendance à établir ces relations de coopération avec des scientifiques et des institutions des pays les plus industrialisés d'Europe et des États-Unis plutôt qu'avec ceux

d'autres pays d'Asie. Ces réseaux s'appuient en partie sur les liens tissés alors que les chercheurs en question étaient encore étudiants.

On décèle toutefois de nos jours des signes de changement, grâce en partie à ces liens personnels tissés par les étudiants asiatiques aux États-Unis ou en Europe, ainsi qu'à la modernisation des infrastructures et des missions scientifiques locales. Ainsi, l'Association des biologistes chinois d'Amérique (SCBA), fondée en 1983 pour renforcer les relations entre les scientifiques sino-américains et leurs homologues de la ceinture Pacifique, est aujourd'hui de plus en plus présente dans cette dernière région puisqu'elle s'est réunie à Hong Kong en 1990 et à Singapour en 1992. De nombreux chercheurs rentrent aujourd'hui des États-Unis à Taiwan, à Singapour et à Hong Kong, attirés par de meilleures perspectives, et maintiennent ensuite leurs réseaux à travers l'Asie depuis leurs nouveaux postes (Kinoshita, 1993 ; Stone, 1993).

LE FUTUR VISAGE SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE DE LA CEINTURE PACIFIQUE

Les pays de la ceinture Pacifique, c'est-à-dire les pays de l'Asie de l'Est et du Sud-Est ainsi que de l'Australasie, voient une part croissante de leurs échanges s'orienter vers l'Asie et, dans le cadre de la CEAP, commencent à coopérer à des programmes communs de libéralisation du commerce et d'harmonisation des normes et des législations relatives aux droits de propriété intellectuelle. Ces pays se penchent par conséquent de plus en plus sur leur statut régional et sur des modèles endogènes de développement, et voient dans la capacité scientifique et technologique le moteur de la compétitivité économique nationale. Ils accordent ainsi une grande priorité au développement des ressources humaines pour la S et T et à l'amélioration de la gestion de ces ressources afin de canaliser la science nationale vers une application commerciale efficace. Dans le passé, les pays les moins avancés de la région prenaient pour modèles de réussite les États-Unis et l'Allemagne. Aujourd'hui, ils s'intéressent bien davantage aux autres économies asiatiques

dont la croissance est beaucoup plus rapide que celle des pays de l'OCDE et qui investissent de manière bien plus sérieuse dans la science : celles du Japon, de la République de Corée, de Taiwan et de Singapour. La ceinture Pacifique cherche de plus en plus, depuis 1990, à se forger une identité économique régionale dans laquelle la science est un élément central de la stratégie de développement. Même si elle s'exprime de manière différente suivant les pays, tous cherchent à orienter la science du secteur public vers le marché et se tournent vers le secteur des entreprises pour assurer à l'avenir la croissance et l'application de la S et T. De même, tous les pays de la région investissent dans la S et T et planifient son développement à long terme. Dans ce contexte, la concrétisation de la priorité accordée à la S et T diffère toutefois suivant les nations.

L'Indonésie, par exemple, se trouve toujours à un stade relativement peu avancé de la transformation technologique de son économie. Près des trois quarts de la production totale des industries manufacturières correspondent à des produits à faible technicité. Les petites industries et le secteur informel bénéficient donc d'un soutien prioritaire. Parallèlement, toutefois, le développement de moyens technologiques sophistiqués dans des secteurs dits « névralgiques » tels que l'aéronautique, l'énergie et l'électronique, est une stratégie fortement soutenue pour « tirer » l'économie hors de son statut d'économie de pays en développement. La politique scientifique du pays est confrontée à deux défis majeurs. Elle doit tout d'abord remédier à la pénurie d'ingénieurs et de scientifiques qualifiés, notamment en ce qui concerne les diplômés universitaires les plus élevés. Grâce à un emprunt international, l'Indonésie a entrepris le Programme scientifique et technologique pour le développement industriel (STALD) destiné à étoffer les ressources en S et T afin de déblayer le terrain pour le « décollage » industriel pendant la période couverte par le Sixième Plan quinquennal qui amènera le pays à l'an 2000. Le second défi majeur concerne la faible contribution de l'industrie à la R-D. Actuellement, le secteur privé ne prend en charge que 30 % des dépenses de R-D de l'Indonésie. A long terme, il est envisagé de porter ce pourcentage à 70 %. Les Philippines et la Thaïlande partagent les précoc-

cupations de l'Indonésie concernant le développement des ressources humaines pour la S et T. L'exode de compétences hors d'Indonésie est relativement faible. Les diplômés formés à l'étranger ont tendance à rentrer chez eux.

Aux **Philippines**, où la culture est plus occidentalisée du fait de l'influence exercée naguère par les États-Unis et où les taux d'alphabétisation sont très élevés, cet exode est un problème sérieux. Face à cette situation, les Philippines ont entrepris un Projet d'enseignement de la science et de l'ingénierie visant à former 3 000 scientifiques et ingénieurs supplémentaires d'ici à 1998. Ces efforts de développement des ressources humaines sont complétés dans le cadre du Plan directeur pour la science et la technologie par le développement d'une culture de S et T visant à renforcer les infrastructures existant dans ce domaine et les capacités de R-D dans les secteurs prioritaires, tout en couplant le développement endogène de la S et T à une politique de renforcement de l'industrie et des transferts de technologies et en modernisant les secteurs productifs grâce à des transferts massifs de technologies de sources aussi bien nationales qu'étrangères. Une attention particulière est donc accordée à l'élaboration d'une législation propre à encourager les flux technologiques internationaux.

Dans le cas de la **Thaïlande**, l'État est de plus en plus conscient du fait que la forte croissance des années 80 a peu de chances de se poursuivre si la capacité technique nationale n'est pas sensiblement renforcée à tous les niveaux — des techniciens d'usine aux chercheurs les plus pointus. Le degré de priorité le plus élevé est donc accordé à la formation des ressources humaines nécessaires pour fournir le soutien technique indispensable à l'industrie afin qu'elle puisse bénéficier des flux d'investissements techniques et financiers. L'industrie a fortement contribué entre-temps à la croissance de la capacité de R-D de la Thaïlande de 1986 à 1991 puisqu'elle a généré la plus grande partie de l'augmentation de DIRD en pourcentage du PIB (de 0,02 % à 0,15 %). Le gouvernement met plus l'accent aujourd'hui sur les flux de technologies et le développement d'une technologie endogène que sur la R-D en soi. Une priorité élevée est accordée aux moyens de sti-

muler encore la participation du secteur privé à la R-D et au développement de la collaboration internationale dans le domaine de la S et T pour renforcer sa capacité nationale. La planification thaïlandaise pour les années 90 se caractérise par la place centrale accordée pour la première fois à des secteurs industriels précis considérés comme les plus cruciaux pour le développement futur de la Thaïlande. Les technologies génériques — microélectronique, technologie de l'information et biotechnologie — bénéficient actuellement d'un fort soutien.

La **Malaisie** s'est dotée d'une infrastructure solide d'instituts publics de recherche, mais ils sont essentiellement orientés vers l'agriculture, caractéristique héritée de l'administration coloniale britannique. Elle doit donc mettre en place les ressources nécessaires pour réaliser son ambition à long terme de devenir d'ici à 2020 une nation manufacturière. Des signes de changement sont déjà perceptibles. MIMOS, l'institut de recherche en électronique, commence à avoir un impact sur le développement d'une industrie nationale d'électronique, essentiellement grâce aux flux de personnel hautement qualifié vers ce secteur. Le Parc technologique malaisien, dans la banlieue de Kuala Lumpur, attire aujourd'hui des investissements internationaux dans des activités basées sur la technologie, et le système de subventions de l'IRPA commence à ouvrir des perspectives industrielles à la recherche de pointe. La Malaisie se soucie tout particulièrement aujourd'hui de renforcer la capacité institutionnelle sur laquelle reposent ces initiatives et d'établir des liens entre l'industrie et le secteur public. L'industrie est considérée comme la source de la croissance future de la R-D nationale. Pour ce faire, le Groupe malaisien de l'industrie et du secteur public pour la haute technologie a été officiellement créé en 1993 par le Premier Ministre pour « explorer » les perspectives industrielles fondées sur la R-D et mobiliser les moyens technologiques et industriels.

Si la Malaisie est encore en transition, la **République de Corée** a déjà une solide infrastructure scientifique basée sur l'industrie : le pays compte environ un millier d'instituts de recherche, une moitié relevant du secteur privé et l'autre moitié étant concentrée dans les dix *chaebol* (conгло-

mérats industriels) les plus importants, en particulier dans les industries électronique et chimique. Cette capacité s'est développée de pair avec d'importants investissements consentis dans les années 60 et 70 pour la formation des ressources humaines et avec un vigoureux soutien au développement des infrastructures nationales ; son exploitation a été stimulée dans les années 80 par de très importants investissements de l'industrie dans la R-D. A la fin de cette décennie, l'investissement national dans la R-D avait été multiplié par 15,5 en dix ans. Mais son succès a amené la République de Corée aux frontières du savoir sur ses marchés technologiques ciblés, de sorte qu'au lieu de se limiter, comme elle le fait traditionnellement, à des technologies importées, il va maintenant falloir qu'elle pratique une science plus fondamentale et plus visionnaire. L'internationalisation de sa base de R-D est donc au centre de sa stratégie. L'industrie coréenne met en œuvre des stratégies d'internationalisation similaires à celles du Japon en établissant également des laboratoires en Occident. Des partenariats internationaux et locaux de coopération dans le domaine de la R-D sont également encouragés, de même que l'établissement de liens plus efficaces entre l'université et l'industrie, condition préalable à l'extension de ces relations au niveau international.

Taiwan a une économie fortement dominée par les petites et moyennes entreprises. L'Institut de recherche en technologie industrielle (ITRI) a été créé dans les années 80 pour remédier à la faible contribution des petites entreprises à la R-D. Dans le cadre de cet institut, une série de centres axés sur des technologies cruciales pour Taiwan évaluent les technologies internationales, font un tri entre celles qu'il faut importer et celles qui peuvent être développées localement, et s'efforcent de galvaniser les énergies et d'établir des liens avec l'industrie. Le personnel de R-D passe fréquemment de l'Institut à des entreprises industrielles. Ainsi, dans le cadre de l'ITRI, 47 entreprises de Taiwan se sont regroupées pour développer des micro-ordinateurs portables de format A4. Grâce notamment au soutien et à la collaboration des entreprises à la recherche, l'investissement global de Taiwan dans la R-D a été multiplié par 12 entre 1978 et 1990, passant de 6 à 71 milliards

de nouveaux dollars de Taiwan. Le récent Plan de développement national affecte 18 milliards de dollars des États-Unis au financement de la R-D et du développement technologique. La stratégie nationale prévoit un désengagement de la fabrication du matériel informatique au profit de la conception de logiciels : un parc industriel est donc en cours de mise en place pour accélérer le développement d'industries locales spécialisées dans ce domaine.

Depuis quelques années, **Singapour** met résolument en œuvre une politique d'innovation en matière de S et T, en reconnaissant pleinement que sa capacité de R-D est fondamentale pour sa survie économique. La structure institutionnelle de mise en œuvre de la politique de S et T a été sensiblement renforcée en 1991 par la création du Bureau national de science et de technologie (NSTB) placé sous l'autorité du Ministère du commerce et de l'industrie. Ce Bureau a accordé la priorité au développement des instituts de recherche stratégique de haute qualité — en technologie de l'information, biologie cellulaire et moléculaire et techniques de fabrication. Le secteur privé a joué un rôle de premier plan dans le renforcement de la capacité scientifique nationale qui a été le fruit des investissements de Singapour vers la fin des années 80. L'État encourage fortement l'augmentation des investissements du secteur privé dans la R-D et la venue à Singapour de scientifiques du monde entier qui sont à l'avant-garde de leur discipline pour tenter de faire émerger des idées « géniales » susceptibles de se matérialiser sous forme de produits, voire de conduire à la création de marchés entiers. Des multinationales sont vivement encouragées à implanter leurs activités à forte valeur ajoutée à Singapour, quitte à délocaliser la production à forte intensité de main-d'œuvre ailleurs. Parallèlement, la famille nouvelle des « technopreneurs » (entrepreneurs locaux capables d'innover dans le domaine de la technologie), qui a commencé à prospérer à la fin des années 80, est elle aussi encouragée.

Le **Japon** demeure la puissance scientifique et technologique dominante en Asie. Il s'est traditionnellement appuyé sur son secteur industriel pour jouer un rôle de premier plan dans la R-D. Les universités ont générale-

ment tenu une place relativement limitée dans le système national d'innovation, sauf dans la sélection des talents de haute qualité et dans l'établissement de liens entre les communautés scientifiques aussi bien nationales qu'internationales. A l'instar de la République de Corée, le Japon doit maintenant être à l'avant-garde de la création de nouvelles connaissances résultant de recherches fondamentales. L'accroissement de ces recherches n'est plus simplement mentionnée comme une nécessité, mais comme une urgence. En s'appuyant sur sa politique volontariste des années 80 en faveur des technologies de base pour les industries de l'avenir, les nouveaux matériaux, la biotechnologie et les « nouveaux éléments fonctionnels », et sur ses investissements de 1986 dans le Programme de recherches de pointe, le Japon se tourne aujourd'hui vers la science et vers la mégascience pour faire face aux problèmes globaux. On s'y attache actuellement à augmenter sensiblement le soutien à l'infrastructure et à la recherche par l'intermédiaire du secteur universitaire et des instituts nationaux de recherche.

L'Australie et la Nouvelle-Zélande, qui ont toutes deux une forte tradition de recherche fondamentale, se sont rendu compte qu'elles étaient trop tributaires d'un financement par le secteur public, qui n'a pas suffisamment incité l'industrie nationale à innover. La Nouvelle-Zélande a réagi par une restructuration globale de la recherche publique visant à encourager la compétitivité et elle a décidé d'affecter en priorité ses ressources relativement modestes à la recherche sur la transformation des produits de l'agriculture tout en renforçant progressivement ses liens industriels, scientifiques et technologiques avec l'Asie. L'Australie encourage également le renforcement des liens scientifiques, technologiques et industriels avec l'Asie en mettant l'accent sur la constitution de partenariats dans les domaines où la recherche nationale est forte et qui sont liés au développement et aux « murs » auxquels les pays asiatiques sont confrontés en matière d'infrastructure comme conséquence directe de leur croissance rapide. Sur le plan intérieur, l'Australie s'attache à rendre plus compétitive la recherche aussi bien universitaire que publique et à l'orienter vers des débouchés commerciaux tout en développant

la participation des entreprises à la R-D. Le financement de la R-D par celles-ci a ainsi doublé entre 1984-1985 et 1991-1992, de même que leur financement de la recherche universitaire, tandis que leur soutien à la R-D du secteur public dans le cadre de l'Organisation du Commonwealth pour la recherche scientifique et industrielle (CSIRO) a été multiplié par cinq pour atteindre 21,4 % du financement total de cette organisation. L'Australie accorde aujourd'hui une attention particulière à l'établissement de liens au sein du système national d'innovation, grâce notamment à des programmes bien financés d'entreprises actives dans le domaine de la S et T et au programme du Centre de recherches menées en coopération par les universités, le secteur public et les entreprises.

L'action scientifique et technologique dans les pays de la ceinture Pacifique se caractérise donc par une forte vitalité, un important volet expérimental, une confiance grandissante et la volonté d'assurer la compétitivité économique pendant le prochain millénaire.

Il faut toutefois reconnaître aussi pour conclure que les débats relatifs à la S et T dans la région montrent que l'on craint de plus en plus les répercussions négatives de la croissance économique rapide observée dans l'ensemble de la région. La Banque asiatique de développement estime que, dans une première phase, les pays de l'ANASE devront mobiliser à eux seuls 1 000 milliards de dollars des États-Unis d'ici à 2005 pour couvrir le coût des infrastructures indispensables au maintien des taux de croissance (Bardsley, 1995). Des investissements considérables doivent être consentis aussi bien dans les ressources humaines que dans les infrastructures urbaines et de communication nécessaires pour maintenir une industrie tirée en avant par la S et T. De plus, il ne suffit pas de former des ressources humaines techniquement qualifiées en S et T. La participation fructueuse à l'ordre technologique mondial qui se dessine au cours de la présente décennie passe aussi par le sens de l'innovation en matière d'organisation et par de nouvelles capacités dans le domaine social et dans celui de la gestion. Partant de cultures et de modes d'organisation assez différents, chacun des pays de

la ceinture Pacifique doit surmonter les entraves qui y sont inhérentes pour capter les flux technologiques internationaux et trouver rapidement des applications commerciales à la R-D nationale. En outre, il faut rappeler que derrière l'éclat du miracle économique de la ceinture Pacifique, il reste des poches de sous-développement que les ressources nationales de S et T doivent s'attacher à réduire. Les passerelles entre les secteurs les plus traditionnels et le reste de l'économie sont souvent détruites à mesure que les technologies modernes occupent l'espace économique. Le problème tient fréquemment au non-alignement des normes de qualité technique et les efforts nationaux de S et T constituent l'unique ressource pour réintégrer le pluralisme économique et technologique qui caractérise les économies en développement. Enfin, le développement rapide s'est souvent traduit par la non-prise en compte des impératifs écologiques. L'approvisionnement en eau, le traitement des eaux usées, la gestion des déchets solides et l'assainissement, par exemple, entreront donc probablement en concurrence avec les exigences de la poursuite d'une industrialisation rapide et du développement urbain. La plupart des pays de la ceinture Pacifique n'ont pas développé une capacité de R-D suffisante dans le domaine de la gestion de l'environnement. Cette nécessité est toutefois largement reconnue aujourd'hui. La République de Corée a ainsi affecté pour la décennie en cours un milliard de dollars des États-Unis à la mise au point de technologies de protection de l'environnement, qui sont à Singapour, en ce qui concerne le volet technologique, une des grandes préoccupations du Bureau national de la science et de la technologie.

En matière de S et T, les pays de la ceinture Pacifique mènent donc une action qui s'inscrit à la fois dans les trois perspectives ouvertes en 1965 à la première conférence sur les politiques scientifiques et techniques en Asie. La voie la plus fructueuse a été celle suivie par la République de Corée et elle reste aujourd'hui un modèle pour de nombreuses autres nations de l'Asie du Sud-Est. La caractéristique dominante de la politique mise en œuvre aujourd'hui dans la région est l'intérêt porté à l'établissement de liens étroits entre le système national de S et T et les utilisateurs.

Mais étant donné la nécessité de définir des priorités réelles pour l'affectation de ressources limitées dans un contexte économique mondial hautement concurrentiel, la planification et la fixation des priorités sont partout des aspects centraux des politiques. Enfin, les nouvelles connaissances étant devenues le principal moteur des nouvelles industries, les moyens de générer des recherches fondamentales dans des domaines qui se situent à l'avant-garde de la science et d'accéder aux résultats des travaux de ce type accomplis ailleurs sont également explorés.

Lors de la rédaction du présent chapitre, **Stephen Hill** était directeur du Centre for Research Policy qu'il a créé à l'Université de Wollongong en tant que centre spécial de recherche ou centre d'excellence du Conseil australien de la recherche. Stephen Hill fait depuis trente ans des recherches dans toute l'Asie sur des questions de science, société et développement et s'est acquitté de missions de consultant de très haut niveau auprès de la plupart des gouvernements et organisations internationales de la région. Il a fondé en 1988 le Science and Technology Policy Asian Network (Réseau asiatique de politique scientifique et technologique, STEPAN), basé à l'UNESCO, et a mis en place en 1991 le programme et le réseau de ressources humaines et de technologie industrielle du Forum de coopération économique Asie-Pacifique (CEAP). Il a été nommé en juin 1995 directeur du Bureau régional de l'UNESCO pour la science et la technologie en Asie du Sud-Est, à Djakarta.

Lors de la rédaction du présent chapitre, **Tim Turpin** était directeur adjoint (aujourd'hui directeur) et chercheur principal au Centre for Research Policy de l'Université de Wollongong. Après avoir étudié l'anthropologie, il a occupé des postes administratifs de haut niveau et a été directeur de recherche, directeur de département et conseiller principal auprès du gouvernement de l'État de Victoria (Australie). Ses recherches et ses publications sont axées sur le changement culturel et organisationnel. Il collabore étroitement avec les spécialistes de la République populaire de Chine à la réforme des institutions de S et T et à la commercialisation de la recherche.

Heather Spence est chercheuse au Centre for Research Policy de l'Université de Wollongong, et, actuellement, directrice de programme pour le Réseau asiatique de politique scientifique et technologique (STEPAN). Au cours des vingt dernières années, elle a beaucoup travaillé sur le terrain dans plusieurs pays d'Asie, notamment le Viet Nam, la Malaisie, la Thaïlande et la Chine. Elle a une très grande expérience de la conception et de l'actualisation des systèmes de gestion de l'information et des programmes.

BIBLIOGRAPHIE²

- ASCA. 1994. *Actes de la 13^e réunion de l'ASCA*, 14-17 novembre 1994, Manille, Association for Science Cooperation in Asia.
- Australie. 1993-1994. *Science and technology budget statement 1993-1994*, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- . 1994-1995. *Science and technology budget statement 1994-1995*, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- Banque asiatique de développement. 1993. *Asian development outlook 1993*, Oxford, Oxford University Press.
- Banque mondiale. 1994. *World tables 1994*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- Bardsley, A. 1995. *Bond market developments in ASEAN countries*, publication du Réseau électronique de la Southeast Asia Discussion List (SEASIA), 16 mars 1995.
- BPPT. 1993. *Science and technology indicators of Indonesia*, 1^{re} éd., Djakarta, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, p. 85-91 et p. 156.
- Choi, Hyung Sup. 1986. *Technology development in developing countries*, Tokyo, Asian Productivity Organization, p. 22-23.
- CNUCED (Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement). 1990. *Trade and development report 1990*, 92-3, New York, Nations Unies.
- DIST (Department of Industry, Science and Technology). 1994. *Australian science and innovation resources brief, 1994*, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- East Asia Analytical Unit. 1992. *Australia's business challenge, South-East Asia in the 1990s*, Canberra, Department of Foreign Affairs and Trade et Austrade.
- Edwards, F. 1992. *Research and development spending : a comparison between New Zealand and other OECD countries*, Wellington, Ministère de la recherche, de la science et de la technologie, rapport n° 5.
- FMI. 1992. *International financial statistics*, Washington, D. C., Fonds monétaire international.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P. et Trow, M. 1994. *The new production of knowledge — The dynamics of science and research in contemporary societies*, Londres, Sage.
- Hicks, D., Ishizuka, T., Keen, P. et Sweet, S. 1994. Japanese corporations, scientific research and globalization, *Research Policy*, 23, p. 375-384.
- Hill, S. 1991. Building platforms for successful cooperative research and development within the Asia-Pacific region. dans K. Minden, (dir. publ.), *Pacific cooperation in science and technology*, Hawaii, East-West Center – International Relations Program, p. 143-153.

2. Les publications des ateliers internationaux STEPAN, ASCA, STEPI ou NISTEP fournissent des informations nationales couvrant toutes les questions abordées dans ce chapitre.

- , 1992. Science and technology : keys to Asian renaissance of the 1990s ?, dans S. Hill, et S. Liyanage (dir. publ.), *Proceedings of the meeting of the Science and Technology Policy Asian Network (STEPAN)*, Pattaya, Thaïlande, août 1990, Wollongong, Centre for Research Policy.
- , 1994. Confronting the eleven myths of research commercialization, dans Actes du séminaire international 1994 de STEPAN (Science and Technology Policy Asian Network), *Maximising national and regional benefits from public investments in research, science and technology*, Wellington, Department of Research, Science and Technology.
- , 1995. Regional empowerment in the new global science and technology order, dans National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), Japon, *Regional management of science and technology*, Actes de l'Atelier international sur les politiques régionales de recherche en science et technologie (RESTPOR), Tokyo, NISTEP.
- Hill, S., Marsh, A., Merson, J. et Siregar, F. 1994. Science and technology : partnership in development, dans Department of Foreign Affairs and Trade (East Asian Analytical Unit), *Expanding horizons : Australia and Indonesia into the 21st century : future economic relations*, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- Hill, S. et Turpin, T. 1995. Cultures in collision : the emergence of a new localism in academic research, dans M. Strathern (dir. publ.), *The uses of knowledge : global and local relations. The reshaping of anthropology*, vol. 1, *Shifting contexts*, Londres, Routledge.
- Holloway, N., Rowley, A., Islam, S. et Vatikiotis, M. 1991. East Asian trade grouping at top of region's agenda – an insurance policy, *Far Eastern Economic Review*, 25 juillet, p. 53.
- Kim, L. et Dahlman, C. J. 1992. Technology policy for industrialization : an integrative framework and Korea's experience, *Research Policy*, 21, p. 437-452.
- Kinoshita, J. (dir. publ.), 1993. Asia puts its stamp on science, *Science*, 262, p. 348-367.
- Malaisie, Ministère de la science. 1990. *Industrial technology development : a national plan of action*, rapport du Conseil pour la coordination et le transfert des technologies industrielles, Kuala Lumpur, Ministère de la science, de la technologie et de l'environnement.
- Malaisie, National Council for Scientific Research and Development. 1993. *Annual report 1993*, Kuala Lumpur, Ministère de la science, de la technologie et de l'environnement.
- National Board of Employment, Education and Training. 1995. *Using basic research : assessing connections between basic research and national socio-economic objectives : review of current theory and international practices*, rapport commandé par le NBEET et préparé par le Centre for Research Policy, Wollongong, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- National Science and Technology Board. 1994. *Annual report, 1993-1994*, Singapour, NSTB.
- Nit, C. 1994. Science and technology development for industrial competitiveness in Thailand : problems and lessons, dans *Science and Technology Policy Institute (STEPI), S et T policy for industrial competitiveness and Korea-ASEAN cooperation*, Actes du premier atelier Corée-ANASE, avril 1994, Séoul, STEPI.
- Normile, D. 1993. Japanese universities become magnets for Asian students, *Science*, 262, p. 351.
- NSF. 1993. *Human resources for science and technology : the Asian region*, études de la série sur les ressources scientifiques, rapport spécial, NSF 93-303, Washington, D. C., National Science Foundation.
- OCDE. 1992. *Principaux indicateurs de la science et de la technologie*, n° 1, Paris, OCDE.
- , 1993. *Principaux indicateurs de la science et de la technologie*, n° 2, Paris, OCDE.
- , 1994. *Politique scientifique et technologique — Bilan et perspectives, 1994*, Paris, OCDE.
- Okamura, S., Sakauchi, F. et Nonaka, I. (dir. publ.). 1993. *New perspectives on global science and technology policy*, NISTEP, Actes de la troisième Conférence internationale sur la recherche relative aux politiques scientifiques et technologiques, Tokyo, MITA Press.
- Pavitt, K. 1992. Internationalization of technological innovation, *Science and Public Policy*, 19, p. 119-123.
- PECC (Conseil de coopération économique du Pacifique). 1994. Science and technology task force, *Pacific Science and Technology Profile (third issue)*, Singapour, PECC.
- Prime Minister's Science and Engineering Council. 1992. *Australian science and technology opportunities and strategies in the Asia Pacific region*, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- Raman, A. et Hill, S. 1982. *Science, technology and development in Asia and the Pacific*, Conférence CASTASIA II, Manille, document SC-82/CASTASIA II/Réf. 1, Paris, UNESCO.
- Singapore National Science and Technology Board. 1993. *1992 National survey of R-D in Singapore*, Singapour, NSTB.
- STEPAN (Science and Technology Pacific Asia Network). 1992. *Commercialization of research systems and S & T management information systems : development and application issues*, Actes de la réunion régionale, 9-10 décembre 1992, Hanoi.
- , 1993. *Managing information for commercialization of research*, Actes de la réunion régionale, 6-8 septembre 1993, Manille.
- , 1994. *Maximising national and regional benefits for public investments in research, science and technology*, Actes de la réunion régionale, 18-21 octobre 1994, Wellington.
- STEPI (Science and Technology Policy Institute). 1994. *S & T policy for industrial competitiveness and Korea-ASEAN cooperation*, Actes du premier atelier Corée-ANASE, avril 1994, Séoul, STEPI.
- , 1995. *Review of science and technology policy for industrial competitiveness in Korea*, Projet de coopération ANASE/République de Corée, Séoul, STEPI.
- Stone, R. 1993. The China-America connection, *Science*, 262, p. 350.
- Thailand National Science and Technology Development Agency, 1992. *Strategic plan 1992-1996*, Bangkok.

UNESCO. 1993. *The management of science and technology in transition economies*, Études et documents de politique scientifique, n° 74, Paris, UNESCO.

—. 1993. *Annuaire statistique de l'UNESCO 1993*, Paris, UNESCO.

Yeo, K. T. 1995. Technology strategy and dynamics in national economic development — the case of Singapore, dans National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), Japon, *Regional management of science and technology*, Actes de l'atelier international sur la recherche relative aux politiques régionales dans le domaine de la science et de la technologie (RESTPOR), Tokyo, NISTEP.

La Chine

ZHOU GUANGZHAO

La Chine occupa une place de premier plan quant à la science et à la technologie pendant plus de mille ans et apporta des contributions d'une qualité exceptionnelle à la civilisation humaine. De nombreuses réalisations importantes furent accomplies dans les domaines des mathématiques, de la géographie, de l'astronomie et de la médecine, ainsi que dans ceux de la fonte des métaux, de la céramique, de l'architecture et de l'agriculture. Les quatre grandes inventions — la boussole, la fabrication du papier, la poudre à canon et l'impression typographique — que la nation chinoise offrit au monde furent des réalisations technologiques qui ont exercé une influence énorme sur le progrès historique de l'humanité.

Il est intéressant de noter que ces exemples ne reflètent pas seulement les normes les plus élevées et les réalisations les plus importantes de l'ancienne technologie chinoise. Ils révèlent aussi les principaux traits caractéristiques de la structure technologique traditionnelle et leur corrélation intrinsèque avec l'ancienne structure sociale. La structure technologique d'une société dépend de la structure sociale et de ce que celle-ci exige de la technologie. Ainsi, étant donné que le système du pouvoir centralisé était le trait dominant de la société féodale chinoise, les technologies qui étaient au service de ce système, tels la communication, les transports, la mise au point du calendrier astronomique, connurent toutes un essor rapide. Toutefois, ayant été pendant longtemps l'apanage de certains métiers, ces technologies, bien qu'elles eussent atteint des normes relativement élevées, ne purent guère avoir un quelconque effet révolutionnaire sur les autres métiers ou secteurs de la société. En outre, ces technologies étaient entre les mains de ceux qui les maîtrisaient, et elles étaient transmises de père en fils, du maître de la corporation à l'apprenti, ou étaient simplement monopolisées par les pouvoirs publics. Des exemples de pertes de technologies et de réinventions répétées abondent. Ce qui mérite d'être noté est le fait que l'évolution des technologies chinoises traditionnelles était étroitement liée à la stabilité des dynasties féodales et qu'elles subirent fortement le contrecoup de l'effondrement de ces dynasties. Cela créa un sérieux obstacle à l'accumulation du savoir et au transfert de technologies.

Si l'essor de l'ancienne technologie chinoise était tributaire des structures politiques et économiques de la société de l'époque, le développement de la théorie et des expériences scientifiques dans la Chine antique était déterminé principalement par la structure culturelle traditionnelle. Comme on le sait, toute théorie ancienne de la science se rapporte étroitement à des optiques philosophiques. A partir de la dynastie des Qin, une structure idéologique prit corps en Chine, avec le confucianisme comme théorie orthodoxe et le taoïsme comme complément. La philosophie confucéenne et son modèle cognitif, du point de vue positif, permirent l'éclosion des théories anciennes de la science, principalement à partir de l'expérience directe et de la perception auditive et visuelle, avec un accent particulier sur l'art de gouverner compris comme science sociale (et, bien entendu, imagination et raisonnement ne manquaient pas). Par ailleurs, bien que les rapports entre la nature et l'être humain fussent interprétés de manière différente par les diverses écoles de pensée, ce processus n'est pas très éloigné de celui qu'a connu la science contemporaine : sa conception de la nature a progressivement évolué à partir de l'optique mécanique qui l'a dominée pendant trois siècles.

D'une manière générale, si l'évolution de la science et de la technologie parcourt jusqu'au xv^e siècle une longue histoire marquée par une brillante culture, elle devait par la suite prendre du retard sur la science et la technologie mondiales. Comment cela a-t-il pu se produire ? La question fait toujours l'objet d'une controverse. Du point de vue culturel, les lettrés de la Chine ancienne considéraient un système complexe comme un ensemble dialectique et ne prenaient jamais la peine de l'analyser dans ses différentes parties afin de découvrir sa structure interne et son mécanisme sous-jacent. La logique et les mathématiques ne furent pas systématiquement développées, et aucune institution savante se consacrant aux sciences naturelles ne fut créée. Dans le même temps, la relégation des techniciens et des marchands au bas de la hiérarchie sociale entravait sérieusement l'émergence d'une productivité nouvelle et l'avènement de la science et de la technologie contemporaines. La longue stagnation de l'infrastructure de la société

féodale et le caractère conservateur et rétrograde de l'empire traditionnel isolèrent la Chine du monde extérieur et provoquèrent son retard par rapport aux pays occidentaux dans le domaine de la science et de la technologie à partir du XVI^e siècle.

Le développement de la science et de la technologie contemporaines de la Chine remonte à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e : les invasions incessantes démontraient la faiblesse et les défaillances de l'empire du Milieu. La Chine commença à envoyer de nombreux étudiants dans des pays occidentaux et, à leur retour dans le pays, ceux-ci s'attachèrent à populariser les connaissances scientifiques, à créer des industries, à publier des revues de science et de technologie, et à créer des associations scientifiques et des instituts de recherche. En 1928, étaient fondées l'Academia Sinica et l'Académie des sciences de Beijing. Toutefois, les guerres fréquentes et une capacité nationale inadéquate interdirent un développement rapide de la science. C'est seulement depuis la fondation de la République populaire de Chine, en 1949, que le pays a fait des progrès importants dans le domaine de la science et de la technologie (S et T). Au bout de quarante années d'une action continue, conjuguée à celle de la communauté scientifique et technologique, la Chine a créé un système de S et T, avec des disciplines relativement complètes intégrant les sciences fondamentales, les sciences appliquées, les sciences de l'ingénieur (conception et développement). Des réalisations remarquables ont été accomplies, et des contributions hors du commun apportées au développement du pays et du progrès social.

LES BESOINS : DÉFIS ET POSSIBILITÉS

Tandis que nous approchons de la fin du siècle, la société humaine subit une mutation d'une ampleur exceptionnelle. La profondeur, l'étendue et la rapidité du développement de la science et de la technologie modernes sont sans précédent, et l'interaction entre la S et T et la construction économique et le développement social du pays est encore plus étroite. Dans ces conditions, quel devrait être le processus de développement de la science

et de la technologie chinoises, et quelles mesures faut-il prendre ? Telles sont les questions que la communauté scientifique chinoise étudie sans relâche et auxquelles elle tente de répondre. Deux aspects importants doivent être considérés.

D'abord, la science est régie par ses propres lois objectives d'évolution. En conséquence, lorsqu'on élabore la politique scientifique et technologique, on doit tenir compte de ces lois objectives. Le développement de la S et T est assujéti à deux forces motrices : le déchiffrement des mystères naturels et l'impulsion pratique donnée par la construction économique et le développement social. Il faut mobiliser entièrement ces deux forces motrices pour préparer la voie à un développement sans à-coups de la S et T, en utilisant les différents mécanismes d'exploitation et systèmes de gestion.

Ensuite, le champ, la rapidité et les principaux axes du développement de la S et T dépendent étroitement des conditions nationales de base et de la capacité nationale globale. A l'heure actuelle, ces facteurs nationaux chinois sont les suivants :

Surpopulation

La population de la Chine a doublé au cours des quarante dernières années, atteignant 1,2 milliard d'habitants, soit un cinquième de la population mondiale. Sur ce nombre, 80 % sont engagés dans l'agriculture. Même si les programmes de planification familiale mis en œuvre en milieu rural sont envisagés avec optimisme, un accroissement futur de la population demeure néanmoins possible. Selon les prévisions, le nombre d'habitants s'établira vers l'an 2030 autour de 1,5 à 1,6 milliard. La nécessité de pourvoir aux besoins quotidiens d'une population si nombreuse, d'assurer son éducation et ses soins de santé constituent un difficile défi pour le développement de l'économie et de la science.

Pénurie relative de ressources

Le territoire de la Chine s'étend sur plus de 9,6 millions de kilomètres carrés, mais, une forte proportion de cette superficie étant constituée de déserts, de permafrost et de

zones arides ne se prêtant pas à l'agriculture et à l'élevage, la superficie de terre arable par habitant est inférieure à 0,14 hectare. La Chine vient en tête dans le classement mondial des ressources en eau, mais la part par habitant n'est que le quart de la moyenne mondiale. La couverture forestière s'est rétrécie à 13 %, et la moyenne par habitant représente approximativement le sixième de la moyenne mondiale. Si les gisements de charbon, de titane, d'étain et de terres rares sont abondants, d'autres ressources clés telles que le pétrole, le gaz naturel, le fer, le cuivre et la sylvine sont peu présentes.

Graves problèmes environnementaux

La surpopulation et une gestion culturelle et scientifique médiocre se sont traduites par une surexploitation des terres, des gisements minéraux et des ressources forestières. La prolifération d'entreprises mal pourvues en technologies productives a été à l'origine de graves problèmes de pollution de l'environnement. Tout cela exerce une forte pression sur le développement économique et social durable.

Nécessité de moderniser les industries traditionnelles

Bien que la Chine ait créé une infrastructure industrielle relativement complète et, au cours d'une période assez longue, établi la base matérielle et technique d'une modernisation industrielle, son développement économique est fondé sur une forte consommation de ressources. La plus grande partie de ses industries sont arriérées sur le plan de la technologie et de la gestion, la qualité de leurs produits étant médiocre et les profits faibles. La Chine est l'un des plus gros consommateurs d'énergie par unité de produit national brut tout en ayant un des taux de productivité les plus faibles. Une grande tâche attend donc le pays : rénover ses industries traditionnelles grâce à la science et à la technologie modernes et améliorer sensiblement la production.

Ces facteurs permettent de penser que la bonne direction dans laquelle devrait s'engager le développement économique et social de la Chine consiste à créer un système

économique national qui fasse un usage mesuré des ressources, à recourir à la S et T, et à améliorer la qualité des personnels.

LE DÉVELOPPEMENT DE LA S ET T : STRATÉGIES ET POLITIQUES

En tant que pays en développement de taille gigantesque, la Chine a besoin de réaliser des progrès en S et T, en particulier sous les angles suivants :

- Appliquer la science et la technologie (notamment les technologies de l'information et de l'automatisation) à la transformation de ses industries traditionnelles, et les techniques agricoles de pointe et la biotechnologie à la modernisation de son agriculture.
- Accorder la priorité au développement et à l'industrialisation de la technologie de pointe.
- Viser à réaliser un progrès important dans certains grands domaines tels que la maîtrise de la population, la protection de l'environnement, l'exploitation rationnelle des ressources et la conservation de l'énergie.
- Réaliser des progrès importants dans la recherche fondamentale et la recherche appliquée.

Depuis le début des années 90, compte tenu des buts nationaux du développement économique et social, la stratégie adoptée par la Chine en matière de S et T a été de considérer comme tâche principale la modernisation des technologies et installations industrielles aux fins d'une production de grande envergure, de surveiller et de protéger l'environnement, de développer de manière sélective les technologies de pointe et les industries faisant appel à ces technologies, de renforcer constamment la recherche fondamentale et de s'efforcer d'améliorer l'éducation et la sensibilisation nationale à la science et à la technologie.

La recherche fondamentale revêt une grande importance pour la construction économique et l'amélioration de l'épanouissement culturel de la nation dans son ensemble. La Chine est un pays immense. Si elle se borne à importer des technologies étrangères au lieu de relever les normes scientifiques et culturelles de la nation tout entière, elle ne pourra pas réduire l'écart qui la sépare des

grands pays industrialisés, encore moins innover dans certains domaines. Elle doit avoir son propre contingent scientifique pour la recherche fondamentale. En même temps, la Chine est aussi un pays en développement et l'échelle de sa recherche fondamentale devrait correspondre à sa capacité nationale ; en outre, le choix de ses sujets de recherche et des grands axes de son développement devrait être intégré d'abord aux besoins de la construction économique nationale et du développement social. Si tel n'était pas le cas, le développement stable de la recherche fondamentale ne pourrait pas être garanti. Dans ce contexte, il faut que la Chine développe sa recherche fondamentale sur la base du moyen ou du long terme en améliorant sensiblement la qualité de son personnel de recherche de manière à jeter les fondements d'un développement rationnel, à avancer au même rythme que la science mondiale et à viser à apporter des contributions importantes au savoir dans quelques domaines choisis, à la pointe du progrès. En même temps, une attention particulière doit être apportée à la recherche appliquée et au renforcement progressif de sa capacité scientifique à résoudre les grands problèmes de son développement économique et social et de sa défense nationale. La recherche fondamentale et la recherche appliquée devraient être ouvertes à l'ensemble des scientifiques à travers tout le pays et ailleurs, dans le monde entier ; le personnel de recherche devrait être mobile, et il faut renforcer encore la coopération entre l'Académie des sciences de Chine et les universités. L'État soutient et oriente la recherche fondamentale au moyen des fonds de la Fondation des sciences naturelles et par la mise en œuvre d'un programme spécial à l'échelle nationale, le programme Ascension, lequel soutient la recherche dans certains domaines scientifiques de pointe dans le cadre du programme Pandeng.

Le développement de la technologie de pointe et ses réalisations reflètent la capacité nationale. En développant une telle technologie, la Chine devra s'en tenir à un nombre limité d'objectifs et privilégier certains domaines clés, viser des normes internationales élevées et accorder un soutien prioritaire aux domaines et projets qui se prêtent à une application généralisée et promettent des percées impor-

tantes. Entre-temps, des efforts devraient être faits pour favoriser le développement des industries à haute technologie, encourager les zones de développement industriel et accélérer le processus de commercialisation, d'industrialisation et d'internationalisation de la technologie de pointe en favorisant la coopération internationale et l'exploitation des marchés. Les priorités en matière de développement de ces technologies depuis le début des années 90 sont la microélectronique, l'informatique (matériel et logiciels), les communications et les réseaux, la biotechnologie et l'automatisation. Des efforts s'imposent aussi dans l'étude de nouvelles variétés animales et végétales, de nouveaux produits biologiques, de nouveaux médicaments et vaccins, de la transformation des ressources renouvelables et de leur exploitation globale, ainsi que dans la recherche-développement (R-D) concernant de nouveaux matériaux, tels les matériaux composites, les matériaux structurels, les matériaux amorphes, les matériaux supraconducteurs et la photovoltaïque. Il convient de placer l'accent, de manière continue, sur la R-D en matière de satellites et de technologies de pointe en combustion, télédétection et réduction des risques afin que la Chine puisse renforcer sa capacité quant à l'éducation de masse, la surveillance de l'environnement et l'utilisation sans gaspillage des ressources. L'État favorise les travaux dans ces domaines, principalement par la mise en œuvre du programme 863 et du programme Flambeau.

L'accroissement de la population peut-il être maîtrisé ? La qualité de la vie de la population peut-elle être améliorée ? Les ressources naturelles peuvent-elles être exploitées et utilisées rationnellement ? L'environnement peut-il être protégé ? Toutes ces questions ont une incidence importante sur l'avenir de la Chine. C'est pourquoi une grande importance est attachée à la S et T sous l'angle du développement social, au renforcement de la R-D dans des domaines tels que la démographie, les soins médicaux, les services sociaux, l'infrastructure publique, la protection de l'environnement et la prévention des catastrophes naturelles. Donnant suite à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) de 1992, la Chine a élaboré le programme Action 21-Chine, et a

renforcé sa R-D en matière d'environnement, d'écologie et de ressources naturelles.

Transformer l'industrie traditionnelle en utilisant la technologie moderne est une tâche urgente pour le développement économique de la Chine. C'est aussi un devoir auquel la communauté scientifique et technologique chinoise ne saurait se dérober. Le développement de la R-D industrielle devrait être centré sur les avantages à récolter sur le plan économique. Nous devrions appliquer la technologie et les techniques modernes de gestion aux fins suivantes : transformer les divers secteurs industriels, améliorer la précision et le contrôle des machines et matériels, économiser l'énergie et réduire la consommation de matériaux, améliorer la qualité des produits, en créer de nouveaux, et améliorer la productivité et la compétitivité internationale ; en bref, optimiser la structure industrielle et la production. Il conviendrait de renforcer et de planifier la recherche agricole de manière à accélérer le processus de développement agricole. Dans le même temps, il faut procéder sérieusement à la popularisation et à la diffusion de la technologie agricole de pointe et au réajustement rationnel de l'infrastructure industrielle rurale et de celle de l'emploi. A cet égard, l'État a créé le Programme clé spécial sur la S et T, le Programme industrie-université-établissements de recherche et le programme Étincelle en vue d'orienter la communauté scientifique et technologique du pays tout entier vers la cause du développement économique.

Pour assurer le succès de la mise en œuvre de ces stratégies, l'État a formulé une série de politiques et pris diverses mesures. En voici quelques exemples :

- Améliorer la gestion des fonds de R-D de manière à accorder un soutien préférentiel aux zones et programmes clés.
- Mettre en valeur les ressources humaines en vue de favoriser l'éclosion de nouveaux talents en R-D et de donner libre cours à leurs initiatives.
- Appliquer des mesures économiques telles que les concessions fiscales, les mesures intéressant les prix, les prêts et les avantages liés à l'amortissement pour amorcer et stimuler le progrès de la S et T dans les entreprises et en milieu rural.
- Faire des efforts pour créer un environnement universitaire stable, démocratique et libre pour le travail de R-D, et favoriser les échanges internationaux et la coopération internationale en S et T.

LE SYSTÈME DE S ET T : STRUCTURE INSTITUTIONNELLE ET RÉFORME DU SYSTÈME

Un système de S et T comprend foncièrement deux composantes : la structure institutionnelle et le mécanisme d'exploitation. Le système de gestion et les organismes d'exécution sont inclus dans la première.

Si on le compare à celui d'autres principaux pays, le système chinois de gestion de la S et T est relativement centralisé ou, au moins, régi principalement par une politique unifiée. Du fait du compartimentage imputable aux systèmes administratifs et financiers de l'État, le système de S et T chinois est un réseau compliqué — multicouche, multivoie et multiélément — mettant en jeu le gouvernement central et les provinces, les services de gestion et les organismes d'exécution, et divers secteurs et industries. Le gouvernement est au centre de ce réseau. C'est le décideur et le principal fournisseur de ressources pour la S et T, et les établissements de recherche qui lui sont affiliés sont les principaux exécutants des activités de S et T. Le Conseil d'État est l'autorité suprême de décision et de gestion chargée des politiques nationales en matière de S et T, et la Commission d'État de la science et de la technologie (CEST), la Commission d'État de la planification (CEP), la Commission d'État de la science et de l'industrie pour la défense, la Commission d'État pour l'éducation (CEE) et l'Académie des sciences de Chine (ASC) et les services opérationnels relevant du Conseil d'État sont les organes de gestion de la S et T au niveau de l'État. Les unités correspondantes aux niveaux de la province, de la préfecture et du district constituent, avec les bureaux industriels locaux, le dispositif local de gestion de la S et T, achevant ainsi, du sommet à la base, le système multiniveau de gestion. Pour des raisons historiques, les systèmes de gestion et de recherche en sciences sociales ont été jusqu'à maintenant séparés de ceux des sciences exactes et naturelles.

Dans le domaine de la S et T, la base de la R-D chinoise est constituée principalement par l'ASC, les unités de R-D relevant des divers services publics, les établissements d'enseignement supérieur et leurs propres unités de R-D, les unités de développement technologique des entreprises industrielles de moyenne et de grande envergure et les unités de développement technologique animées par des collectifs ou des individus (tableau 1).

Parmi ces composantes, l'ASC et les unités de R-D relevant des services publics viennent en tête quant à la capacité de recherche. Bien que peu nombreuses, ces entités ont la primauté quant à la répartition des fonds de R-D et des ressources humaines et quant à la capacité de recherche ; elles constituent la pièce maîtresse du système chinois de R-D. Récemment, avec l'approfondissement de la réforme du système économique et, avec lui, de la S et T, les unités de développement technologique animées par des collectifs et par des individus ont augmenté en nombre de manière spectaculaire, encore que quelques-unes d'entre elles seulement puissent prétendre à de véritables réalisations en matière de recherche scientifique.

Ces organismes ne privilégient pas tous les mêmes domaines de recherche et n'ont pas les mêmes orientations. La recherche fondamentale est menée principalement par l'ASC et les grandes universités. Les organismes de recherche en médecine, dans l'agriculture et l'industrie mènent, dans une certaine mesure, une recherche fondamentale orientée, mais leurs activités de R-D portent principalement sur des sujets ayant des potentialités d'application étroitement en rapport avec leurs propres domaines et avec les technologies générales et les technologies clés. Les unités de R-D relevant des entreprises industrielles sont principalement au service du progrès technologique de leur entreprise, tandis que les unités animées par des collectifs ou des individus sont centrées sur des projets à court terme pouvant déboucher sur des profits rapides.

Pendant le processus de réforme du système de S et T, on peut constater que de nouvelles formes d'organismes de R-D sont apparues successivement sur la base des organismes de recherche initiaux. Ainsi, depuis 1984, 155 labo-

TABLEAU 1
ORGANISMES DE R-D EN CHINE

	1990	1993
Unités de R-D relevant des services publics	4 961	4 996
Académie des sciences de Chine	123	123
Établissements d'enseignement supérieur	806	814
Unités de R-D relevant d'établissements d'enseignement supérieur	1 666	1 802
Unités de développement technologique d'entreprises de moyenne et de grande envergure	8 116	9 432
Unités de développement technologique animées par des collectifs et des individus	8 523	55 000
Total	24 195	72 167

Source : CEST, 1992, 1994.

ratoires publics principaux ont été créés dans le cadre de l'ASC, de même que quelques universités principales, avec l'aide de la CEP. En même temps, la CEE et l'ASC ont créé un certain nombre de laboratoires ouverts. Ces laboratoires publics principaux et laboratoires ouverts ont non seulement consolidé la supériorité des disciplines traditionnelles de recherche, mais ils ont aussi ouvert de nouveaux domaines de recherche et sont devenus d'importantes bases pour la formation d'un personnel scientifique et technique de qualité et des pépinières d'où sortiront des pionniers en la matière pour les générations à venir. L'État avait, à la fin de 1993, créé 67 centres de recherche en sciences de l'ingénieur et de recherche technologique aux fins suivantes : relever les normes en matière de R-D dans les sciences de l'ingénieur et la technologie, renforcer les liens entre les instituts de recherche et l'industrie et favoriser les actions visant à traduire en productivité réelle les résultats de la recherche. Un certain nombre de centres de développement technologique ont été également créés en 1993 et 1994 dans une centaine de moyennes et de

grandes entreprises. Pour attirer et former des chercheurs expérimentés, le gouvernement a créé, dans 96 universités et 69 instituts de recherche, 299 centres où sont accueillis de jeunes chercheurs titulaires d'un doctorat. La création de ces nouveaux organismes a eu une forte incidence sur les activités de S et T, et ces organismes sont appelés à devenir les catalyseurs du nouveau système de S et T chinois.

Outre les organismes de R-D, il existe en Chine 45 000 unités de prestation de services de S et T : information et documentation en S et T, services de consultant en S et T, études géologiques, observations météorologiques, surveillance des séismes, cartographie, protection de l'environnement, application des brevets et gestion des marchés technologiques.

Tous ces établissements et organismes constituent l'immense système de S et T chinois. Le gouvernement a toujours attaché une grande importance à une gestion efficace de ce système : on tire ainsi le meilleur parti du zèle du personnel scientifique et technique et les résultats de la R-D sont rapidement appliqués aux fins de la production. La réforme du système de S et T qui s'est poursuivie pendant la dernière décennie a été centrée sur le mécanisme d'exploitation de ce système, selon les grands axes suivants :

- Différents systèmes d'affectation de crédits et de gestion de fonds ont été adoptés pour différents organismes de recherche en fonction de la nature de leur recherche ; la part que représentent les fonds alloués pour le fonctionnement a été progressivement réduite, et celle qui revient aux projets de recherche scientifique proprement dits a été augmentée en conséquence. Pour la recherche fondamentale, un fonds est désormais créé et une aide accrue est accordée aux projets qui, à l'issue d'un examen par les pairs, sont jugés les meilleurs. Une aide est accordée, par le biais de plans et programmes d'État, à la recherche sur les ressources, l'environnement, l'écologie, les données fondamentales et à l'étude des principes et des méthodologies des principales technologies universelles. Le financement de la recherche sur le développement technologique vient principale-

ment du marché, par le biais du transfert de technologies et de produits, et de la coopération avec les entreprises industrielles. L'État fournit aussi un modeste volume des fonds requis.

- L'indépendance et la compétence des instituts ont été élargies ; l'ingérence des pouvoirs publics a été réduite et les principes de l'économie de marché et de la concurrence ont été introduits.
- La mobilité du personnel scientifique et technologique a été encouragée ; les liens entre les établissements de recherche, les universités et les entreprises industrielles ont été renforcés et l'échange d'informations et de personnel s'est accru.
- Tout en plaçant l'accent sur les priorités de l'économie nationale, on privilégie continuellement la recherche fondamentale et il est proposé de maintenir une part rationnelle de recherche fondamentale. La recherche appliquée et le développement retiennent aussi de plus en plus l'attention des scientifiques comme des fonctionnaires.

La réforme en cours du système économique et du système de S et T se heurte à des problèmes qui se sont accumulés de longue date au fil de l'évolution historique et sociale. Il faut aussi changer l'échelle des valeurs à laquelle les gens sont habitués. Voilà pourquoi le processus est ardu et compliqué. A l'heure actuelle, la question qui se pose d'emblée est la suivante : dans quelle mesure les établissements de recherche devraient-ils aller vers le marché ? De toute évidence, en obligeant les établissements de recherche à s'orienter vers le marché tout en réduisant l'apport de ressources jusqu'à ce que l'environnement social s'améliore réellement, on risque de voir la communauté scientifique et technique perdre une partie de ses ressources accumulées, ce qui aura une incidence sur le développement à long terme de la S et T. Par ailleurs, en mettant trop l'accent sur la recherche de profits, on risque d'accentuer dans une certaine mesure le caractère indépendant des établissements de recherche, ce qui desservirait l'intégration de la S et T à l'économie. L'État est conscient de ces problèmes et prend les mesures appropriées.

RESSOURCES ET PRODUCTION DE LA S ET T

Le bref exposé qui suit sur le personnel scientifique et technique, le financement et la production vise à illustrer l'infrastructure scientifique de base de la Chine d'aujourd'hui.

Personnel

Le personnel scientifique et technique constitue l'épine dorsale même du développement de la S et T. En 1993, la Chine comptait, à cet égard, un effectif total de

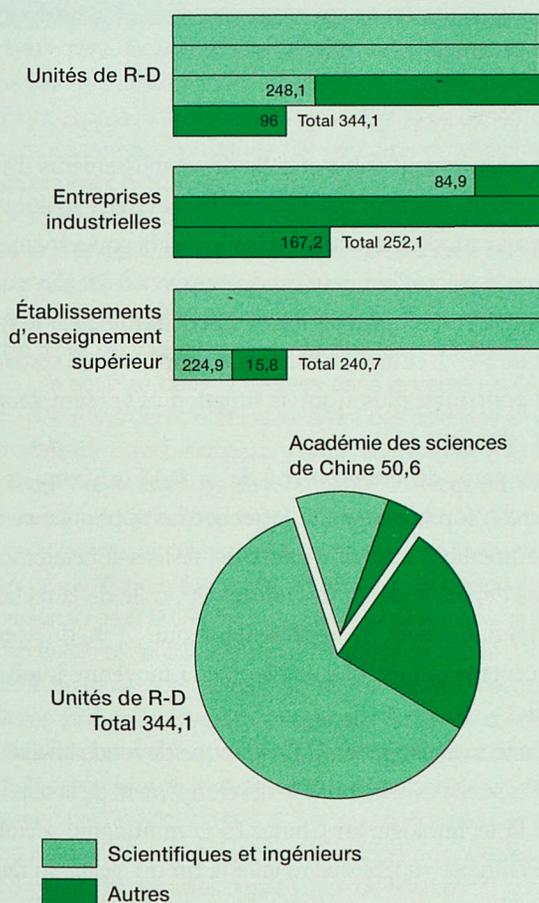
2 426 300 personnes (non compris le personnel de soutien des organismes prestataires de services de S et T). Sur ce total, on dénombrait 1 484 300 scientifiques et ingénieurs, soit 61,2 %. La même année, l'effectif du personnel de R-D atteignait 916 800, dont 598 200 (soit 65,3 %) scientifiques et ingénieurs. Sur ce total, 344 000 personnes étaient dans des unités de R-D (figure 1).

La vitalité de tout système de S et T réside dans l'apport continu de nouveaux talents, et les établissements d'enseignement supérieur sont les pépinières des scientifiques et ingénieurs de demain. En 1993, le nombre total d'étudiants inscrits dans les universités et instituts universitaires chinois dépassait 2 536 000 pour le premier cycle et atteignait 107 000 pour les études universitaires supérieures (dont 18 000 en doctorat). La même année, 571 000 étudiants ont terminé le premier cycle et 28 000 les études universitaires supérieures. Depuis 1990, les pourcentages des étudiants inscrits en sciences et en technologie sont restés au même niveau : 40 % et 63,7 %, respectivement, du total des étudiants du premier cycle et du cycle universitaire supérieur ; le pourcentage des étudiants inscrits en doctorat est encore plus élevé.

En chiffres absolus, on pourrait penser que la Chine compte un effectif important de personnel scientifique et technique et d'étudiants du premier cycle universitaire et du cycle universitaire supérieur. En fait, le nombre reste faible par rapport à la population chinoise et à la gamme si étendue des activités de S et T. En pourcentage de la population totale, le personnel qualifié est non seulement de loin inférieur à celui des pays développés mais il est même inférieur à celui de quelques-uns des pays en développement.

La réforme en cours du système de S et T a accru la mobilité du personnel scientifique et technique et lui offre de plus grandes possibilités d'épanouissement. Il est désormais en mesure de trouver des emplois qui en même temps lui conviennent et correspondent aux besoins du pays. Néanmoins, la réforme a aussi quelques effets négatifs sur la stabilité du personnel de R-D. Les conditions de travail et de vie du personnel scientifique et technique étant médiocres, un nombre assez considérable de scientifiques,

FIGURE 1
RÉPARTITION DU PERSONNEL DE R-D, 1993
(en milliers)



Source : CEST, 1994.

en particulier parmi les jeunes, vont à l'étranger ou se tournent vers le secteur commercial. Cette ponction de talents, s'ajoutant au vieillissement de la communauté scientifique et technique actuelle et au manque de successeurs qualifiés, est devenue une menace sérieuse pour le développement à long terme de la S et T en Chine et appelle une solution urgente. Le Gouvernement chinois et l'ASC ont récemment adopté diverses mesures pour attirer les jeunes talents et créer de meilleures conditions de travail pour eux.

Financement de la S et T

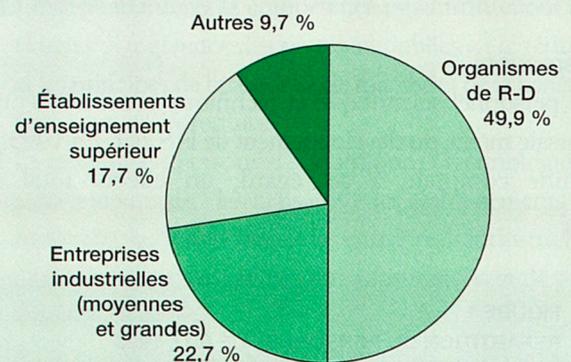
Les dépenses de S et T, en particulier celles qui sont afférentes à la R-D, reflètent la capacité nationale en matière de S et T ainsi que l'ampleur de l'aide que la science reçoit du gouvernement et de la société dans son ensemble. Les niveaux de financement sont en conséquence un important indicateur de l'engagement à l'égard de la S et T et un facteur clé de l'action menée dans ce domaine.

En 1993, le financement national total de la S et T s'élevait à 19,6 milliards de yuan (2,4 milliards de dollars des États-Unis), soit une augmentation de 2,7 milliards de yuan par rapport à l'année précédente. Toutefois, si l'on calcule ce montant en prix de 1992, l'augmentation réelle n'était que de 0,66 %, la plus faible depuis 1988. En 1994, le total a atteint 22,2 milliards de yuan (2,7 milliards de dollars).

Depuis 1989, le ratio dépense intérieure de R-D (DIRD)/produit intérieur brut (PIB) a oscillé autour de 0,7 %, et il est tombé à 0,62 % en 1993. Cela indique que l'augmentation de l'apport en R-D est en retard par rapport au développement de l'économie chinoise et à la croissance rapide du PIB. Ce ratio est loin d'être celui des pays développés et des jeunes pays industrialisés ; il est plus faible que celui de l'Inde.

Le financement de la R-D chinoise vient principalement du gouvernement. Bien que l'industrie apporte une certaine contribution à la science, une très petite part de cette contribution va à la R-D. A l'examen de la figure 2, on peut constater que les unités de R-D des services publics sont la principale force motrice de la recherche en Chine, la capacité des entreprises industrielles en matière de R-D

FIGURE 2
RÉPARTITION DU FINANCEMENT DE LA R-D
PAR TYPE D'ORGANISME D'EXÉCUTION, 1993



Source : CEST, 1994.

étant relativement faible et celle des établissements d'enseignement supérieur ayant encore besoin d'être renforcée. Certes, ce modèle structurel dans lequel le gouvernement occupe la place d'honneur est en rapport avec le développement économique mais il est aussi déterminé par le système de S et T chinois existant. La réforme de ce système étant poursuivie plus avant, la situation va vraisemblablement changer.

Les parts de financement de la R-D qui vont à la recherche fondamentale, à la recherche appliquée et au développement expérimental sont restées foncièrement stables depuis le début des années 90, celle de la recherche fondamentale ne représentant que 7 % du total, pourcentage qui est plus faible que la moyenne internationale.

D'une manière générale, le manque de fonds affectés à la R-D a sérieusement limité le développement de la science et de la technologie en Chine. La communauté scientifique chinoise espère que, d'ici à la fin du siècle, le ratio DIRD/PIB pourra être porté à 1,5 % et que la part du financement consacré à la recherche fondamentale sera de l'ordre de 10 à 20 %.

L'Académie des sciences de Chine

Fondée en 1949, l'Académie des sciences de Chine (ASC) est la principale institution savante du pays et le centre de R-D générale en sciences exactes et naturelles et dans les technologies nouvelles et technologies de pointe. En tant qu'académie nationale, elle assume une lourde responsabilité : développer la S et T et résoudre les principaux problèmes connexes qui se posent dans le cadre de la construction économique nationale et du développement social national. Elle a apporté — et continue à apporter — d'importantes contributions à la vie et au bien-être du pays.

L'Académie comprend essentiellement deux composantes. La première est constituée de ses membres, choisis parmi les scientifiques les plus éminents de la communauté scientifique et technique du pays tout entier, et des divisions entre lesquelles sont répartis ces membres. A l'heure actuelle, elle compte 560 membres répartis en cinq divisions (mathématiques et physique, chimie, biologie, sciences de la Terre et sciences technologiques). La seconde composante est constituée par un corps de chercheurs appartenant à 123 instituts. A la fin de 1993, l'effectif de l'ASC était de 81 500 personnes. Sur ce chiffre, 50 600 personnes (soit près de 64 %) étaient engagées dans la R-D, y compris 32 000 scientifiques et ingénieurs ; 15 000 personnes étaient des spécialistes expérimentés, détenant le titre de professeur associé ou d'autres titres supérieurs.

Les activités de R-D menées dans le cadre de l'ASC couvrent une gamme étendue, allant des sciences fondamentales (mathématiques, physique, astronomie, sciences biologiques et sciences de la Terre) aux sciences de l'ingénieur et à la technologie, telles que l'informatique, les nouveaux matériaux, l'énergie et la technologie de l'espace. La principale tâche qui incombe à l'ASC est de déployer son personnel de R-D comme suit : 30 % dans la recherche fondamentale et dans la recherche novatrice de pointe ; 30 % dans les ressources naturelles, l'environnement, l'écologie et l'agriculture, en vue de protéger et d'améliorer la qualité de l'environnement et le niveau de vie ; et 40 % au service de l'économie et du marché, dans la recherche de solutions aux problèmes clés de la S et T en vue de transformer des industries traditionnelles et d'en développer de nouvelles. Au cours des dix dernières années, plus de 500 entreprises de haute technicité employant 18 000 personnes ont été créées, dans lesquelles la technologie, l'industrie et le

commerce sont intégrés en un tout organique. L'ASC est devenue une des bases importantes du développement de l'industrie de pointe.

La recherche fondamentale est menée dans un certain nombre d'instituts et de laboratoires clés, ainsi qu'il est indiqué ci-après. En 1994, l'ASC a créé deux centres scientifiques spéciaux — sciences biologiques et sciences de la Terre — pour favoriser l'interaction et l'intégration des différentes disciplines de recherche. Du fait de la situation économique, le manque de fonds affectés à la R-D ne sera pas résolu à court terme. C'est pourquoi il est indispensable d'opérer un bon choix des priorités de la recherche et des domaines clés. De l'avis de l'ASC, le choix des domaines clés de la recherche fondamentale devrait répondre aux critères suivants :

- avoir une forte incidence sur le développement scientifique et l'économie nationale ;
- être franchement à la pointe de la recherche, à une échelle mondiale ;
- reposer sur une base solide de recherche, être abordé dans de bonnes conditions de travail et offrir des possibilités de percées importantes.

Sur la base de ces critères, les domaines clés pour l'ASC sont notamment les suivants : physique de la matière condensée, chimie des grappes, biologie moléculaire, sciences neurales et sciences cognitives, changement climatique mondial, astrophysique, sciences non linéaires, nanosciences et nanotechnologies, sciences environnementales, diversité biologique et problèmes fondamentaux en information, en énergie, en matériaux et en technologie de l'espace.

RECHERCHE FONDAMENTALE MENÉE DANS DES ÉTABLISSEMENTS RELEVANT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE CHINE

Établissements	Nombre	% de la recherche
		nationale
Laboratoires clés	50	33
Laboratoires ouverts	63	66
Centres de recherche (sciences de l'ingénieur et technologie)	9	29
Centres de recherche postdoctorale pour les jeunes chercheurs	62	21

Production de la S et T

Le nombre de publications et le taux des citations des communications scientifiques donnent une idée de la production scientifique et technologique d'un pays, de la qualité des activités qu'il mène en la matière et de la place qu'il occupe dans la communauté scientifique internationale. Selon les statistiques du *Scientific Citation Index (SCI)*, de l'ISTP et de l'EI, 20 178 communications scientifiques publiées par le personnel scientifique et technique chinois ont été citées en 1993, soit une augmentation de 9,2 % par rapport à l'année précédente. Pendant deux années de suite, la Chine est arrivée au 12^e rang mondial quant au nombre de communications scientifiques publiées. En ce qui concerne le taux des citations, 32 503 communications scientifiques ont été incluses dans le *SCI* de 1987 à 1992, 7 059 d'entre elles étant citées à elles seules 12 896 fois au total. Ce taux, qui était de l'ordre de 0,22, était plus faible que la moyenne mondiale.

Les brevets constituent un autre indicateur clé de la production de la S et T. Au cours des deux dernières années, le système chinois de brevets a été renforcé, et de grands progrès ont été accomplis dans les activités menées en la matière. En 1993, 77 000 demandes de brevet ont été reçues et 62 000 brevets attribués, soit une augmentation de 34,2 % et 97,4 %, respectivement, par rapport à l'année précédente. Les demandes de brevet pour des inventions, équipements collectifs et agencements extérieurs représentaient respectivement 25,4 %, 61,5 % et 13,1 % du total.

Il est reconnu que la recherche scientifique apporte des connaissances, des théories, des méthodologies, des idées et des talents au développement économique et social, et de nombreux résultats de la recherche ont été transformés en force productive. Dans l'industrie, la recherche scientifique a donné de nouveaux produits, de nouveaux procédés et de nouvelles conceptions ; elle est la source de produits et de procédés industriels de haute technicité. Dans l'exploitation et l'utilisation des ressources naturelles et la protection de l'environnement, la recherche scientifique peut apporter des règles de base, des données fondamentales et les principes directeurs théoriques. En agriculture,

en médecine et dans d'autres domaines étroitement apparentés à l'alimentation et à la santé, la recherche scientifique offre une base pour la culture de variétés nouvelles, la mise au point de nouvelles techniques agricoles et la lutte efficace contre les parasites, ainsi que des principes directeurs théoriques pour le développement. Ces faits sont absolument évidents, bien qu'ils ne puissent pas être assortis d'indicateurs quantitatifs. Depuis le début des années 90, l'économie chinoise a connu une croissance rapide et soutenue, et la part de cette croissance qui est imputable à la S et T représente, selon le modèle de Solow, 26,7 %, chiffre beaucoup plus faible que celui des pays développés. Néanmoins, considérant la situation actuelle de l'économie chinoise et par rapport au passé, nous pouvons dire sans nous écarter de la réalité que la science et la technologie apportent désormais une contribution croissante au développement économique du pays.

LA CHINE ET LE MONDE : COOPÉRATION INTERNATIONALE EN S ET T

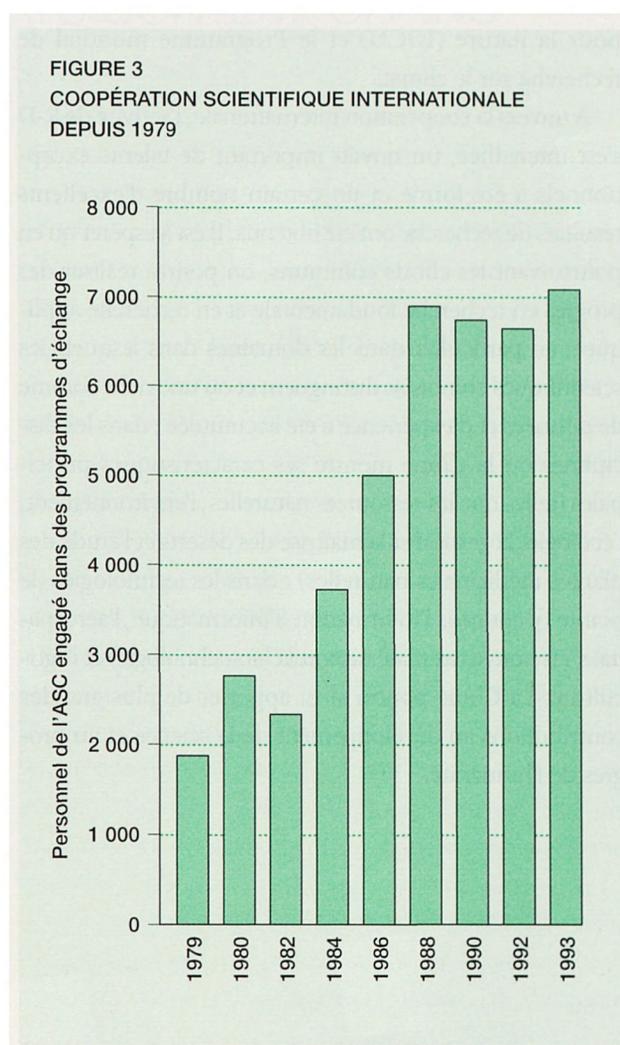
On sait depuis longtemps que la recherche scientifique ne connaît pas de frontières nationales et que les résultats de la recherche doivent être mis en commun par l'humanité dans son ensemble. Au cours des dernières années, avec le progrès rapide de la S et T, les pays bien pourvus en scientifiques, en ingénieurs capables et en programmes de recherche de pointe sont devenus plus nombreux et, de ce fait, de plus grandes possibilités de collaboration transnationale sont offertes. En outre, le coût de maintenance des systèmes modernes de recherche ne cesse d'augmenter, et il est de plus en plus manifeste qu'aucun pays ne peut, à lui seul, supporter les investissements requis pour la « mégascience » et la technologie de pointe, lesquelles sont par définition onéreuses et risquées. Dans ces conditions, la coopération internationale et le partage des coûts sont une nécessité absolue. Par ailleurs, la coopération s'impose si l'on veut s'attaquer aux problèmes mondiaux concernant la population, l'environnement, les ressources et les catastrophes naturelles, auxquels l'humanité dans son ensemble doit faire face. Cette convergence des pos-

sibilités et des besoins a contribué à favoriser la naissance d'un système de S et T international. Cette internationalisation de la science et de la technologie est devenue une des principales tendances de leur évolution au cours des dernières décennies.

C'est une importante politique à long terme que le Gouvernement chinois met en œuvre en encourageant activement la coopération et les échanges de S et T. Jusqu'à présent, des accords scientifiques ont été signés avec 85 pays et des relations de coopération scientifique établies avec 134 pays et régions. Le Gouvernement chinois attache une grande importance à l'intégration de la coopération scientifique à la coopération économique et aux échanges commerciaux, de manière que la collaboration scientifique soit la principale voie par laquelle des technologies de pointe et des fonds soient introduits, stimulant les échanges de technologies, de produits et de services. Afin d'encourager l'internationalisation au sein des entreprises et des établissements de recherche de S et T, le Gouvernement chinois crée activement des conditions pour inciter des entreprises et établissements de recherche étrangers à participer en Chine à des coentreprises ou à des établissements mixtes de S et T. En même temps, les entreprises et établissements de recherche chinois en S et T sont aussi encouragés à créer des succursales à l'étranger en commun avec des entités correspondantes d'autres pays. En 1993, la CEST et le Ministère des relations économiques et du commerce extérieurs ont accordé à 100 établissements de recherche scientifique une autonomie en matière de commerce extérieur.

L'Académie des sciences de Chine joue un rôle particulièrement important dans les échanges et la coopération scientifiques. La figure 3 montre l'augmentation du volume des échanges de personnel depuis 1979. L'ASC a signé, à son niveau, 67 accords avec des académies, établissements de recherche, universités et principales sociétés appartenant à plus de 40 pays. Ses 123 instituts ont établi plus de 700 accords de coopération avec leurs homologues dans de nombreux pays. Le volume annuel total d'échange de personnel dépasse 6 000 personnes. Sur ce total, 30 % sont engagés dans des activités de recherche en commun.

FIGURE 3
COOPÉRATION SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE
DEPUIS 1979



En outre, plus de 150 scientifiques étrangers ont été conviés à être professeurs invités ou à occuper des postes d'honneur dans plus de 60 instituts, et 14 scientifiques étrangers ont été élus membres de l'Académie. L'ASC est aussi engagée activement dans les activités d'organisations scientifiques internationales ; 250 de ses scientifiques qui se sont distingués occupent des postes de premier plan dans des organisations de S et T internationales. Elle a établi des rapports de coopération avec le Programme des Nations Unies pour le développement et l'UNESCO et est le point national de contact pour un certain nombre d'organisations internationales telles que l'Union mondiale

pour la nature (UICN) et le Programme mondial de recherche sur le climat.

A travers la coopération internationale, l'activité de R-D s'est intensifiée, un noyau important de talents exceptionnels a été formé et un certain nombre d'excellents résultats de recherche ont été obtenus. Il est à espérer qu'en poursuivant les efforts communs, on pourra réaliser des progrès en recherche fondamentale et en recherche appliquée, en particulier dans les domaines dans lesquels les scientifiques chinois se distinguent et où une riche somme de données et d'expérience a été accumulée ; dans les disciplines où la Chine montre ses caractéristiques principales (telles que les ressources naturelles, l'environnement, l'écologie, la gestion et la maîtrise des déserts et l'étude des plantes médicinales naturelles) ; dans les technologies de pointe (y compris l'information, l'informatique, l'aérospatiale, les nouveaux matériaux et la biotechnologie) et l'agriculture. La Chine pourra ainsi apporter de plus grandes contributions au développement de la science et au progrès de l'humanité.

Zhou Guangzhao est président de l'Académie des sciences de Chine. Après avoir obtenu un diplôme de physique à l'Université de Tsinghua, il fit ses études universitaires supérieures à l'Université de Beijing, étant membre de l'équipe enseignante de celle-ci à partir de 1954. En 1979, il fut nommé professeur à l'Institut de physique théorique de l'Académie des sciences de Chine, dont il devint le directeur en 1983. Pendant sa brillante carrière de chercheur en physique théorique, physique nucléaire et physique des hautes énergies, il a publié de nombreuses communications et a été maintes fois honoré par des sociétés savantes du monde entier.

Après avoir été pendant une brève période vice-président de l'Académie des sciences de Chine, le professeur Zhou Guangzhao est devenu président de cette Académie en 1987. Il est par ailleurs étroitement associé aux activités de l'Association scientifique du Pacifique et à celles de l'Académie des sciences du Tiers Monde, exerçant des fonctions importantes au sein de chacune de ces organisations.

BIBLIOGRAPHIE

- ASC. 1994. *Chinese Academy of Sciences 1994*, Beijing, Bureau of International Cooperation.
- CEST. 1992, 1993, 1994, 1995. *Science and technology indicators in China*, Beijing, Commission d'État de la science et de la technologie.

2

DÉBATS CONTEMPORAINS

L'éthique de la science, entre humanisme et modernité

NOËLLE LENOIR

Faire le point de l'activité de recherche dans le monde suppose aujourd'hui une réflexion de fond sur la place et la responsabilité des chercheurs dans la société, et de façon générale, sur le rôle de la science dans la marche de la civilisation. En d'autres termes, un *Rapport mondial sur la science* ne peut se dispenser d'aborder l'une des questions cruciales de cette fin de siècle : quelle éthique pour la science ?

Dans sa magnifique introduction au *Rapport mondial 1993*, M. G. K. Menon, président du Conseil international des unions scientifiques (CIUS), physicien renommé et actuellement membre du Parlement indien, évoque cette question dans la section intitulée : « Problèmes éthiques, droits de l'homme et image de la science. » Par là, il entend montrer que le progrès scientifique ne saurait par lui-même être la garantie du progrès moral, pas plus qu'il ne suffit à renforcer ou à préserver les droits de l'homme. C'est à l'individu, responsable sinon maître de son destin, et à la société tout entière d'y veiller. Mais il y a plus : si notre bien-être est largement conditionné par l'apport des sciences et des techniques, chacun, à présent, a conscience des dangers que peuvent faire courir à l'homme certaines applications. Ce siècle n'a-t-il pas vu la science et la technique mises au service du pire et du meilleur ? N'a-t-il pas vu de prodigieuses découvertes médicales, comme celle de la pénicilline, et le lancement de la bombe nucléaire sur Hiroshima et Nagasaki, les fruits prometteurs de la révolution verte et les dégâts irréversibles de certaines atteintes à l'environnement, la conquête du cosmos et le pillage de précieuses ressources de notre planète ?

La question de l'éthique de la science n'est certes pas nouvelle. Depuis la nuit des temps, le progrès des connaissances a marqué les étapes de l'histoire de l'humanité. Aussi, les théories scientifiques ayant illustré ces progrès ont-elles toujours prêté à controverses du point de vue éthique et philosophique. On le comprend aisément dès lors que les avancées de la science impliquent le dépassement, ou même la remise en cause, d'un savoir antérieur prétendument définitivement acquis. Mais au-delà de cette constatation, on s'aperçoit que la science, qu'il s'agisse de la physique, de la chimie, de la biologie, de l'astronomie

ou des mathématiques, ne cesse d'interroger la société en suggérant, le plus souvent implicitement, une certaine interprétation de l'univers et de la place qu'y occupe l'homme. Il y a peu de chances que cette interrogation fondamentale trouve jamais de réponse scientifique. Il reste que l'appréhension par la science des mécanismes de l'univers ne va pas sans répercussions philosophiques et politiques. Telle fut la raison de l'émoi suscité par la révolution copernicienne ; puis du procès fait à Galilée par l'Inquisition. La Terre n'étant plus au centre de tout, mais apparaissant comme une simple planète en orbite autour du Soleil, la place de l'homme, création de Dieu, ne s'en trouvait-elle pas diminuée ?

De même, les recherches menées en biologie et plus spécialement en neurobiologie soulèvent de nouvelles questions quant à la spécificité de l'espèce humaine comparée aux autres espèces vivantes.

Pour autant, ces questions que l'homme se pose concernant sa propre condition ne l'ont jamais freiné dans sa quête perpétuelle de connaissances. Au contraire. Dès l'origine, l'homme s'est attaché à modeler le monde pour l'adapter à ses besoins, en combattant la faim, la maladie et toutes les autres formes d'agressions qu'il subit. Il ne s'arrêtera pas.

Face au progrès scientifique, le changement de la société est essentiellement de perspective. Il réside dans la prise de conscience universelle, depuis la fin de la seconde guerre mondiale, de l'ambivalence de ce progrès : facteur de mieux-être et de libération des contraintes naturelles, ce dernier est maintenant aussi considéré comme un possible instrument d'autodestruction.

L'éthique, dans ce contexte, permet d'être en permanence « en état de veille », le but étant de s'assurer que la science et la technique contribuent positivement au bien-être commun et aux avancées sociales et démocratiques.

A défaut d'une telle vigilance éthique, la méfiance vis-à-vis des innovations scientifiques et techniques risque de monter, en favorisant l'essor des mouvements politiques et religieux qui font un dogme du rejet de la modernité désignée comme symbole de la perversion du monde contemporain. Or la peur, « plus fidèle compagne de l'homme » (Bedjaoui, 1995), conduit les sociétés à la cris-

pation. Elle entrave surtout l'établissement des relations de solidarité entre les peuples qui sont à la base de la paix et de la prospérité mondiales.

L'éthique de la science, en tant que réflexion sur les conséquences du progrès, interroge la communauté internationale. Elle engage donc les organisations internationales, au premier rang desquelles l'UNESCO. La trilogie composant l'intitulé de l'UNESCO — éducation, science et culture — renvoie en effet très exactement au questionnement éthique : quels comportements, individuels et collectifs, adopter pour que l'humanité soit à même d'affronter les défis de la science et de la technique ?

Le monde est devenu changeant et instable et son avenir paraît incertain, tant en raison d'une progression démographique accélérée que du fait de l'ampleur du risque technologique. D'où le besoin de valeurs de référence, c'est-à-dire une éthique, répondant au sentiment éprouvé par la société actuelle de ses responsabilités vis-à-vis des générations futures. Le fait que « demain se décide aujourd'hui » appelle plus que jamais une éthique de la responsabilité.

Ces responsabilités sont celles de tous les hommes et de toutes les femmes. Mais elles sont celles aussi, pour leur part, des scientifiques, car leurs découvertes sont à l'origine des innovations qui « changent nos vies ». Le temps n'est plus où il semblait possible de tracer une frontière nette entre la science et la technologie, entre la recherche et ses applications. Comme le souligne M. G. K. Menon, « la science n'est plus un domaine d'activité coupé des autres, aux franges de la société ; elle est étroitement liée à des secteurs productifs tels que la médecine, l'industrie ou l'agriculture ainsi qu'aux mécanismes gouvernementaux ou intergouvernementaux, et ce, d'une manière et à un degré tels qu'elle envahit et affecte la société tout entière ». Le mythe du savant dans sa « tour d'ivoire » a donc vécu. Dans ces conditions, deux interrogations majeures doivent être soulevées :

- Quelles responsabilités sociales particulières pèsent sur les scientifiques ?
- Peut-on concevoir un projet éthique qui garantisse la conciliation entre progrès technique et humain ?

ÉTHIQUE DE LA SCIENCE ET RESPONSABILITÉS SOCIALES DES CHERCHEURS

« Les hommes ont oublié une vérité. Mais toi, tu ne dois jamais l'oublier. Tu deviens responsable pour toujours de ce que tu as apprivoisé. » Ainsi s'exprime le renard s'adressant au Petit Prince de l'ouvrage de Saint-Exupéry. Ainsi peut se résumer le principe éthique de responsabilité. Ce dernier, en effet, signifie que nul, pas même le chercheur, ne peut se désintéresser des conséquences d'un progrès qui transforme la vie courante des individus autant que les relations entre États.

Si le principe de « responsabilité » peut se concevoir selon l'approche collective définie par le philosophe Hans Jonas, dans le même temps, on doit admettre aujourd'hui qu'une responsabilité spécifique pèse sur les chercheurs. Leur implication dans la société évolue d'une manière qui n'est qu'apparemment paradoxale. C'est en effet au moment où la science semble avoir perdu toute ambition téléologique, que l'activité de recherche exerce de fait une influence grandissante sur le cours de l'histoire.

La science a perdu son ambition téléologique

La science ne saurait en effet par elle-même fonder un projet global de société. En d'autres termes, science n'est pas sens. Trois facteurs principaux conduisent à faire ce constat : la parcellisation du savoir, d'une part, la démythification du progrès comme valeur en soi, d'autre part, et, enfin, la sécularisation de la science.

La *parcellisation du savoir* s'est tendanciellement accentuée au fil des siècles. L'éclatement des savoirs en disciplines de plus en plus spécialisées est la contrepartie obligée de l'extension des connaissances. Il est sans doute aussi l'une des conditions de l'efficacité des recherches.

Toutefois, dans le même temps, cette hyperspécialisation peut être la source d'un appauvrissement des capacités inventives, dès lors que les grandes découvertes sont souvent le produit inattendu de la combinaison d'approches et de concepts divers. Étroitement limitée au cadre d'une spécialité, chaque discipline se trouve par là même

contrainte de puiser dans les ressources des autres sciences et techniques, comme c'est le cas de la biologie, qui utilise notamment les outils de la physique et de la chimie, et maintenant de la robotique et de l'informatique.

Pour autant, aucune science ne peut plus prétendre faire valoir un schéma explicatif unifié du monde. La science n'est pas plus censée tout expliquer. La foi dans la science pour faire la clarté sur tout et rendre tout l'univers intelligible, en fonction d'un ordre cohérent des causes et des effets, a perdu de sa force, les notions d'instabilité et de chaos étant même au centre des préoccupations de certaines recherches.

Le progrès lui-même n'est plus regardé comme source en soi de bienfaits pour l'humanité. Pour certains, le progrès est neutre. Pour d'autres, qui dénoncent les « dégâts du progrès », il est cause de maux nouveaux : dégradation de l'environnement, atteintes à la santé de l'homme, déshumanisation ou robotisation de la société, creusement des inégalités sociales, accentuation des disparités entre le Nord et le Sud.

Que l'homme puisse être son propre prédateur est une idée ancienne. Mais cette idée va aujourd'hui de pair avec une certaine *démythification du progrès*. Elle est même parfois associée à des attitudes de stigmatisation, plus ou moins justes et appropriées, vis-à-vis des sociétés industrialisées.

Le troisième facteur important d'évolution du statut de la science a trait à sa *sécularisation*. Comme le souligne Jean-Pierre Changeux, président du Comité consultatif national d'éthique français, « la démarche scientifique [...] s'accompagne d'un progrès cumulatif des connaissances et de leurs applications », la science elle-même n'étant plus envisagée, au même titre que le droit ou la morale, par rapport à la finalité de prescrire le bien en condamnant le mal. Pour reprendre l'expression du philosophe des sciences Georges Canguilhem, citée par J.-P. Changeux, la science « constitue des vérités sans finalité » (Changeux, 1995).

Elle ne paraît donc plus devoir être opposée à la religion ou à la morale. Expression de la pensée humaine, sa vocation est clairement de tracer la voie pour que l'homme puisse assurer sa survie, son bien-être et sa liberté. Mais, il

reste à l'homme la responsabilité de dégager les valeurs communes permettant d'atteindre ces objectifs. C'est au cœur de cette responsabilité que s'ouvre le champ de l'éthique définie comme « l'étude théorique des principes, ainsi que l'ensemble des principes, qui guident les actions humaines » (Changeux, 1995).

L'impact des activités scientifiques sur la vie en société

Les scientifiques sont devenus des acteurs essentiels du changement social. L'alliance entre science et technologie renforce en effet l'impact de la recherche dans tous les domaines de l'activité humaine.

Les changements technologiques induits par les découvertes scientifiques sont tout d'abord de plus en plus rapides. La cause en est le raccourcissement des délais entre le moment de la découverte et celui de la mise en application de ses résultats.

Ce phénomène est plus marquant encore dans le cas où, comme dans les sciences du vivant, il s'avère souvent impossible d'opérer une distinction parfaitement nette entre recherche fondamentale, recherche appliquée et développement technologique. La recherche médicale est un cas typique : ainsi, l'identification d'un gène dont le dysfonctionnement est à l'origine d'une maladie est quasi immédiatement suivie de la mise au point du test génétique correspondant.

Dans l'informatique, qui requiert le recours à des modèles mathématiques, les systèmes augmentent leurs performances à un rythme tel que les matériels et les logiciels subissent une constante obsolescence. Or, leur renouvellement conduit à d'incessants changements dans les méthodes d'action et les modes de pensée, et ce dans l'ensemble des secteurs d'activité. « La science va plus vite que l'homme », selon l'expression du Président de la République française dans son discours d'installation du Comité consultatif national d'éthique français en 1983.

La science n'est plus seulement associée aux innovations technologiques qu'elle commande. Science et économie sont de plus en plus interdépendantes.

En effet, le marché mondial a besoin pour sa croissance

des nouveaux débouchés qu'offre l'innovation. Corollairement, la recherche exige des financements croissants. C'est pourquoi, outre à des aides publiques, la recherche doit aujourd'hui faire appel à des sources de financement privées. Le rééquilibrage est singulièrement accentué dans le secteur médical. Sachons que pour mettre à jour une nouvelle molécule, en matière pharmaceutique, environ dix années et 500 millions de francs français en moyenne sont nécessaires. Ainsi s'explique le fait que le souci de rentabilisation ne soit plus étranger à la recherche, et que celle-ci soit devenue l'objet d'une compétition acharnée entre industries et entre pays.

La nécessité de rentabiliser les investissements fait pression sur la conduite des recherches. Dans le débat sur les biotechnologies, en particulier, la contrainte financière encourage les laboratoires de recherche à déposer des demandes de brevets de plus en plus précoces, pour s'assurer des gains à tirer d'applications industrielles ultérieures. C'est l'origine de la controverse fameuse sur la brevetabilité du vivant. Les opposants à la brevetabilité font valoir qu'il est en tout état de cause immoral de breveter des espèces ou des gènes qui devraient être par nature inappropriables. D'autres contestent seulement l'idée de breveter la découverte de gènes naturels, non assimilable à une invention au sens du droit des brevets. D'autres, enfin, insistent sur le fait que la brevetabilité du vivant est ancienne et ne soulève pas par elle-même de problème éthique, soulignant qu'en revanche elle conditionne la poursuite des recherches en biologie et en génétique. En assurant la rémunération de l'auteur de l'invention, c'est-à-dire en réalité de l'organisme industriel ou financier ou de l'État, elle apporte en effet une compensation financière aux investissements antérieurement consentis. Comme en témoigne le rejet par le Parlement européen le 1^{er} mars 1995 de la proposition de directive sur la protection juridique des inventions biotechnologiques, il s'agit d'un débat de fond qui, quelle qu'en soit l'issue législative, donne la mesure des enjeux soulevés par la science.

L'un de ces enjeux a trait également à la perception par l'opinion de la science et de la technique considérées pour partie comme des activités « à risques ».

Le danger nucléaire, militaire ou civil, a sans doute joué un rôle déclenchant. Toutefois, la montée de l'inquiétude du public face au risque technologique est maintenant générale.

C'est vrai, la science moderne, en dotant l'homme de pouvoirs inégalés de transformation du monde, lui a parallèlement conféré un potentiel inégalé de destruction de la planète. La « vulnérabilité » de la société liée aux « menaces techniques » est l'une des marques de ce siècle.

A telle enseigne que la communauté scientifique se sent de plus en plus impliquée dans le questionnement sur les pouvoirs de la science. Les propos tenus par le prix Nobel Jacques Monod, dès 1970, alors que les techniques du génie génétique en étaient à leurs premiers essais, traduisent ce sentiment de responsabilité des chercheurs : « Les sociétés modernes pourront-elles maîtriser indéfiniment les pouvoirs fantastiques que leur a donnés la science sur le critère d'un vague humanisme teinté d'une sorte d'hédonisme optimiste et matérialiste ? », se demandait le grand biologiste qui ajoutait : « Pourront-elles sur ces bases résoudre leurs intolérables tensions ? Ou vont-elles s'effondrer¹ ? »

L'ÉTHIQUE DE LA SCIENCE : UN NOUVEL HUMANISME

Il n'est pas indifférent de relever que Jacques Monod était biologiste. Ce sont en effet les avancées de la génétique qui ont suscité l'apparition du mouvement éthique, à partir des années 60. Auparavant, la physique nucléaire avait certes provoqué d'après contestations à la suite du lancement de la bombe atomique en 1945. Mais les discussions n'avaient alors pas débouché sur une réflexion organisée, comme en matière de bioéthique.

Le génie génétique, comme procédé de modification du vivant a quant à lui, au contraire, donné lieu d'emblée

1. Extrait d'une conférence donnée à la Fondation Nobel, cité par Jacqueline Russ, dans *La pensée éthique contemporaine*, Paris, PUF, coll. Que sais-je ?, 1994.

à débat. La circonstance mérite d'autant plus d'être signalée que les premières interrogations sur la portée et les risques de cette technologie sont venues des généticiens. Ceux-ci ont ainsi, en quelque sorte, signé l'acte de naissance de l'éthique de la science au sens moderne.

Lors d'un congrès tenu en 1975 à Azilomar, aux États-Unis d'Amérique, les généticiens réunis pour échanger leurs expériences ont, en effet, décidé de décréter un moratoire sur leurs recherches. Il s'agissait alors essentiellement de prendre du recul afin d'appréhender les risques pouvant résulter, pour la santé de l'homme et son environnement, de l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés (OGM). Le moratoire en cause a été levé au bout d'un an. Et il existe à présent, dans la plupart des pays, des législations fixant les règles de sécurité à respecter en cas d'usage confiné ou de dissémination volontaire d'OGM. De plus, la pratique du moratoire portant sur tel ou tel type de recherche ou d'application technologique est devenue chose relativement courante. Mais à l'époque, le fait était inédit. Et quelle est la technique dont la mise en application s'est ainsi trouvée stoppée dès l'origine, de par la volonté même de ses inventeurs ?

À côté du nucléaire et de la génétique, il est un troisième domaine privilégié de la réflexion éthique : celui des technologies de l'information. Celles-ci connaissent un développement considérable grâce à l'informatique, aux satellites et à tous les autres moyens modernes de collecte et de transmission des données.

Jusqu'à une période récente, l'attention s'est surtout fixée sur les risques d'atteinte à la vie privée et aux libertés des personnes sur le compte de qui des données sont exploitées, concernant notamment leur situation financière ou familiale, leur santé, leurs habitudes de consommation, ou leurs opinions. Cette préoccupation a conduit nombre de pays à adopter des lois « de protection des données », à présent relayées par des législations internationales, dans le cadre notamment du Conseil de l'Europe et de l'Union européenne. Un jour prochain, il s'avé-

ra sans doute nécessaire d'encadrer aussi l'utilisation des techniques de l'image virtuelle qui ouvrent des perspectives entièrement nouvelles de reconstitution et donc de simulation du réel.

La réflexion éthique se porte aujourd'hui également sur le formidable pouvoir d'influence, intellectuelle et morale, exercé à l'échelle planétaire au travers de la communication audiovisuelle. Celle-ci, en abolissant les contraintes de temps et de distance, est aussi révolutionnaire que l'a été jadis l'invention de l'imprimerie.

La liberté de communication, exercée dans le respect du pluralisme et de l'impératif d'honnêteté de présentation de l'information, est plus qu'un atout pour la démocratie. Elle en est l'un des fondements. Mais la médiatisation comporte deux écueils : la banalisation de l'information, d'une part, et surtout, d'autre part, le risque de normalisation, voire de manipulation de l'opinion. Pas plus ni moins qu'une autre, l'activité scientifique de plus en plus médiatisée n'est à l'abri de ces dérives. C'est pourquoi les chercheurs ont pour responsabilité sociale particulière de communiquer au public les résultats de leurs recherches et de l'informer des enjeux réels en cause².

Le premier devoir que s'assignent les chercheurs à cet égard est de se conformer aux exigences de rigueur et de prudence qui font la dignité et la noblesse de leur art. Ne communiquer que des résultats ayant satisfait aux procédures indispensables d'évaluation et de validation est une condition élémentaire de l'éthique professionnelle de la recherche. Or, la tentation n'est pas toujours absente de faire des communications prématurées voire contestables, compte tenu de leurs retombées médiatiques et financières potentielles.

L'éthique, née de la prise de conscience des enjeux planétaires de la science, ne se limite plus à un mouvement de pensée. Elle fait l'objet d'une institutionnalisation concrétisée par la mise en place d'instances éthiques *ad hoc*. De surcroît, un glissement s'opère de l'éthique au droit. Législations nationales et prises de position internationales

2. Voir l'avis rendu le 1^{er} décembre 1994 par le Comité national consultatif d'éthique français « sur les questions éthiques posées par la transmission de l'information scientifique relative à la recherche biologique et médicale ».

se multiplient, comme autant d'efforts pour redéfinir les moyens de la protection des droits de l'homme face aux défis des sciences et des techniques.

L'éthique de la science, les scientifiques et la société

L'éthique de la science s'analyse d'abord comme une démarche d'ouverture des scientifiques sur la société.

Le « moratoire d'Azilomar » est parfois considéré, eu égard à son retentissement psychologique et médiatique, comme l'un des premiers signes de l'implication des scientifiques dans le débat bioéthique. Cependant la sensibilité éthique des chercheurs avait déjà trouvé avant 1975 d'autres occasions de s'exprimer. Diverses initiatives plus permanentes témoignent de la sensibilisation de la communauté scientifique aux préoccupations et aux aspirations des citoyens.

Au siècle dernier, les scientifiques se souciaient essentiellement de promouvoir leurs disciplines et d'en faciliter la vulgarisation afin d'obtenir l'adhésion du public. Telle est la logique ayant présidé, par exemple, à la création en 1831 en Angleterre de la British Association for the Advancement of Science, suivie en 1848 de l'institution d'une association homologue aux États-Unis.

Les chercheurs s'organisent maintenant davantage au plan international que national, et ce dans une optique quelque peu différente de celle des sociétés scientifiques du XIX^e siècle. L'objectif n'est plus seulement d'encourager au développement des sciences et des techniques. Il est dans le même temps de réfléchir aux incidences du progrès sur la société et de faire connaître en tant que de besoin l'opinion de la communauté scientifique sur tel ou tel aspect particulier.

De multiples organismes de concertation et de coopération entre scientifiques ont ainsi été créés de par le monde. Il continue du reste de s'en créer de nouveaux régulièrement. Leur liste serait longue. Certains ont le statut d'organisations internationales non gouvernementales

(ONG). C'est le cas du CIUS (Conseil international des unions scientifiques) ou encore du Conseil des organisations internationales des sciences médicales (placé auprès de l'Organisation mondiale de la santé). Il faut aussi citer le MURS (Mouvement universel pour la responsabilité scientifique) animé par le prix Nobel Jean Dausset, qui a beaucoup fait avancer la réflexion éthique sur la science.

L'intérêt de ces organismes est double : d'une part, ils sont le lieu d'échanges pluridisciplinaires, d'autant plus indispensables qu'ils permettent de franchir les frontières entre les différentes cultures scientifiques. D'autre part, les réflexions qui y sont menées, dès lors qu'elles sont rendues publiques, favorisent la démocratisation du débat éthique.

Le phénomène sociologique le plus original reste néanmoins la création de comités d'éthique dans un nombre croissant de pays.

Ces comités se sont au départ mis en place, à partir des années 60, de façon quasi spontanée, essentiellement dans le domaine des sciences de la vie et de la santé, auprès de centres de recherche ou en milieu hospitalier.

Puis leur existence a été officialisée. La France a été ainsi le premier pays à instituer en 1983 un comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé. Ce modèle a, depuis lors, inspiré d'autres pays, en Europe d'abord, puis sur d'autres continents.

Si l'on se réfère, en effet, à l'enquête lancée en 1994 par l'Unité de bioéthique de l'UNESCO, il existerait plus de deux cents comités nationaux d'éthique dotés de statuts et d'attributions diverses (Kutukdjian, 1994).

Quels que soient leurs champs d'action, pour mériter le label « éthique » ces comités doivent remplir au moins deux conditions : être pluridisciplinaires et pluralistes en associant des représentants des sciences dites « exactes » et des sciences humaines, ainsi que des représentants de plusieurs courants de pensée ; bénéficier d'un statut d'indépendance vis-à-vis des pouvoirs politiques et économiques ; l'éthique étant nécessairement fondée sur la libre confrontation des opinions et des savoirs³. Les avis et

3. Voir Claire Ambroselli, *Le comité d'éthique*, Paris, PUF, coll. Que sais-je ?, 1990, et l'étude sur les comités d'éthique en Europe réalisée par Sonia Le Bris pour le Conseil de l'Europe en 1993.

recommandations des comités d'éthique, dont les attributions sont en général consultatives, n'ont pas pour objet d'apporter des solutions définitives aux problèmes éthiques. Par définition, le débat éthique se renouvelle en se nourrissant des questions suscitées par les situations nouvelles engendrées par la science.

Ni comités de pairs ni comités d'experts, les comités d'éthique ne sont pas *a fortiori* des centres de décision, car celle-ci incombe aux responsables politiques. Mais les comités d'éthique préparent les choix à arrêter. De plus, assurer la transparence du débat éthique est au fondement de leur légitimité.

La formule du « comité d'éthique » n'est plus limitée au cadre national. Il existe en effet des comités d'éthique au niveau international.

L'un de ces comités s'inscrit dans le cadre de l'Union européenne. Il s'agit du Groupe de conseillers pour l'éthique de la biotechnologie (GCEB) placé auprès de la Commission européenne. Créé en 1991, il comprend neuf membres, appartenant aux disciplines scientifiques, juridiques et philosophiques, issus de neuf nationalités différentes. Il est chargé d'identifier les questions éthiques soulevées par les technologies du vivant, de manière à ce qu'il en soit mieux tenu compte dans les projets de législation intéressant les divers domaines de compétence de l'Union européenne (agriculture, santé, alimentation, industrie, environnement, protection du consommateur...).

Le second comité d'éthique international, seul existant au niveau universel, est le Comité international de bioéthique (CIB) créé par l'UNESCO en 1992 sous l'impulsion du Directeur général de l'Organisation.

Instance unique en son genre, le CIB est un forum d'échange d'idées et d'informations et un lieu de rencontre Nord/Sud. Ses cinquante membres sont issus de trente-cinq nationalités et représentent des disciplines très diversifiées. A côté de scientifiques, de juristes, de philosophes, de sociologues, siègent des démographes, des anthropologues, des nutritionnistes, toutes spécialités tournées vers les préoccupations des pays du Sud.

Le CIB, contrairement au GCEB, n'émet pas d'avis ponctuels. Chacune de ses sessions plénières annuelles au siège

de l'UNESCO tend simplement en présence d'un public choisi et de la presse à rendre compte, sous un angle prospectif, de l'état de la recherche en génétique dans le monde et des applications qui en découlent : thérapie génétique, tests génétiques, neurosciences, conseil génétique...

La mission essentielle du CIB est toutefois de nature juridique. Elle repose sur le mandat confié au Directeur général par une résolution adoptée le 15 novembre 1993 par la Conférence générale de l'UNESCO à sa vingt-septième session, envisageant la préparation « d'un instrument international sur la protection du génome humain ».

L'éthique de la science et les principes universels des droits de l'homme

L'éthique, même si elle suppose un questionnement permanent, ne se limite pas à une démarche. Se donnant pour objectif de « guider les actions humaines », elle débouche nécessairement sur des principes fondés sur le socle des droits de l'homme. Quels sont ces principes ?

Il s'agit en premier lieu de préserver, quelles que soient les potentialités de la science, le respect de la dignité de la personne humaine et sa liberté, comme composante essentielle de cette dignité.

La deuxième idée clé, fondée sur le principe de responsabilité, est qu'il faut protéger l'humanité, menacée par les hommes eux-mêmes. Veiller à minimiser le risque technologique devient un impératif éthique.

La troisième exigence éthique a trait aux rapports entre la science et les pouvoirs, que ceux-ci soient politiques, économiques ou religieux. Si les scientifiques, sollicités comme experts, ne doivent pas chercher à se substituer à ces pouvoirs, les pouvoirs doivent de même respecter et garantir l'autonomie de la recherche, comme liberté de pensée. Le réaffirmer solennellement se justifie à la lumière du passé qui fournit plusieurs exemples d'entorses à ces règles de conduite. Les pouvoirs peuvent, en effet, être tentés de défendre leur hégémonie en déclarant nulles et non avenues certaines découvertes, comme ce fut le cas de thèses coperniciennes condamnées en 1616. Ils peuvent aussi symétriquement vouloir exploiter la science pour conforter leurs bases idéologiques, comme

en témoignent les errements de la « biologie prolétarienne » sous l'influence du soviétique Lyssenko dans les années 50.

Tels sont les trois principes susceptibles de fonder l'éthique de la science : respect de la dignité de la personne humaine et de sa liberté ; prévention des risques technologiques dont dépend l'avenir de l'humanité ; préservation de la liberté de création scientifique.

Enfin, on ne saurait parler d'éthique de la science sans énoncer un quatrième principe essentiel, celui de la solidarité intellectuelle et morale de l'humanité auquel le Préambule de l'Acte constitutif de l'UNESCO fait référence. On ne peut en effet tolérer que les avantages découlant du progrès ne bénéficient qu'aux pays les plus riches, ou aux classes les plus riches. Le partage des connaissances scientifiques est une condition pour que tous les pays puissent accéder à un développement durable et que tous les hommes bénéficient de conditions d'existence conformes à leur dignité. Comme le soulignait le Directeur général de l'UNESCO, Federico Mayor, dans son discours prononcé devant le Comité international de bioéthique en septembre 1994, « le progrès scientifique, le savoir sont universels, à ce titre ils devraient être considérés comme un patrimoine commun et devraient être par conséquent également partagés ».

C'est dans le domaine des sciences de la vie que le projet éthique paraît le plus avancé. La génétique en effet fait naître des espoirs considérables quant aux moyens d'éradiquer les grandes maladies de ce siècle. Mais en même temps elle provoque la crainte de voir mettre en péril l'espèce humaine et son environnement. Avec le génie génétique, l'homme devient « l'ingénieur de l'homme » pour reprendre la jolie formule de Mohammed Bedjaoui, membre du CIB.

Cette double problématique a donné lieu à l'adoption de nombreuses législations relatives à l'éthique de la biomédecine, en Europe, aux États-Unis et en Amérique latine (Brésil). Un projet de convention-cadre de bioéthique, élaboré par le Conseil de l'Europe, a par ailleurs été rendu public au début de l'année 1994. Tous ces textes concernent les applications médicales de la biologie et de la géné-

tique. Ils sont progressivement complétés par des textes de portée plus générale sur la recherche en génétique qui fixent les règles de sécurité à observer en cas d'utilisation confinée ou de dissémination volontaire des organismes génétiquement modifiés (réglementations nationales, directives européennes).

L'ONU, pour sa part, a solennellement consacré le rattachement de l'éthique aux droits de l'homme. Lors de la Conférence de Vienne, en juin 1993, elle a appelé les États à veiller au respect des droits et de la dignité humaine dans le domaine des sciences de la vie et des sciences biomédicales. L'ONU s'était au préalable occupée de la préservation de la variété des espèces vivantes en adoptant la Convention de Rio du 6 juin 1992 sur la biodiversité. L'OMS envisage, quant à elle, de lancer un programme « éthique et santé ». L'Union interparlementaire, enfin, a inscrit à l'ordre du jour de sa session de mars 1995 la question des rapports entre bioéthique et droits de l'homme.

Le CIB, conformément au mandat défini par l'UNESCO en novembre 1993, s'est attaché à préparer le premier instrument international de portée universelle « sur la protection du génome humain ».

L'esquisse de déclaration arrêtée en mars 1993 par la commission juridique du CIB, animée par l'ambassadeur Hector Gros Espiell, a été soumise courant 1995 à une vaste consultation, de caractère informel, auprès d'organisations internationales — gouvernementales et non gouvernementales —, de grandes universités et de nombreux comités d'éthique. Cette procédure répond au souci de faire du futur texte un outil de dialogue entre les cultures du monde.

Mais le principal apport de l'esquisse de déclaration est de ranger le génome humain dans le « patrimoine commun de l'humanité ». Il s'agit par là d'ériger l'humanité, de même que l'ensemble des droits des individus qui la composent, en sujet de droit international. Dans cet esprit, le texte réaffirme les droits de la personne humaine à la préservation de sa dignité et de sa liberté. Il dénie en particulier toute discrimination fondée sur les caractéristiques génétiques. En filigrane, il exprime le refus du réductionnisme qui prétendrait résumer la personnalité de chacun

par sa composante génétique. L'homme n'est pas « tout gènes », comme l'a écrit le biologiste François Gros.

Le Code de Nuremberg, rédigé en 1947 par l'Association médicale mondiale, à la suite de la révélation des « expériences » menées sur des cobayes humains par les nazis, a été le premier document international à affirmer que l'homme ne saurait être un simple objet pour la science. L'esquisse rappelle de la même façon que chaque individu doit donner son consentement pour qu'une recherche soit pratiquée sur lui.

L'esquisse de déclaration énonce enfin deux autres principes qui relèvent des droits culturels et sociaux :

- La liberté de création scientifique. Celle-ci exclut, en particulier, ce qui serait au demeurant illusoire, de n'autoriser que les recherches susceptibles *a priori* de déboucher sur des applications utiles à l'homme.
- Le droit de chacun de bénéficier des progrès de la génétique. Ce droit, dont la concrétisation est loin d'être acquise, repose sur l'égalité que l'évolution mondiale impose plus que jamais de conserver comme objectif.

Premiers jalons d'une éthique internationale, ces différents principes sont transposables à d'autres domaines que ceux des sciences de la vie. Car le propos de l'éthique, en effet, n'est pas la science en tant que telle, mais bien l'être humain et, au-delà, l'espèce humaine.

Reste à l'éthique de la science à surmonter ses contradictions :

- Concilier le respect du pluralisme culturel et le caractère nécessairement universel des droits de l'homme.
- Doter la société moderne des moyens de veiller à la prévention des risques liés aux innovations technologiques tout en garantissant la liberté de la recherche.
- Tenir compte des conditions socio-économiques d'une recherche de plus en plus coûteuse, tout en préservant la libre circulation de l'information scientifique et la diffusion de la culture scientifique à travers le monde.
- Reconnaître la responsabilité sociale particulière des chercheurs tout en fondant en droit le principe de la responsabilité de la société tout entière.

« Notre héritage n'est pas précédé d'un testament » a dit le poète français René Char.

Autant dire que la dignité de l'homme tient à la conscience qu'il a de ses responsabilités et que l'éthique de la science, expression de cette prise de conscience, est l'un des premiers devoirs de l'humanité.

Noëlle Lenoir est diplômée d'études supérieures de droit public et de l'Institut d'études politiques de Paris. Elle est actuellement membre du Conseil constitutionnel, et la première femme à avoir été nommée dans cette institution. Auparavant, elle a été administrateur principal du Sénat (1972-1982), directeur de la réglementation à la Commission nationale de l'informatique et des libertés (1982-1984), maître des requêtes au Conseil d'État (depuis 1984), directeur du cabinet du Ministre de la justice (1988-1990), chargée de mission pour le droit de la bioéthique et des sciences de la vie auprès du Premier Ministre (1990-1991).

Parallèlement à ses fonctions de présidente du Comité international de bioéthique de l'UNESCO (CIB) depuis sa création en 1993, Noëlle Lenoir est présidente du Groupe des conseillers pour l'éthique des biotechnologies auprès de la Commission des Communautés européennes. Elle occupe aussi les fonctions de maire d'une commune du Val-d'Oise. Elle est l'auteur de *Aux frontières de la vie : une éthique biomédicale à la française*, publié en 1991.

BIBLIOGRAPHIE

- Académie des sciences. 1995. *La brevetabilité du génome*, rapport n° 132, février 1995, Paris, Académie des sciences.
- Arendt, H. 1972. *La crise de la culture*, Paris, Gallimard.
- Atlan, H. 1986. *A tort et à raison. Inter-critique de la rationalité et du mythe*, Paris, Le Seuil.
- Bedjaoui, M. 1995. Le génome humain comme patrimoine commun de l'humanité ou la génétique de la peur à l'espérance, dans Federico Mayor, *Amicorum Liber*, vol. II, Bruxelles, Bruylant.
- Brody, E. B. 1993. *Biomedical technology and human rights*, Paris, UNESCO/Aldershot ; Royaume-Uni, Dartmouth Publishing.
- Carrington Coutts, M. 1991. *Basic resources in bioethics*, Washington, D.C., Georgetown University, National Reference Centre for Bioethics Literature.
- Changeux, J.-P. 1984. *L'homme neuronal*, Paris, Fayard.
- . 1995. Penser la bioéthique : un débat philosophique, dans Federico Mayor, *Amicorum Liber*, vol. II, Bruxelles, Bruylant.
- Dagognet, F. 1988. *La maîtrise du vivant*, Paris, Hachette/UNESCO/Institut international de philosophie.
- Dausset, J., Dulbecco, R., Galjaard, H., Suleiman, E. N. et Kutukdjian, G. B. 1994. Naître ou ne pas naître, a-t-on le droit de manipuler la vie ?, *Le Courrier de l'UNESCO*, septembre 1994.
- Engelhardt, H. T. Jr. 1991. *Bioethics and secular humanism : the search for a common morality*, Valley Forge, PA, Trinity Press International.
- Fagot-Largeault, A. 1985. *L'homme bio-éthique : pour une déontologie de la recherche sur le vivant*, Paris, Maloine.
- Gros, F. 1988. Les progrès de la biologie contemporaine, *Diogenes*, 142.
- . 1993. *Regard sur la biologie contemporaine*, Paris, Gallimard/UNESCO.
- Habermas, J. 1983. *Morale et communication : conscience morale et activité communicationnelle*, Paris, Le Cerf.
- . 1988. *Le discours philosophique de la modernité*, Paris, Gallimard.
- Jonas, H. 1990. *Le principe responsabilité*, Paris, Le Cerf.
- Jordan, B. 1993. *Voyage autour du génome : le tour du monde en 80 labos*, Paris, John Libbey Eurotext/INSERM.
- Kutukdjian, G. Les comités d'éthique nationaux à travers le monde, *Le Courrier de l'UNESCO*, septembre 1994.
- Lenoir, N. et Sturlèse, B. 1991. *Aux frontières de la vie : une éthique biomédicale à la française*, rapport au Premier Ministre, Paris, La Documentation française.
- Lévi-Strauss, C. 1952. *Race et histoire*, Paris, UNESCO.
- Levinas, E. 1982. *Éthique et infini*, Paris, Fayard.
- Mayor, F., Fall, I., Bessis, S., Bernard, A., Darbishire, H., Nowak, M., Hessel, S., Fournier, F. et Mock, A. 1994. Droits de l'homme. Une longue marche, *Le Courrier de l'UNESCO*, mars 1994.
- Meyer, G. R. 1991. *Bioethics in education*, Paris, Union internationale des sciences biologiques.
- Moulin, M. 1990. *Contrôler la science ? La question des comités d'éthique*, Bruxelles, De Boeck-Wesmael.
- Rawls, J. 1987. *Théorie de la justice*, Paris, Le Seuil.
- Ribes, B. 1978. *Biologie et éthique*, Paris, UNESCO.
- Ruffié, J. 1976. *De la biologie à la culture*, Paris, Flammarion.
- Thomas, J. -P., Mehrtens, H., Lecourt, D., Larbi Bouguerra, M., Desus, B., Rabinow, P., Nouvel, P., Châtelet, G. et Legendre, P. 1995. Au nom de la science, *Revue des deux mondes*, février 1995.
- Weber, M. 1979. *Le savant et le politique*, Paris, Union générale d'éditions.
- Wigner, E. P., Tinbergen, J., Natta, G., Burnet, F. M., Szent-Györgyi, A. et Cassin, R. 1972. Des prix Nobel méditent sur la science, *Impact, Science et Société*, vol. XXII (4).

La mégascience

J. THOMAS RATCHFORD ET UMBERTO COLOMBO

Gouvernements, entreprises et autres institutions investissent de gros moyens dans la recherche scientifique. Ces investissements ont connu une croissance exponentielle au cours des dernières décennies. Au total, c'est l'équivalent de 2 à 3 % de leur produit intérieur brut (PIB) que les plus grands pays industrialisés consacrent à la recherche-développement (R-D).

Ces dernières années, les projets de très grande envergure ont absorbé une part croissante des budgets de la recherche, en particulier dans le secteur public. Cela n'a rien de surprenant. A mesure que notre connaissance du fonctionnement de l'univers progresse, la complexité et la subtilité des secrets que recèle encore la nature et la difficulté de les découvrir augmentent. Des projets toujours plus ambitieux et coûteux sont nécessaires pour percer quelques-uns au moins de ces secrets. Il ne s'agit pas simplement de satisfaire la curiosité humaine. Les connaissances ainsi acquises peuvent livrer la clé de certains des problèmes les plus pressants auxquels seront confrontées les générations futures. Que l'on pense, par exemple, à la nécessité de surmonter les effets du réchauffement de la planète en tenant compte des besoins énergétiques croissants, ou aux efforts massifs qui devront être faits pour venir à bout du problème de plus en plus préoccupant des épidémies telles que le sida.

Dans le même temps, il est probable que les scientifiques devront faire face dans un avenir prévisible à une baisse sévère des crédits. Les très grands projets scientifiques et technologiques exigeant d'importants capitaux sont particulièrement menacés. En cette période de vaches maigres, c'est de plus en plus en fonction de leur coût, du nombre d'emplois qu'ils sont capables de créer, du gain que l'on peut en attendre sur le plan de la compétitivité économique et de leurs retombées sociales directes — plus que de leur pertinence scientifique — que l'on décide de leur validité. Compte tenu des échelles de temps propres à la recherche lourde, cette nouvelle logique pourrait faire que plusieurs des très grands projets mis en chantier au temps de l'« âge d'or » de la science se voient considérés d'un œil de plus en plus critique. Certains responsables politiques sont prêts aujourd'hui à admettre, si tel est le prix à payer,

un ralentissement du progrès scientifique. Le risque est donc grand d'une politisation de la science, soumise au jeu des lobbies, scientifiques ou non. Parallèlement, les contraintes financières rencontrées au niveau national suscitent un intérêt croissant pour la coopération internationale dans de nombreuses branches de la science.

La multiplication de projets de recherche à grande échelle de plus en plus coûteux a provoqué ces dernières années des divisions au sein de la communauté scientifique. Les défenseurs de la « recherche légère » ont contesté les budgets alloués à la « recherche lourde » en faisant valoir que la première est plus naturellement génératrice de retombées économiques. De plus, certaines disciplines scientifiques, comme la physique des hautes énergies et l'astronomie, sont beaucoup plus tributaires des projets de grande envergure que d'autres, comme la physique de la matière condensée, la chimie organique ou la biologie moléculaire. Des chercheurs appartenant à certaines disciplines ont donc fait valoir que le financement des très grands projets se faisait à leurs dépens.

Il n'est pas toujours facile de distinguer ce qui relève de la recherche lourde de ce qui n'en relève pas. Ainsi, les très grands projets concernant les sources de rayonnement synchrotron viennent étayer des projets plus modestes menés individuellement par un grand nombre de chercheurs. De tels équipements doivent-ils ou non être comptabilisés dans le budget de la mégascience ?

Pour comprendre comment sont financés les très grands projets, il est essentiel de savoir ce que l'on entend par budget « de la science » ou « de la recherche ». Tel gouvernement a-t-il un budget de la science fixe ? Les crédits alloués à la mégascience iraient-ils à de petits projets si les projets de recherche lourde étaient abandonnés ?

QU'EST-CE QUE LA MÉGASCIENCE ?

Dans le présent chapitre, le terme « mégascience » désigne les projets ou programmes de très grande envergure axés essentiellement sur la recherche fondamentale. Il ne sera pas question ici des grands projets technologiques où la recherche fondamentale n'occupe qu'une place secondaire,

comme le projet de station spatiale. Du fait que certains projets relevant de la mégascience exigent la mise au point et l'adaptation d'installations extrêmement coûteuses et d'une technologie très poussée, il n'est pas toujours facile de les classer dans l'une ou l'autre catégorie. C'est ainsi qu'un projet à caractère fortement technologique comme le Réacteur expérimental thermonucléaire international (ITER) se situe à cheval entre technologie et science dans la mesure où la faisabilité d'une fusion thermonucléaire contrôlée et prolongée reste à démontrer. L'ITER regroupe les efforts des principaux acteurs de la recherche thermonucléaire : États-Unis d'Amérique et Canada, Union européenne, Japon et Russie.

Dans le présent chapitre, le terme « mégascience » ne fait pas nécessairement référence aux grands laboratoires intégrés tels que le Brookhaven National Laboratory ou l'un des Instituts Max-Planck. Certes, les recherches menées dans ces laboratoires soutiennent la comparaison avec nombre de très grands projets, mais elles n'en ont pas la cohérence et ne poursuivent pas comme eux un objectif unique.

Nous distinguerons deux types fondamentalement différents de très grands projets :

- les projets utilisant des équipements centralisés comme le télescope spatial ou l'Installation européenne de rayonnement synchrotron (ESRF) ;
- les projets utilisant des équipements décentralisés, comme les différents Programmes de recherche sur les changements de l'environnement planétaire coordonnés par l'International Group of Funding Agencies for Global Change Research (IGFA) ou le Projet du génome humain.

Projets utilisant des équipements centralisés

Ces projets sont faciles à identifier. Ils sont géographiquement localisés et représentent un investissement financier considérable. Les installations spatiales constituent naturellement un cas spécial quant à leur localisation, mais elles fonctionnent selon les mêmes principes.

Certains de ces projets sont axés sur une expérience ou une famille d'expériences particulière dans une discipline

Les données

Les données sont le liant assurant la cohésion des très grands projets utilisant des équipements décentralisés. Élément de plus en plus important de tels efforts, elles se mesurent parfois en téraoctets. La réussite des projets dépend de l'efficacité de leur collecte, de leur gestion, de leur évaluation et de leur diffusion. Parmi les problèmes qu'il faudra résoudre à l'avenir figurent la normalisation des données collectées et traitées, le contrôle de leur qualité et les moyens d'en garantir l'accès aux chercheurs compétents du monde entier.

bien précise, par exemple les accélérateurs de particules. A l'inverse, d'autres consistent en un équipement spécial, tel que les sources de rayonnement synchrotron et/ou de rayonnement à neutrons, auquel les spécialistes de domaines traditionnellement étroits de la science comme la physique de la matière condensée ou de disciplines comme la chimie ou les sciences médicales font largement appel dans leurs recherches.

Projets utilisant des équipements décentralisés

Comme l'indique leur dénomination, ces projets ne sont liés à aucune base géographique particulière. Les scientifiques qui y participent appartiennent à de nombreuses institutions et régions différentes, et les capitaux proviennent souvent de sources variées. Certains de ces projets regroupent des chercheurs de nombreuses disciplines, comme c'est le cas des différents Programmes de recherche sur les changements de l'environnement planétaire.

En quoi les très grands projets utilisant des équipements décentralisés se différencient-ils d'un ensemble de recherches intéressantes telle ou telle discipline ou sous-discipline ? Tout d'abord, la recherche y est orientée dans une direction précise, correspondant à certains objectifs scientifiques ou sociaux, qu'il s'agisse de cartographier le génome humain ou de mesurer et comprendre le changement climatique mondial. En outre, il existe habituelle-

ment un ou plusieurs groupes chargés de coordonner les recherches. Ces groupes de coordination peuvent être publics ou privés, et s'occuper aussi bien des aspects scientifiques que des questions de financement. Bon nombre des projets de ce type, sinon la plupart d'entre eux, nécessitent des moyens de gestion des données centralisés pour que les résultats des diverses expériences puissent être efficacement collectés, archivés et mis à la disposition des communautés scientifiques et politiques du monde entier.

Il est parfois malaisé de déterminer si un très grand projet appartient à l'une ou l'autre de ces deux catégories. On range habituellement l'océanographie dans la deuxième, bien que les navires de forage, dont chaque nouvelle génération est plus coûteuse que la précédente, ressemblent davantage à des équipements lourds. Les accélérateurs de particules, sans doute l'exemple le plus parfait d'équipements centralisés, sont eux-mêmes en grande partie financés par un ensemble, souvent international, d'utilisateurs différents, qui conduisent les expériences et fournissent une large part des appareils d'expérimentation.

LE DÉVELOPPEMENT DE LA MÉGASCIENCE

La mégascience n'est pas tout à fait un phénomène moderne. Au XVI^e siècle, le grand observatoire astronomique de Tycho Brahe, financé par la monarchie danoise, représentait pour l'époque un effort gigantesque qui s'est avéré rentable, bien que pas nécessairement pour le bailleur de fonds. Les travaux de Johannes Kepler, assistant de Brahe, servirent d'assise à la conception newtonienne de l'univers qui allait dominer la science pendant plus de trois cents ans.

Aux États-Unis, l'expédition de Lewis et Clark au début du XIX^e siècle fut sans doute le plus fructueux des premiers très grands projets scientifiques. Quelque cent ans plus tard, Ernest Lawrence conçut une machine permettant de casser les atomes et d'en explorer le noyau. Cette machine — le cyclotron — fut aussi, pour son temps, une grande dévoreuse de capitaux et de crédits de fonctionnement.

Ce fut la seconde guerre mondiale qui non seulement modifia les relations entre les gouvernements et la science,

mais fournit encore à cette dernière les ressources nécessaires à un véritable projet de très grande envergure. Qu'on le range dans la catégorie des projets scientifiques ou des projets technologiques, il est certain en tout cas que le projet Manhattan a reculé les limites de la recherche fondamentale. Son ampleur était sans précédent : il coûta deux milliards de dollars, alors que le budget alloué à la R-D par le Gouvernement fédéral des États-Unis en 1940 s'élevait à environ 70 millions de dollars.

Quel est le coût de la mégascience ?

Il n'existe pas de règles comptables communément admises permettant de mesurer le coût des projets de recherche lourde, ou même de déterminer à partir de quel niveau de financement on peut parler de « très grand projet ». Mais l'on peut s'appuyer sur un certain nombre d'éléments, comme le coût absolu d'un projet et son coût relatif par rapport au montant total des sommes allouées par le gouvernement à la R-D civile, ou du budget de la discipline scientifique dont relève le projet. Le coût inhabituellement élevé des projets de ce type constitue pour les petits pays une barrière insurmontable qui les empêche de se lancer seul dans une telle entreprise. Mais, de plus en plus, les pays de plus grande taille éprouvent eux aussi des difficultés à entreprendre de vastes projets hors du cadre de la coopération internationale (voir la section « L'internationalisation de la mégascience »).

Le financement des très grands projets, d'après une large opinion, aurait augmenté plus vite que celui de la recherche en général. Des études sur le financement de ces projets réalisées en 1992 par l'Office du budget du Congrès et l'Office général des comptes (General Accounting Office) des États-Unis ont conclu, par exemple, qu'ils ponctionnaient lourdement les crédits dont auraient pu bénéficier d'autres domaines de la recherche. Cette conclusion suppose toutefois l'existence d'un budget fixe et la possibilité de transférer les crédits d'un projet ou d'un domaine à l'autre, hypothèse probablement fautive (voir l'encadré sur le budget).

Quelle proportion du budget global de la recherche va aux très grands projets (mégaprojets) ? Une analyse du

Le budget de la recherche : un mythe ou une réalité ?

Nombreux sont les scientifiques convaincus de l'existence d'un « budget de la recherche » réparti entre tous les projets, qui se trouveraient ainsi en concurrence les uns avec les autres. Ces mêmes scientifiques craignent que de nouveaux très grands projets ne privent d'autres branches de la science des crédits qui leur seraient sinon revenus, le montant global du budget demeurant essentiellement inchangé.

Chaque très grand projet est, en fait, justifié séparément et bénéficie d'appuis politiques distincts. Les projets de ce type entrepris dans le passé n'ont pas été financés sur les budgets de la recherche-développement existants, mais au moyens de fonds supplémentaires. Lorsque de tels projets furent abandonnés en cours de route, comme ce fut le cas du supercollisionneur supra-conducteur (SSC) aux États-Unis en 1994, les capitaux non encore dépensés ne profitèrent pas à la recherche.

Hubert Curien, président du Conseil du CERN et ancien Ministre français de la science, l'a confirmé lors d'une conférence sur les grands équipements de physique tenue en 1994. « Certains scientifiques, a-t-il déclaré, sont naturellement enclins à penser qu'avec les mêmes sommes, on pourrait réaliser bien d'autres choses. Le problème est que l'on n'a jamais les mêmes sommes ; si l'argent n'est pas dépensé dans tel domaine de la science, il ne faut pas espérer qu'il sera transféré à tel autre. »

La question est de savoir s'il continuera d'en être demain comme par le passé. La réponse est incertaine, car les gouvernements sont confrontés à des difficultés budgétaires sans équivalent depuis au moins deux générations. En fait, la coopération internationale pourrait apparaître comme un moyen de rationner les crédits affectés à la recherche lourde en période d'austérité.

budget de la recherche des États-Unis réalisée par le Service de la recherche du Congrès (CRS) montre que ces projets représentent environ 10 % du budget fédéral global de la R-D pour les exercices 1991-1995. Bien que les

très grands projets y soient définis de manière quelque peu différente de celle que nous avons adoptée dans le présent chapitre, cette comparaison permet d'évaluer leur impact sur les budgets de la recherche. En considérant les sept projets de recherche civile cités par le CRS et en comparant leur budget avec le budget fédéral global de la recherche fondamentale, on constate que leur est allouée une part de l'ordre de 15 %. On peut donc raisonnablement estimer que la mégascience absorbe entre 10 et 20 % du budget fédéral de la recherche.

POURQUOI LES GOUVERNEMENTS SOUTIENNENT-ILS LA MÉGASCIENCE ?

Les gouvernements financent de très grands projets pour diverses raisons. Dans un passé lointain, les empereurs et les rois imposaient leurs caprices. Le mercantilisme fut le moteur des explorations géographiques et des expéditions scientifiques. Plus près de nous, le souci d'assurer la sécurité nationale joua un rôle capital, au moins jusqu'à la fin de la guerre froide. Toutefois, la science continue aujourd'hui encore d'être très largement soumise à des modes. La mode n'influence peut-être plus l'opinion à Versailles ou à Vienne, mais elle explique en partie pourquoi certains domaines dont les médias se font les champions bénéficient d'un afflux massif de capitaux. Les pressions exercées par les lobbies pour que soient financées certaines causes pèsent parfois plus lourd que tous les arguments scientifiques rationnels qui pourraient justifier le rang de priorité élevé qui leur est assigné. De même, les fluctuations de la mode peuvent remettre brutalement en question l'utilité, hier encore reconnue, de tel ou tel très grand projet, dont le budget est alors réduit, comme ce fut le cas pour la recherche spatiale.

De nos jours, les très grands projets sont habituellement proposés et justifiés par les spécialistes intéressés sur la base de considérations scientifiques. A l'appui de ces dernières, on invoque souvent le « prestige national » ou des enjeux politiques et économiques. Les arguments économiques vont du court terme (dépenses directes) au plus long terme (renforcement de l'éducation, industries de

haute technologie et compétitivité au sein de l'économie internationale).

A l'évidence, la mégascience enrichit le stock de connaissances de l'humanité et produit des retombées intellectuelles et éducatives et d'importants bénéfices économiques. Des études montrent que ce type de recherche peut avoir un taux de rentabilité sociale élevé. A long terme, toutefois, c'est à l'échelle mondiale plutôt que locale ou nationale que l'on en recueille les fruits, comme on l'a vu avec l'observatoire de Brahe. Les bénéfices « privés », ou même « nationaux » à long terme sont moins apparents et, quand ils sont identifiables, se révèlent le plus souvent être des retombées indirectes, liées par exemple à l'éducation.

Le rôle des scientifiques

Les principaux partisans des très grands projets sont évidemment, en général, les spécialistes du domaine de recherche intéressé. Ce sont habituellement des groupes, formels ou informels, de scientifiques extérieurs aux cercles du pouvoir qui proposent de nouveaux projets, en vue de relever les défis les plus riches de promesses de leur spécialité. Dans certains cas, ces projets sont le résultat d'efforts tendant à donner la priorité aux domaines de recherche appuyés par de prestigieuses organisations scientifiques. Certains de ces groupes sont internationaux et incluent parfois diverses initiatives nationales dans leurs propositions. D'autres projets sont proposés par les organisations internationales qui seraient responsables de leur mise en œuvre.

Il n'existe pas de formule particulière pour obtenir des appuis pour un très grand projet. Le plus souvent, le groupe de scientifiques intéressés présente son projet à l'organisme national qui est la principale source de financement du domaine de recherche dont relève ce projet. De premiers crédits sont parfois accordés pour la réalisation d'une étude de faisabilité. L'estimation des coûts et le choix du site et/ou de l'entreprise contractante jouent un rôle crucial dans la décision de donner ou non le feu vert. Cette décision est prise par l'organisme de financement ; dans le cas de projets d'une envergure vraiment exceptionnelle

(dont le budget représente une part substantielle du budget global de la R-D alloué par cet organisme à la discipline intéressée), elle est approuvée à un plus haut niveau au sein du gouvernement. Il n'est pas rare que les coûts de construction soient sous-évalués. On compare parfois cette stratégie à celle du chameau de la fable qui glisse son museau sous la tente dans l'espoir de s'y introduire peu à peu tout entier. L'optimisme excessif, et parfois partisan, de ceux qui le défendent peut emporter l'approbation initiale d'un projet donné. Mais l'accumulation des surcoûts et des retards dans la construction produit bientôt un effet de boomerang qui nuit à la crédibilité des projets futurs, y compris dans d'autres branches de la science. A cela s'ajoute le fait qu'une fois doté d'un budget, il est difficile d'arrêter un très grand projet. Une telle décision n'est jamais prise sans douleur ni déchirement.

Ces dernières années, des scientifiques ont cherché des appuis pour certains très grands projets hors du cercle de la communauté scientifique et des organismes compétents en matière de recherche. Aux États-Unis, certains font pression auprès des membres du Congrès et organisent des campagnes de relations publiques agressives. Ailleurs, ce n'est guère mieux. Au Japon et en Europe, il arrive que des lobbies soutenant certains projets extrêmement coûteux aient raison des réticences des décideurs, comme de la majorité des spécialistes.

L'évolution des attitudes au niveau national

Par le passé, les très grands projets étaient des initiatives nationales. Il était facile d'obtenir des informations sur leur planification et le coût global de ces projets était réparti entre différents pays ou groupes de pays finançant chacun leurs propres recherches. Les scientifiques avaient accès aux installations en fonction de leurs mérites et ne supportaient que le coût de leurs propres expériences. La discrimination géographique était plus ou moins inconnue.

Les choses sont en train de changer pour plusieurs raisons fondamentales, notamment la double tendance à l'accroissement continu du coût des projets et à la stagnation ou à la diminution des budgets gouvernementaux de la R-D. Les pouvoirs publics sont moins enclins à soutenir la

science et la recherche en général. On prend de plus en plus conscience de la difficulté qu'éprouvent les pays finançant des projets de très grosse envergure à en recueillir les fruits. Et la fin de la guerre froide a modifié l'équation internationale en enlevant de leur poids aux arguments plaçant pour la supériorité nationale au nom de la sécurité. Dans le même temps, on accorde plus volontiers librement accès aux installations, en particulier lorsqu'elles sont sous-utilisées. Enfin, le pragmatisme économique l'emporte sur les considérations de prestige national.

L'INTERNATIONALISATION DE LA MÉGASCIENCE

Depuis des siècles, la science et la recherche sont de toutes les activités humaines celles dont le caractère international est le plus marqué. Des scientifiques, dans les universités et autres centres de recherche, entretiennent fréquemment une collaboration plus étroite avec des confrères se trouvant à l'autre bout du monde qu'avec des collègues travaillant de l'autre côté du couloir.

Ces contacts ignorant les frontières sont devenus beaucoup plus faciles et moins onéreux, en particulier depuis la fin de la seconde guerre mondiale, grâce au progrès technique. Les communications sont instantanées et presque gratuites. Voyager prend moins de temps et coûte moins cher, et les formalités se sont énormément simplifiées. On peut dire que les conditions sont réunies pour une internationalisation de la science et que la main invisible du marché tend à optimiser la coopération entre chercheurs.

Les tendances et le climat politique actuels

On observe un renforcement de la coopération entre pays dans le domaine de la recherche légère comme dans celui de la recherche lourde. Le nombre d'accords bilatéraux portant sur la science et la technologie a augmenté. Les revues spécialisées publient de plus en plus souvent des articles rédigés en collaboration par des scientifiques de différentes nationalités. De nombreuses institutions spécialisées ont été créées pour faciliter la coopération internationale en matière de recherche. Il en existe plusieurs au sein

du système des Nations Unies ; l'UNESCO, en particulier, a déployé des efforts extrêmement méritoires dans ce domaine. Et les accords de coopération entre universités et associations de scientifiques et d'ingénieurs se multiplient dans un certain nombre de pays.

Bien qu'il soit difficile d'obtenir des données précises sur le budget de la mégascience, la plupart des observateurs estiment que la coopération s'est développée plus vite dans ce domaine que dans la recherche en général. L'Europe est nettement en tête, devant l'Amérique du Nord et le Japon. Le nombre de partenaires de taille relativement modeste et les efforts progressifs pour réaliser l'union économique puis politique dans le cadre de la Communauté européenne y ont facilité la coopération scientifique. Un certain nombre d'organisations intergouvernementales comme le Laboratoire européen pour la physique des particules (CERN), l'Organisation européenne de recherche astronomique dans l'hémisphère Sud (ESO) et l'Installation européenne de rayonnement synchrotron (ESRF) jouent à présent un rôle majeur dans la mégascience européenne et mondiale.

Abstraction faite de la contribution décisive de scientifiques étrangers au projet Manhattan, ce n'est que plus récemment que les États-Unis, comme le Japon et la Russie, se sont ouverts à la coopération internationale dans le domaine de la mégascience. Cela s'explique en partie par l'échelle des budgets de la recherche des États-Unis et des projets de grande envergure qu'ils finançaient. Poussés par la logique de la guerre froide, les États-Unis et ce qui était encore l'URSS entreprirent unilatéralement de nombreux projets de recherche lourde dans l'intention avouée de distancer l'autre camp. Le Japon, où la recherche n'est que relativement peu subventionnée par le gouvernement et où l'accent est mis traditionnellement sur les recherches économiquement utiles, ne s'est lancé dans la mégascience qu'à une date relativement récente.

La fin de la guerre froide a également entraîné un changement du climat politique concernant la science lourde. Ce phénomène a été particulièrement marqué aux États-Unis, où la compétition avec l'URSS était une puissante incitation à financer des grands projets capables de don-

Le CERN, un modèle pour demain ?

L'idée de créer un Conseil européen pour la recherche nucléaire (CERN) a été lancée en 1949 par Louis de Broglie, l'un des pionniers de la mécanique quantique. Aussitôt reprise par des scientifiques de renom, dont Pierre Auger, Edoardo Amaldi et Francis Perrin, cette idée fut à l'origine d'un projet proposé par l'UNESCO à l'initiative d'Isidor Rabi dont l'adoption aboutit en 1953 à la signature d'une convention à Paris. Le CERN a été constitué en 1954 aux termes d'un traité suivi de la construction d'un laboratoire à Meyrin, près de Genève.

En 40 ans d'existence, le CERN a vu le nombre de ses États membres passer de 9 à 19. Il emploie près de 3 000 personnes et accueille chaque année quelque 6 000 chercheurs venus de plusieurs centaines d'universités et instituts de recherche du monde entier pour participer à des expériences dont les plus importantes mobilisent 400 à 500 scientifiques. Le budget annuel du CERN, d'un montant de près d'un milliard de francs suisses, est financé par ses États membres, en général au prorata de leur produit national brut (PNB).

Quatre prix Nobel ont récompensé les activités du centre au cours de la dernière décennie et cinq lauréats travaillent sur le site. Le programme de recherche du CERN a évolué au fil des années avec la construction successive d'un certain nombre de « machines » à hautes énergies. Le projet de *Large Hadron Collider* (LHC), l'équivalent du SSC dont la construction a été annulée aux États-Unis, vient tout juste de démarrer.

Le CERN est un organisme unique en ce qu'il dispose durablement d'un financement stable garanti par un traité. Son problème n'est pas la taille de son budget mais la difficulté de répartir au mieux les crédits de recherche entre projets concurrents.

ner au pays une avance décisive. Le Congrès et la Maison Blanche découvrent aujourd'hui que nombre de ces projets sont trop coûteux au regard des budgets nationaux de la recherche et que la seule solution est de trouver des partenaires pour les financer. Ironiquement, c'est au sujet du

SSC que le gouvernement américain s'est montré le plus ferme dans l'affirmation de ce principe (sinon dans son application). Le principe d'un cofinancement des grands projets a soulevé moins de difficultés dans le passé en Europe et au Japon qu'aux États-Unis. L'un des obstacles possibles à une internationalisation accrue de la recherche lourde est la complexité du processus budgétaire aux États-Unis qui empêche ce pays de participer durablement au financement d'efforts conjoints. Sa réputation de « partenaire peu fiable » continuera de compliquer les négociations internationales sur la coopération dans le domaine de la mégascience.

Au sein des différentes communautés scientifiques, les intrigues politiques sont encore plus compliquées que dans les sphères du pouvoir. Les spécialistes de sous-disciplines qui proposent de très grands projets souhaitent généralement qu'ils soient mis en œuvre au niveau national. C'est qu'ils comptent jouer ainsi un rôle plus éminent en tant que chef de file de leur spécialité dans leur pays ; un très grand projet national constitue un atout pour les scientifiques qui aspirent au prix Nobel.

Les avantages et les inconvénients

L'internationalisation des très grands projets a, comme il fallait s'y attendre, des aspects aussi bien positifs que négatifs. Le regroupement des ressources limitées allouées à différents programmes nationaux aux fins d'un projet international de grande envergure peut se traduire par un financement plus régulier et des économies d'échelle. Des scientifiques du monde entier travaillant ensemble devraient être plus efficaces que des équipes nationales rivalisant entre elles. Depuis que la guerre froide a pris fin, l'idée de mettre en commun les ressources afin d'accroître les connaissances de l'humanité est politiquement séduisante. De plus, l'élargissement de la coopération internationale permettrait de mettre à profit les compétences scientifiques dont disposent les petites nations et les pays en développement, avec pour effet d'élargir aussi le cadre décisionnel. Le transfert des connaissances et la formation par la recherche qui vont de pair avec de telles activités constitueraient des avantages supplémentaires.

Mais il y a aussi des inconvénients. Et d'abord le fait qu'un très grand projet géré au niveau international suppose des structures décisionnelles et administratives complexes et moins efficaces que des structures nationales. Les bureaucraties internationales sont particulièrement coûteuses et lourdes. La compétition peut être négative quand elle est inutile, mais elle peut aussi encourager l'innovation et l'efficacité.

Les efforts généralement couronnés de succès qui ont été faits en Europe en faveur d'une internationalisation de la mégascience ont soulevé un certain nombre de difficultés, liées en particulier au choix des sites, des entrepreneurs et autres aspects de la répartition des bénéfices économiques entre pays participants. Sur ce plan, l'Europe n'est pas un cas isolé, comme on a pu le voir récemment aux États-Unis. Dans le cas des programmes de coopération européenne qui ont réussi, comme le CERN, le surcroît de dépenses est en général plus que compensé par la valeur ajoutée qui résulte de la mise en commun des ressources et de l'éventail plus large de talents au sein de l'équipe de chercheurs.

L'internationalisation des très grands projets n'implique pas nécessairement que chaque projet soit géré comme une activité internationale. Une autre formule consiste à répartir la responsabilité de la mise sur pied et de la gestion de chaque projet entre les pays, selon des arrangements équitables ayant fait l'objet d'un accord et garantissant un droit d'accès réciproque. Si une telle approche a été à certains égards déjà utilisée dans le passé, on a insisté plus récemment sur le problème des contreparties.

A l'heure actuelle, les gouvernements et les responsables de la recherche des organismes bailleurs de fonds voient un autre avantage dans l'internationalisation de la mégascience : les accords multilatéraux concernant le financement de tel ou tel programme permettent de maîtriser son budget. Le principe consiste à fixer le montant des ressources qui seront allouées à un projet ou à un ensemble de projets apparentés et de laisser aux scientifiques le soin de décider de la répartition concrète des fonds. Le CERN offre un bon exemple de cette approche en Europe.

L'AVENIR

Bien que le passé apporte toujours quelques lumières sur ce que sera l'avenir, dans le cas des très grands projets, la situation différera probablement beaucoup demain de ce qu'elle est depuis les années 60. Certes, les difficultés financières constituent le principal motif qui pousse les pays à unir leurs forces, mais non le seul.

Les problèmes planétaires

Le monde se trouve confronté aujourd'hui à quantité de problèmes qui ne pourront être véritablement surmontés que par des efforts concertés visant à leur apporter des solutions à l'échelle de la planète. Les sciences de l'environnement nous en donnent des exemples éclairants : d'abord et avant tout, les recherches sur le changement climatique et l'appauvrissement de la couche d'ozone dans la haute atmosphère, mais aussi les programmes conjoints dans le domaine des forages profonds et de l'océanographie. De très grands projets ont été lancés en vue de répondre à ces préoccupations. Dans le domaine crucial de l'alimentation mondiale, il reste toutefois beaucoup à faire.

En Asie du Sud et du Sud-Est, l'accroissement de la productivité agricole est en passe d'atteindre son niveau maximal. Les besoins alimentaires créés par la croissance démographique rapide ont souvent raison des appels à un développement durable et respectueux de l'environnement. Les réussites passées de la science, principalement la « révolution verte » des années 60 et 70, montrent leurs limites. Il est clair qu'il faudra trouver de nouvelles approches qui ménagent davantage l'avenir. Nous devons nous préparer à une planète peuplée de 10 à 12 milliards d'êtres humains, dont moins de deux milliards vivront dans les pays riches du Nord. La mégascience représente peut-être un espoir d'éviter une catastrophe. Des efforts concertés au niveau international, qui prendraient la forme de grands projets ciblés (et décentralisés) combinant les dernières avancées scientifiques, spécialement dans le tout nouveau domaine des techniques agrobiologiques, et dont les partenaires mettraient leurs ressources en commun et

Le programme ITER

L'idée de concevoir et de construire en coopération le premier réacteur thermonucléaire a été lancée lors de plusieurs rencontres au sommet, dont celle de François Mitterrand et Mikhaïl Gorbatchev à Paris en 1985.

Le programme quadripartite (Union européenne, Japon, Russie et États-Unis) de Réacteur expérimental thermonucléaire international (ITER) entrepris sous les auspices de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) est un exemple unique de collaboration mondiale en matière de recherche lourde. Le but est d'élaborer avant juillet 1998 les plans techniques détaillés du réacteur en se partageant l'effort de recherche-développement que cela suppose. La Suisse s'est pleinement associée à l'Union européenne, le Canada participe à la contribution des États-Unis et le Kazakhstan à celle de la Russie.

L'objectif général du programme ITER est de démontrer la faisabilité scientifique et technique de la production d'énergie par fusion à des fins pacifiques. Les études techniques, dont le coût est estimé à environ 1,2 milliard de dollars des États-Unis (montant financé à parts égales), devraient se poursuivre pendant six ans et fournir des éléments solides pour décider de l'éventuelle construction du réacteur. Elles mobiliseront plus de 200 spécialistes, plus une équipe dans chacune des quatre régions. Des centres de recherche conjointe existent au Japon, aux États-Unis et en Allemagne. Les quatre partenaires se partagent de façon égale les activités de R-D d'appui.

Un nouvel accord sera nécessaire pour passer à la phase de construction du réacteur. Le choix du site sera particulièrement délicat. Les travaux pourraient commencer en 1998, durer environ huit ans et coûter quelque 6,5 milliards de dollars. Le réacteur fonctionnerait durant une vingtaine d'années.

partageraient en particulier les risques, les tâches, l'information et les données, permettraient sans doute de progresser dans la recherche de solutions.

En la matière, l'engagement individuel des scientifiques sera non moins important que celui des gouvernements

et des organisations internationales. Grâce au courrier électronique et à Internet, par exemple, des équipes se constituent non plus au terme de négociations, mais à la faveur d'échanges personnels dans des messageries. A n'en pas douter, ces pratiques se répandront et auront des incidences sur la science lourde. Il se pourrait fort bien que les grands projets qui, demain, tenteront de résoudre les problèmes planétaires soient mis sur pied par de tels canaux.

Les nouvelles chances et les nouvelles contraintes
Un certain nombre de facteurs joueront sans doute un rôle déterminant à l'avenir, notamment :

- de meilleures possibilités de faire avancer la science par le biais des grands projets ;
- de sévères contraintes pesant sur les budgets nationaux de la R-D ;
- une très forte concurrence entre domaines de recherche et à l'intérieur de ces domaines dans la quête des subventions ;
- une érosion du soutien apporté par les pouvoirs publics à la recherche fondamentale ;
- De fortes pressions pour un « rationnement » des crédits alloués à la mégascience ;
- un rôle plus agressif des fonctionnaires gouvernementaux chargés de la R-D.

D'ores et déjà, des organisations internationales se préoccupent de la coordination et de la gestion de la mégascience. C'est le cas des Nations Unies (et en particulier, parmi ses institutions spécialisées, de l'UNESCO, qui, nous l'avons vu, a joué un rôle central dans la création du CERN et est responsable de plusieurs programmes de recherche mondiaux), de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (voir encadré) et de l'Union européenne ; le G7 s'est également intéressé à la question. A l'heure actuelle, la Commission européenne est un des principaux bailleurs de fonds. D'autres organismes régionaux interviennent aussi parfois. Les différents organismes de l'ONU ont une certaine expérience de la gestion de domaines de recherche particuliers, mais ne se sont guère occupés jusqu'ici de la mégascience. Il est difficile

de dire si ces organismes œuvrant de concert, ou un nouvel organisme créé à cet effet, seraient à même de garantir les engagements financiers à long terme qui sont nécessaires. Mais la nature des problèmes planétaires qui exigent un effort international pourrait justifier une initiative spéciale de leur part. D'un autre côté, l'OCDE, dont les structures présentes sont mal adaptées à la gestion des politiques de la recherche, pourrait servir de base à la mise en place d'un centre de coordination répartissant les fonds fournis par les pays les plus riches pour le bénéfice de l'humanité tout entière. Invariablement qualifiée d'utopique voici quelques années à peine, cette idée est aujourd'hui présente à l'esprit de tous ceux qui mesurent la possible contribution de projets scientifiques mondiaux à l'avenir de la planète.

Les options

Quelle pourrait être la situation de la mégascience demain ?
A quelles innovations assistera-t-on sur le plan de la prise

de décision, de l'organisation, du financement et de l'administration ? Il n'est pas facile de répondre à ces questions, mais les trois scénarios différents ébauchés ci-après aideront peut-être à y voir plus clair.

- **Rien ne change.** Il se peut que l'avenir ressemble plus ou moins au passé récent : forte compétition entre les communautés scientifiques nationales et en leur sein, politisation accrue du processus de financement et décisions erratiques au niveau national. Étant donné les contraintes que nous avons identifiées, ce scénario n'est pas de bonne augure pour la recherche scientifique internationale.
- **Renforcement de la coopération au cas par cas.** La coopération en matière de recherche lourde conserverait son caractère informel, mais avec des pressions gouvernementales accrues, de meilleures possibilités d'échange d'informations et une plus grande facilité pour débattre et négocier. L'une des conséquences de cette évolution pourrait être la mise en place d'un budget de la mégas-

Le Forum mégascience de l'OCDE

Le Forum mégascience de l'OCDE a été créé par le Conseil de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) le 1^{er} juin 1992 pour une période de trois ans. Son élaboration et sa constitution furent les principaux résultats de la réunion ministérielle sur la science organisée par l'OCDE en mars 1992. Le Forum est une activité du Comité des politiques des sciences et de la technologie de l'Organisation.

Il s'agit de fournir un mécanisme pour l'élaboration et l'échange d'informations et d'études sur les très grands projets scientifiques. Un certain nombre de réunions d'experts ont été convoquées dans le cadre de ce mécanisme en vue de faire le point de la recherche et de la coopération internationale dans différents domaines de la science lourde, parmi lesquels les forages profonds, les changements de l'environnement planétaires, la physique des particules et les sources de rayonnement synchrotron et à faisceaux de neutrons. Plusieurs rapports ont été publiés.

Le Forum n'a jamais été conçu comme un organe de décision. Cependant, la réunion ministérielle sur la science de septembre 1995 de l'OCDE a approuvé une proposition selon laquelle le Forum serait prolongé de trois ans et son mandat révisé. Le Forum, constitué de responsables gouvernementaux, continuera à s'occuper des questions de politique générale. En outre, il a maintenant pleins pouvoirs pour créer des groupes de travail réunissant des responsables gouvernementaux et des scientifiques non gouvernementaux dans des domaines particuliers de la science, ce qui permettrait à tout le moins de coordonner plus étroitement les actions des organismes de financement nationaux dans les domaines considérés. Il est possible que cette deuxième étape dans les efforts de l'OCDE en faveur de la recherche lourde débouche sur un accord international s'inscrivant dans le cadre d'une coopération renforcée et d'un caractère plus permanent sur la base des principes évoqués dans la section intitulée « L'avenir ».

science réparti préalablement de façon équitable entre les différents pays. Parmi les obstacles possibles, citons la difficulté de définir le rôle des petits pays et l'absence de discipline budgétaire crédible au niveau national.

- *Signature d'un traité ou autre accord durable.* Les très grands projets, ou du moins ceux qui utilisent des équipements centralisés, seraient financés aux termes d'un accord conclu par les pays les plus développés sur le plan économique. En échange de la stabilité financière, les membres de la communauté scientifique intéressés devraient accepter un rationnement *de facto* des ressources allouées. Parvenir à un tel accord-cadre ou « global » ne serait pas chose facile. Il devrait garantir un partage équitable des bénéfices des projets, qu'il s'agisse des retombées scientifiques ou des bénéfices économiques directs. On pourrait y inclure le principe d'un « panier » de projets, dont certains seraient des projets nationaux pour lesquels les pays les finançant recevraient des « crédits », tandis que les plus vastes auraient un caractère réellement international et seraient financés et gérés conjointement.

La tâche des scientifiques et des gouvernements

La tâche des gouvernements et des scientifiques est de mettre au point un cadre international souple et crédible pour financer la mégascience à l'avenir. Ce cadre devra tenir compte des contraintes budgétaires auxquelles tous les pays sont aujourd'hui confrontés, tout en étant parfaitement adapté à la fois aux véritables problèmes de la société planétaire et aux défis les plus prometteurs que la science est appelée à relever. L'excellence en matière scientifique doit être préservée. Le principe de l'égalité entre les nations doit s'appliquer pour les dépenses comme pour les bénéfices. La tâche est difficile, mais l'enjeu est à la mesure des efforts requis.

J. Thomas Ratchford est directeur du Centre pour les politiques de la science, du commerce et de la technologie et professeur de politique internationale de la science et de la technologie à la George Mason University. Spécialiste de la physique de la matière condensée, il a enseigné à l'université et travaillé dans les équipes de recherche de divers laboratoires publics et privés. Il a été également responsable de la gestion d'un programme de recherche fondamentale dans le domaine de la science des états solides et a fait partie du personnel technique du Congrès des États-Unis.

Avant de rejoindre la George Mason University en 1993, il a exercé les fonctions de directeur associé pour la politique et les affaires internationales de l'Office des politiques de la science et de la technologie de la Maison Blanche. A ce titre, il a proposé diverses initiatives visant à renforcer la coopération internationale dans le domaine de la science et de la technologie, dont l'une a abouti à la création du Forum mégascience de l'OCDE.

Umberto Colombo, spécialiste de la chimie physique de formation, a travaillé plusieurs années comme chercheur à la société italienne Montedison, avant de devenir en 1971 son directeur général de la recherche et des stratégies. De 1979 à 1993, il a successivement exercé en Italie les fonctions de président du Commissariat à l'énergie atomique, de la Société nationale des hydrocarbures (ENI) et de l'Agence nationale pour les nouvelles technologies, l'énergie et l'environnement (ENEA). Il a été Ministre des universités et de la recherche scientifique et technique du Gouvernement italien de 1993 à 1994. Parmi les nombreux autres postes importants qu'il a occupé au cours de sa prestigieuse carrière scientifique figurent ceux de président de la Fondation européenne de la science (1991-1993), membre du Conseil de l'Université des Nations Unies et membre du Bureau exécutif du Club de Rome.

BIBLIOGRAPHIE

- Blanpied, W., Bond, J. S. et Irvine, J. (dir. publ.). 1992. *Megascience projects : an emerging issue for the 21st century*, dans *Equipping science for the 21st century*, Londres, Elgar Press.
- OCDE. 1993. *Forum mégascience de l'OCDE : la mégascience et son contexte*, Paris, Organisation de coopération et de développement économiques.
- . 1995. *What is the OECD Megascience Forum ?*, Paris, Organisation de coopération et de développement économiques.
- President's Council of Advisors on Science and Technology. 1992. *Megaprojects in the sciences*, Washington, D.C., US Government Printing Office.
- US Congress, Office of Technology Assessment. 1995. *International partnerships in large science projects*, Washington, D.C., US Government Printing Office.

Les sciences de la Terre et l'environnement : étude des impacts humains sur les processus naturels

ANTONY R. BERGER

La connaissance des processus géologiques qui affectent la surface terrestre à court et moyen terme est importante à plusieurs titres. Elle permet d'évaluer les possibilités et les limites de l'aménagement du territoire et constitue un des éléments essentiels de l'élaboration des décisions concernant l'environnement. Elle contribue ainsi à envisager une approche à long terme de l'avenir et à identifier les conditions favorables pour la protection et la restauration de l'environnement. Les sciences de la Terre (ou plus traditionnellement la géologie — c'est-à-dire l'étude de la Terre et de ses matériaux) permettent de comprendre les données physiques, les causes et les effets des processus naturels et des activités humaines. Elles favorisent ainsi la prise de conscience en matière d'environnement et améliorent les capacités de gestion.

Les problèmes et les défis posés par l'environnement sont très vastes. La pression démographique et une mauvaise planification ont transformé les problèmes mineurs de petits groupes en catastrophes potentielles ou réelles pour de nombreuses populations. Bien que des processus naturels tels que l'érosion fluviale et côtière, les glissements de terrain, les éruptions volcaniques et les séismes ne puissent être supprimés, les sciences de la Terre contribuent à améliorer la planification, le développement et la gestion des communautés humaines et à avertir des catastrophes naturelles imminentes.

L'environnement est un tissu complexe d'interactions géologiques et biologiques qui conditionne les relations entre la vie et la planète Terre. Il y a différentes façons d'envisager le domaine relativement nouveau des sciences de la Terre et de l'environnement. En Amérique du Nord et en Europe où le nettoyage des sites industriels et urbains emploie un nombre croissant de géologues, on accorde une grande importance aux recherches des pollutions ponctuelles et aux sites de décharges des ordures, en utilisant des techniques comme l'hydrogéologie et la géophysique pour connaître les conditions de subsurface.

Une approche plus large considère ce nouveau domaine comme l'étude des aspects de l'environnement physique affectant l'activité humaine et les processus terrestres (ou influencés par eux). Elle permet entre autre de :

- découvrir des aquifères et améliorer la gestion des ressources hydrologiques, pour les besoins domestiques, industriels et agricoles ;
- déterminer les concentrations naturelles des éléments chimiques toxiques dans le sol, l'eau et les sédiments pour établir des normes de contrôle et de prévention de la pollution ;
- faciliter l'élimination des polluants organiques dans les aquifères ;
- identifier les sols stables pour les travaux de construction ou le stockage des déchets pour éviter les infiltrations, les affaissements et l'enfoncement des sols ;
- étudier les volcans et la sismicité pour comprendre les risques et avertir les populations des éruptions et des séismes imminents ;
- conseiller le législateur en matière d'urbanisme pour éviter le développement de constructions dans des zones instables ou présentant des risques ;
- minimiser les nuisances causées à l'environnement par la prospection et l'extraction des minerais et des combustibles fossiles ;
- cartographier les régions littorales (sur le continent et en mer) et proposer une réglementation pour le choix des sites de déchets, la pose d'oléoducs et de câbles, les installations pétrolières et les usines de traitement de gaz ;
- comprendre les données des changements climatiques et environnementaux, surtout ceux survenus au cours des siècles derniers.

Les géologues sont concernés par de nombreux et vastes problèmes. Les agriculteurs et la population rurale de nombreuses régions d'Asie, d'Europe et d'Amérique du Nord doivent lutter contre la pollution des ressources hydrologiques, par les engrais et divers produits ajoutés au sol, et contre la pollution de l'air par des industries chimiques (traitement du charbon et des minerais, raffinage du pétrole). L'importance de la contamination du sol et de l'eau dans l'ex-URSS, provenant de sites de déchets toxiques, est connue depuis très peu de temps. En fait, des déchets nuisibles accumulés dans les sols de sites considérés comme stables sous certaines conditions peuvent

brusquement être libérés en raison de l'abaissement de la nappe phréatique, de l'accélération de l'érosion ou de la fonte des sols gelés, constituant ainsi des sortes de « bombes chimiques à retardement ».

De nombreuses populations littorales doivent lutter contre les menaces d'inondations dues à l'élévation du niveau des mers ou à l'érosion des côtes, qu'il s'agisse des États insulaires du Pacifique ou du sud-est des États-Unis d'Amérique. Les citoyens du monde entier sont préoccupés par le stockage des déchets et par la qualité de l'eau et de l'air. Dans de nombreuses mégapoles surpeuplées, surtout dans les pays en développement, les habitants doivent affronter des problèmes comme le rationnement de l'eau, l'instabilité des sols, ou même faire face à des destructions causées par de forts séismes, destructions dues en partie à une absence de réglementation de la construction et à des logements inadaptés.

Les problèmes de l'environnement sont souvent décrits comme s'il s'agissait de cas isolés, pouvant être résolus rapidement, grâce, par exemple, à des techniques normalisées. Or, les sciences de la Terre considèrent de plus en plus la planète comme un système intégré où tous les événements interagissent, parfois comme un effet d'onde affectant l'ensemble du système. Ainsi, les émissions volcaniques dans la stratosphère peuvent avoir un impact sur le climat planétaire, la chimie des eaux de surface et même sur la diversité animale et végétale.

PROBLÈMES GÉOLOGIQUES DES VILLES

Avant 1900, il n'y avait aucune ville de cinq millions d'habitants. En 1950, on en comptait six, et les Nations Unies prévoient qu'il y en aura 60 vers l'an 2000, l'expansion la plus rapide se situant dans les pays en développement. Environ la moitié de la population mondiale, estimée alors à 7 milliards d'individus, vivra dans les zones urbaines. L'impact considérable des activités humaines dans ces villes modifie l'environnement physique, rompant le plus souvent l'équilibre existant avec la nature.

Les autorités municipales reconnaissent progressivement l'importance d'appliquer les connaissances géolo-

giques aux problèmes urbains tels que le stockage des déchets et la construction sur des pentes instables (ESCAP, 1988 ; Nuhfer *et al.*, 1993). Des villes comme Caracas, qui se sont développées très vite sur des pentes instables, sont victimes de glissements de terrains et d'autres mouvements du sol. D'autres, comme Hong Kong, ont fortement réduit les risques géologiques considérés autrefois coûteux et dangereux, en élaborant une réglementation judicieuse et en recourant à des techniques appropriées permettant de construire sur des pentes abruptes et fortement altérées. Le stockage sans nuisances des déchets urbains et industriels revêt une grande importance dans le monde, en raison de la pénurie de terrains libres où les ordures ne risquent pas de polluer le sol ou les réserves hydrologiques. Djakarta, Mexico et São Paulo sont trois des mégapoles confrontées au problème de l'approvisionnement en eau potable en raison de la pollution par les déchets industriels et domestiques.

De nombreuses villes se sont développées si rapidement que le sable, les graviers et autres matériaux de construction doivent être transportés sur de grandes distances, car les ressources locales ont été recouvertes par les constructions et sont donc inexploitable. Un pompage important de l'eau souterraine peut provoquer un affaissement du sol, d'où l'inondation de cités littorales comme Shanghai ou Bangkok (fig. 1).

A l'échelle locale, il convient de prendre des mesures pour atténuer ces problèmes. Le pompage de l'eau souterraine doit être réglementé, les déchets doivent être stockés dans des sites étanches afin d'empêcher les fuites ; les caractéristiques de subsurface peuvent être cartographiées en utilisant des techniques géophysiques modernes. Cependant, il faut d'abord identifier les dangers potentiels, avant d'élaborer un inventaire de toutes les données géologiques, de façon à repérer les zones où l'information fait défaut. A ce stade, il peut être nécessaire de demander une expertise appropriée. Toutes ces opérations nécessitent une coopération étroite entre les responsables municipaux, les scientifiques et les ingénieurs chargés d'évaluer l'importance des problèmes, d'identifier les causes et de trouver des solutions. Il n'est pas facile, par exemple, de contrôler



Photo: Antony R. Berger

FIGURE 1 AFFAISSEMENT ET INONDATIONS

Dans Bangkok, la surface du sol s'est affaissée de 74 cm (valeur maximale) entre 1978 et 1987, en raison d'un pompage rapide et incontrôlé des eaux souterraines. En conséquence, les faubourgs situés sur la côte du golfe de Thaïlande sont souvent inondés — pendant 22 jours récemment — et Bangkok elle-même a été inondée pendant presque 4 mois consécutifs en 1983. Des mesures ont été prises pour lutter contre les inondations, mais la région continue à s'affaisser sur plus de 4 000 km².

une situation où les particuliers peuvent forer des puits n'importe où et pomper à leur gré en ignorant les besoins des résidents voisins.

GÉOCHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT ET SANTÉ

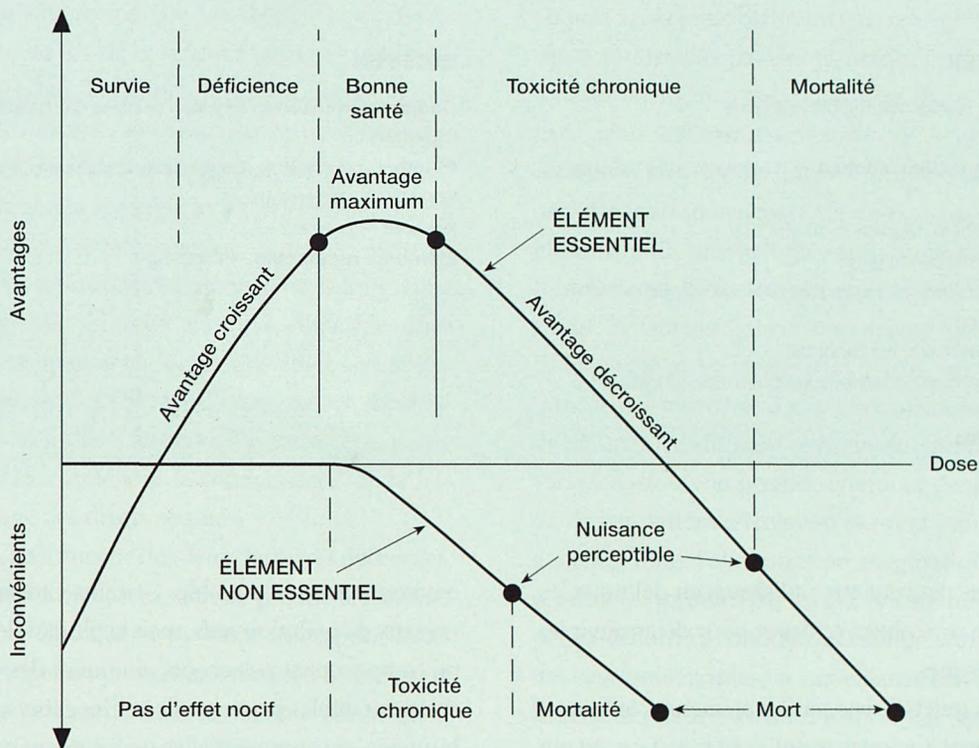
A mesure que la pollution de l'environnement s'étend, il est de plus en plus important de détecter et de comprendre les variations, notamment les excès et les déficiences, de la chimie des roches, des sols et des eaux susceptibles d'affecter la santé humaine (Låg, 1990 ; Nash et McCall, 1994). La géochimie aide les responsables de la santé et de l'environnement à :

- évaluer les risques de l'exposition à un milieu chimique déterminé ;
- déterminer l'ampleur des réponses ;
- élaborer des programmes éducatifs pour la santé ;

- définir des régions où des études ultérieures sur l'environnement seront nécessaires ;
- prévoir les effets éventuels sur la santé humaine d'éléments et de composés chimiques particuliers dans des régions non encore étudiées.

De nombreux éléments et composés chimiques, essentiels à la santé humaine, sont toxiques au-dessus d'un certain seuil (fig. 2). Comme Paracelse l'indique : « Toutes les substances sont toxiques ; il n'y en a aucune qui ne soit pas toxique. Mais le bon dosage différencie une substance toxique d'un remède. » Ainsi, on sait que l'absence de fluor dans l'eau de boisson favorise la carie dentaire, mais, à l'inverse, des concentrations supérieures à 1,5 mg/l peuvent provoquer une fluorose dentaire. D'autres exemples de maladies ou de troubles chroniques, provoqués par la déficience ou l'excès de certains éléments, sont illustrés sur la figure 3.

FIGURE 2
LES SUBSTANCES CHIMIQUES ET LA SANTÉ



Représentation schématique des avantages (faible morbidité, absence de maladies et de troubles) et des inconvénients (maladies et troubles) pour la santé humaine des substances chimiques ingérées, en dose par unité de temps (normalement 24 heures).

Source : Boyle, 1991.

Des études géochimiques systématiques et soigneusement contrôlées de l'eau souterraine, des eaux et des sédiments fluviaux et lacustres, des sols et du substratum rocheux, permettent d'identifier les régions caractérisées par des teneurs toxiques (ou des déficiences) de certains éléments chimiques importants (Darnley *et al.*, 1995). Par exemple, des arguments médicaux suggèrent que les eaux calcaires peuvent offrir une certaine protection vis-à-vis des maladies cardiaques et que les buveurs d'eaux moins calcaires auraient un risque légèrement plus élevé de maladie cardio-vasculaire. Des cartes de répartition de la teneur

en calcaire des eaux de surface et des eaux souterraines peuvent donc être utilisées par les autorités médicales pour des études approfondies.

Bien qu'elles aient peu d'effet immédiat sur la qualité des ressources en eau potable, les pluies acides, dues aux émissions de substances toxiques par les transports et les industries, peuvent éventuellement modifier la qualité des eaux souterraines en augmentant leur acidité ; ceci peut entraîner à son tour une dissolution et une mobilité accrues de métaux toxiques tels que le plomb, le cadmium, l'arsenic, le cuivre et l'aluminium. Des cartes de courbes de pH des

FIGURE 3
QUELQUES EXEMPLES DE MALADIES ET DE TROUBLES CHRONIQUES PROVOQUÉS PAR LA DÉFICIENCE
OU L'EXCÈS DE CERTAINS ÉLÉMENTS

DÉFICIENCE EN

- Iode** → goitre, crétinisme, hypothyroïdisme
- Fer** → anémie
- Calcium, magnésium, sodium** → maladies cardio-vasculaires, hypocalcémie
- Chrome** → diabète, régulation du glucose
- Cobalt** → anémie pernicieuse
- Zinc** → troubles enzymatiques, périkératose, affaiblissement de la cicatrisation
- Fluor** → carie dentaire, ostéoporose
- Sélénium** → cardiomyopathie, prévention des cancers

EXCÈS EN

- Cadmium** → maladies rénales, maladies cardiaques, hypertension
- Plomb** → neuropathie, troubles psychologiques, hypertension
- Mercure** → neuropathie
- Arsenic** → cancers
- Éléments radioactifs** → cancers

Source : Boyle, 1991.

eaux souterraines peuvent être utilisées pour délimiter les régions sensibles aux pluies acides et pour déterminer les populations à risques.

L'analyse des trajets suivis par les éléments réellement ou potentiellement toxiques avant leur ingestion est un autre aspect important de la géochimie de l'environnement. Par exemple, lorsque le mercure passe dans la chaîne alimentaire, il peut former des composés organiques méthylés fortement toxiques qui deviennent plus concentrés et présentent un danger pour la santé humaine. La connaissance du cycle de ces éléments, qui proviennent du substratum et des sols, est particulièrement importante pour la planification et la gestion de l'environnement.

Les techniques d'analyse chimique très fines ont atteint un tel niveau de perfectionnement qu'elles permettent désormais de détecter des niveaux de contamination de l'ordre de parties pour mille milliards dans des échantillons d'eau, d'air et de sol. Cependant, le coût des traitements s'élève presque exponentiellement, au fur et à mesure que les niveaux de détection augmentent de parties pour cent à parties pour million ; de plus on ne connaît pas le seuil de contamination à ne pas dépasser pour maintenir un

environnement acceptable. Certains citoyens exigent des niveaux de pollution nuls, mais la plupart des scientifiques ne comprennent pas encore comment des teneurs excessivement faibles peuvent affecter les écosystèmes ou la vie humaine, ou comment elles peuvent être comparées avec les flux naturels de la planète.

FAIRE FACE AUX SÉISMES
ET AUX ÉRUPTIONS VOLCANIQUES

On dispose de nombreuses données pour la prévention et l'atténuation des effets de catastrophes géologiques survenant brutalement, telles que les glissements de terrain, les séismes et les éruptions volcaniques (McCall *et al.*, 1992 ; Nuhfer *et al.*, 1993). En cas de catastrophe naturelle, présente ou imminente, les informations importantes doivent être non seulement accessibles, mais encore transmises rapidement, avec fiabilité, pour avoir un effet immédiat dans la prévision des risques (événements ou processus potentiellement destructeurs) ; on doit évaluer l'importance des pertes potentielles de vies humaines, des dommages matériels, y compris les dégâts causés aux moyens de production dans les zones à risques.

Les géophysiciens et les sismologues étudient les mouvements du sol et les structures terrestres profondes, et collectent les données sur les séismes survenus antérieurement et l'activité néotectonique. Les chercheurs des États-Unis, du Japon, de Russie et d'autres pays ont fait beaucoup de progrès dans la définition des risques sismiques importants. Des lacunes sismiques (apparemment des régions stables situées le long de lignes de failles connues) ont été identifiées, par exemple le littoral très peuplé du sud de la Colombie-Britannique, où la plaque Juan-de-Fuca plonge sous la plaque nord-américaine, le long d'une zone importante peu profonde de subduction, identifiée par des profils sismiques profonds. Des études détaillées de la sismicité passée des sédiments quaternaires, dans lesquels les traces des failles anciennes peuvent être cartographiées et datées, améliore la connaissance de la fréquence historique des divers séismes.

Néanmoins, l'optimisme des deux dernières décennies, qui voyait la science bientôt capable de prédire les séismes avec précision et efficacité, a été déçu. Au Japon, fortement peuplé, malgré un programme national de prévision des séismes, actuellement dans sa sixième phase quinquennale, on n'a pu prévoir l'emplacement, la magnitude et la date d'aucun séisme. Le séisme de Kobe, le 17 janvier 1995, qui fit plus de 5 000 morts, plus de 26 000 blessés et causa des dommages considérables (les coûts de reconstruction sont estimés à 100 milliards de dollars des États-Unis), fournit un exemple significatif de ce qui reste à faire.

La prévision des éruptions volcaniques a rencontré un peu plus de succès. Ce progrès est dû en partie aux recherches faites aux États-Unis, qui ont plus de volcans actifs ou potentiellement actifs que les autres nations, Japon et Indonésie exceptés. Des catastrophes potentielles ont pu être évitées aux Philippines et en Indonésie, où l'annonce d'éruptions importantes a permis aux populations locales de quitter les lieux. Cependant, cela s'avère très difficile lorsque d'importantes populations sont concernées, comme dans le cas des littoraux très peuplés affectés par des séismes et les raz de marée (tsunamis) consécutifs.

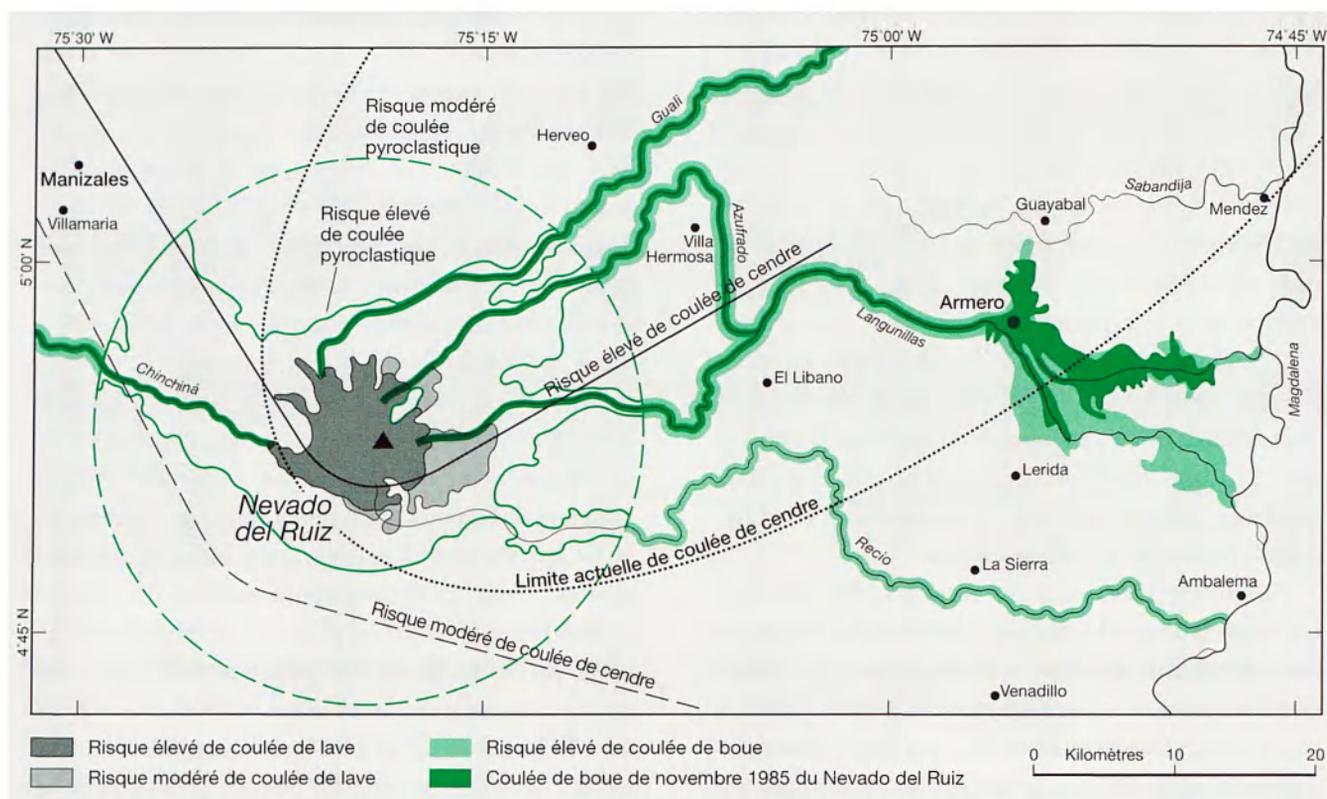
Pour réduire l'importance des dégâts causés par le volcanisme, il faut d'abord « ausculter » le volcan (Wright et

Pierson, 1992). Pour cela, on étudie les séismes précurseurs qui constituent les avertissements les plus précoces du réveil de l'activité volcanique. Les mouvements du sol provoqués par la pression du magma se déplaçant sous le volcan sont mesurés par des techniques précises qui détectent les changements de distances entre des marqueurs fixes, les variations d'inclinaison du sol et les variations d'altitude. Des déplacements locaux du sol sur les flancs de volcans abrupts peuvent être des signes précurseurs de glissements de terrain importants, d'avalanches ou de coulées de boue. Des changements de la conductivité électrique, de l'intensité du champ magnétique et de la valeur de la gravité au voisinage d'un volcan peuvent aussi indiquer des mouvements du magma, même lorsqu'il n'y a pas de séismes ou de mouvements du sol mesurables. Des variations de la composition chimique des gaz volcaniques ou de leur vitesse d'émission peuvent indiquer des changements dans l'alimentation magmatique ou dans les conduits empruntés par les gaz volcaniques pour s'échapper au-dehors. Le contrôle de la température et des niveaux des eaux souterraines, la surveillance des vitesses d'écoulement des fleuves et du transport des sédiments par les rivières, ainsi que des niveaux des lacs et des accumulations de neige et de glace, ou de leur fonte, peuvent aider à évaluer les risques volcaniques.

La connaissance géologique de l'histoire de l'activité volcanique locale peut aussi conduire à une meilleure compréhension des particularités de chaque volcan. À partir des recherches et des surveillances effectuées, on peut dessiner des cartes montrant la répartition spatiale des risques volcaniques. Cependant, ces recherches sont vaines si les autorités locales ne sont pas suffisamment convaincues de l'imminence du danger pour avertir les populations, ou si le public ne comprend pas ou ne prend pas au sérieux les recommandations de quitter les lieux dangereux.

Lors d'une des plus grandes éruptions de ce siècle, celle du Pinatubo aux Philippines, en 1991, un désastre potentiel fut évité, car l'éruption volcanique imminente fut en quelque sorte contrôlée grâce à une étroite coopération entre les vulcanologues locaux et étrangers, les organismes de protection civile et les autorités locales. Au contraire, on

FIGURE 4
ZONAGE DES RISQUES



Carte indiquant les risques volcaniques prévisibles du Nevado del Ruiz, Colombie, disponible un mois avant l'éruption du 13 novembre 1985 et la coulée de boue qui recouvrit la ville d'Armero.

Source : Reproduit avec l'autorisation de Wright et Pierson (1992).

peut citer l'exemple tragique de la mort de 23 000 personnes dans la ville d'Armero en Colombie, recouverte par des coulées de boue d'origine volcanique en 1985, malgré la diffusion, avant l'éruption, d'une carte montrant les risques potentiels (fig. 4). Le traumatisme subi par la Colombie provoqua de nombreuses réactions dont la publication de plusieurs brochures excellentes et largement diffusées, de vidéocassettes et d'autres documents

pédagogiques¹ expliquant la nature des catastrophes naturelles et la façon de s'en protéger.

L'enseignement le plus significatif de ces dernières années est l'importance de l'intégration des informations scientifiques dans la gestion officielle des catastrophes naturelles, de l'établissement de moyens de communication efficaces entre les scientifiques et autres experts et les responsables locaux, les planificateurs et les autorités res-

1. Des bandes dessinées et un bon manuel intitulé *Cómo vivir aquí* (Comment vivre ici) sont diffusés dans les écoles et lycées. Ils expliquent les séismes, les éruptions volcaniques, les crues, les glissements de terrain, les ouragans, les raz de marée, les incendies naturels et même le surpeuplement.

FIGURE 5
INFORMATION EN CAS DE RISQUE VOLCANIQUE

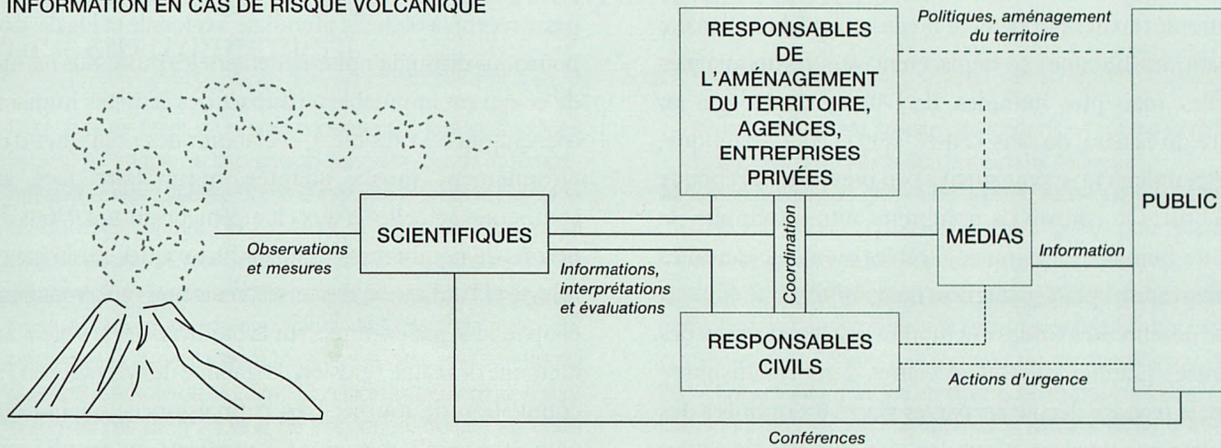


Illustration schématisée de la circulation des informations relatives au mont Saint Helens, État de Washington.

Source : Reproduit avec l'autorisation de Wright et Pierson (1992).

responsables de la sécurité publique (UNDRO, 1985 ; fig. 5). Il faut aussi absolument comprendre la différence entre la prévision générale d'un risque, volcanique ou autre, relativement imprécise, et la prévision d'une activité imminente comportant des précisions, relatives, de date, de localisation et d'ampleur. De toute façon, les risques sismiques et volcaniques subsisteront. Ce que les hommes peuvent faire, c'est comprendre et diminuer autant que possible l'importance des dégâts et, en cas de nécessité, quitter la zone dangereuse. C'est l'un des principaux messages de la Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles (1990-2000) des Nations Unies.

NATURE ET SOCIÉTÉ — COMPRÉHENSION DU PASSÉ

Le pouvoir de modification de la nature par l'espèce humaine rivalise actuellement avec des processus géologiques tels que le volcanisme, les séismes et l'érosion. Le transfert de masse dû à l'extraction des minéraux, à l'exploitation de l'énergie et des ressources hydrologiques, à

l'extraction des matériaux de construction et à l'érosion anthropique représente un total annuel d'environ 20 tonnes par personne suivant certaines estimations. Ce chiffre est comparable au volume des sédiments transportés par les fleuves et rivières du globe, et à la destruction et création des fonds océaniques par les processus de la tectonique des plaques. L'une des grandes tendances actuelles est d'imputer tous les changements environnementaux à l'homme. Cependant, la nature elle-même n'est pas immuable, et les causes, les fréquences et l'importance des principales modifications de l'environnement dans le passé sont mal connues.

Par exemple, des recherches récentes sur le Sahara ont montré très nettement qu'à l'emplacement actuel du désert, existaient des fleuves, une faune et une flore de savane et un peuplement humain et que ces conditions se sont répétées plusieurs fois (Petit-Maire, 1993). Dans ce qui est maintenant le cœur hyperaride du Sahara occidental, au nord du Mali, l'étude des sédiments fossiles montre qu'il y a entre 8 000 et 4 000 ans plusieurs cycles d'aridité et d'humidité ont alterné. Il y a environ 4 500 ans, des inon-

dations sporadiques marquèrent le début de l'aridité, et les lacs commencèrent à reculer il y a environ 4 000 ans. Confrontés au développement du désert lors du millénaire suivant, les hommes se déplacèrent vers les montagnes hostiles, mais plus humides, de l'Air ou du Hoggar au centre du Sahara, ou vers l'ouest, vers la côte Atlantique, où le peuplement se poursuivit à peu près jusqu'à l'époque du Christ. On connaît de nombreux autres exemples de sociétés humaines fortement affectées ou même détruites par des catastrophes naturelles (Issar, 1990).

De nombreuses études ont montré que lors du recul des dernières grandes calottes glaciaires dans l'hémisphère Nord, le paysage découvert par les glaces fut soumis à des changements intenses et rapides : les chenaux fluviaux d'eaux de fonte se déplaçaient, les blocs de glace disparaissaient et les sédiments glaciaires se déposaient dans les lacs, les chenaux fluviaux et sur les plaines dénudées situées à proximité des glaciers. Rien ne montre que l'impact humain ou d'autres formes de vie aient influencé ces événements de façon significative.

Malgré l'incertitude de nos connaissances des processus naturels, il est clair qu'ils interagissent à de nombreuses échelles spatiales et temporelles, et qu'ils influencent les activités humaines ou sont influencés par elles. Par exemple, une grande partie des recherches sur les changements climatiques planétaires est axée sur les échanges, tant actuels que dans un passé récent, de CO₂ et d'autres gaz à « effet de serre » entre l'atmosphère, les océans, les sols et la biosphère. La contribution massive des émissions volcaniques aux propriétés physiques et chimiques de l'atmosphère est nette, particulièrement après l'éjection d'immenses volumes de matériaux volcaniques par le Pinatubo (AGU, 1992). L'émission de 25 à 30 millions de tonnes de SO₂, qui formèrent un nuage persistant de gouttelettes d'acide sulfurique dans la stratosphère, a refroidi, au moins pour une courte durée, la surface de la planète d'environ 0,5 °C et facilité les réactions chimiques qui permettent aux CFC anthropogéniques de détruire l'ozone.

Si à l'heure actuelle nous avons des connaissances précises sur les modifications de l'environnement, dans un passé récent, à l'échelle mondiale, régionale et locale, nous pourrions distinguer plus nettement les processus naturels de ce qui est imputable à l'impact des activités humaines (bénéfiques ou nuisibles), et élaborer des politiques d'environnement mieux adaptées pour faire face aux contraintes actuelles et aux changements futurs. Nous disposons de nombreuses données historiques sur la météorologie et l'utilisation des terres, mais nous en avons beaucoup moins, par exemple, sur la biodiversité, la végétation, la chimie des eaux, l'érosion, la stabilité des versants ou l'accumulation de tourbe. Nos connaissances scientifiques vont être améliorées grâce aux efforts accomplis pour déchiffrer les archives des changements de l'environnement terrestre contenues dans les carottes de glace, les sédiments lacustres et océaniques, les cernes des arbres, les températures du sol et les isotopes de l'eau souterraine. Les gestionnaires et décideurs des 50 ou 100 prochaines années auront une meilleure connaissance des changements de l'environnement et de ses tendances, s'ils sont capables d'établir une série d'instantanés caractérisant l'environnement naturel à une époque donnée.

Il paraît de plus en plus évident, d'après les études du paléoenvironnement quaternaire, que des fluctuations climatiques de 2 °C et plus se sont produites à plusieurs reprises depuis 10 000 ans, quelquefois très rapidement². La question se pose donc de savoir si l'effet climatique résulte d'une compétition entre un refroidissement climatique naturel et un accroissement anthropogénique des gaz à « effet de serre », ou si un réchauffement naturel vient s'ajouter à un réchauffement d'origine humaine. Le réchauffement climatique dans les régions polaires et subpolaires va probablement provoquer une fonte généralisée du pergélisol (permafrost). Cela libérera probablement du méthane actuellement congelé dans la toundra et la taïga, provoquant une réaction accélérant un réchauffement ultérieur, indépendamment des vastes changements de l'environnement.

2. Par exemple, des carottes prélevées dans l'inlandsis du Groenland en 1992 indiquent des variations isotopiques suggérant des épisodes passés de très rapide réchauffement depuis 40 000 ans, parfois jusqu'à 7 °C en quelques décennies. Ce réchauffement est plus prononcé que celui actuellement prédit par les modèles de circulation globale.

Les indices géologiques des changements rapides de l'environnement

Pour évaluer l'état d'un environnement, il faut des indices fiables, à l'image de la pression sanguine ou de la température du corps utilisées comme indices de la santé humaine ou du PNB servant pour évaluer la santé de l'économie d'une nation. L'Union internationale des sciences géologiques (IUGS) élabore actuellement plusieurs indices géologiques des changements rapides de l'environnement pour permettre la surveillance à long terme des milieux naturels et rendre compte de leur état. Ces indices géologiques sont des mesures de grandeur, de fréquence, de vitesse et de tendance des processus et des phénomènes géologiques — sur des périodes de 100 ans ou moins, en surface ou près de la surface terrestre — soumis à des variations ou présentant un intérêt pour la compréhension des changements rapides de l'environnement. Ces indices géologiques mesurent à la fois les catastrophes et les évolutions plus progressives mais évidentes à l'échelle d'une vie humaine. Certains sont complexes et onéreux, mais d'autres sont relativement simples et d'utilisation peu coûteuse.

Des indices sismiques standards sont disponibles pour la détection et l'évaluation des séismes. Parmi d'autres exemples d'indices géologiques utiles, citons :

- les observations visuelles des profils des plages et des caractéristiques de la végétation, qui permettent une évaluation rapide de la stabilité actuelle des plages et des rivages ;
- les variations de croissance des coraux, qui peuvent fournir des informations détaillées sur les changements de

température et de salinité des océans et sur les caractéristiques des débits des principaux fleuves ;

- les émissions de gaz et de fluides, ainsi que les déformations des sols qui peuvent être utilisées pour avertir des dangers d'éruptions volcaniques imminentes.

Lorsque la surveillance à l'aide d'instruments est impossible, certains ensembles naturels très sensibles peuvent constituer des « stations automatiques de surveillance de l'environnement » dont les enregistrements peuvent être utilisés pour étudier les changements actuels et/ou à long terme. On peut citer les coraux, le remplissage des grottes, l'eau dans la zone non saturée et le profil des températures de subsurface.

Pour garantir un environnement sain, nous ne pouvons ignorer d'importants indices d'environnement et les données minimales nécessaires pour évaluer les variations de l'érosion, du niveau marin, de l'écoulement des fleuves, de la chimie des eaux et d'autres processus géologiques qui influencent les écosystèmes et le bien-être de l'humanité. Même s'il n'est pas possible de prévoir avec certitude les changements environnementaux, les données sur le passé géologique récent sont fondamentales pour établir les lignes directrices nécessaires à la mise au point de nouveaux modèles et concepts.

On trouvera d'amples détails sur les indices géologiques dans A. R. Berger et W. J. Iams (dir. publ.), *Geological indicators of rapid environmental change*, Rotterdam, Balkema, 1996.

ronnement dus à l'ameublissement du sol dégelé. De nombreuses recherches scientifiques sont actuellement menées dans les régions circumpolaires pour comprendre et surveiller l'environnement naturel en décelant les premiers signes de changement des régimes hydrologiques, en étudiant le flux thermique de la toundra, la fonte des glaciers et les effets sur les biotes.

Au Canada, les changements climatiques au cours des cent dernières années ont fortement affecté les activités

humaines, notamment dans les Prairies de l'Ouest où des sécheresses prolongées entre 1917 et 1938 ont provoqué des dommages importants aux productions agricoles et affecté le commerce. Certains modèles de circulation atmosphérique globale font état maintenant d'un réchauffement potentiel de 3 à 4 °C dans cette région, ce qui pourrait provoquer une extension de la zone aride. On peut estimer que si les tendances actuelles de réchauffement climatique et d'utilisation des sols persistent, environ 30 %

des terres arables pourraient n'être plus productives, sans même tenir compte de l'effet de serre. La Commission géologique du Canada effectue des recherches sur les lacs peu profonds (inférieurs parfois à 1 m) sans émissaires. Pendant les périodes de sécheresse, une eau dense hypersaline se forme au fond des lacs et protège les sédiments sous-jacents de l'action des organismes vivant sur le fond et du vent. Ces périodes de sécheresse laissent des documents stratigraphiques sous forme de minces couches distinctes de minéraux sulfatés ou carbonatés, séparées par des couches homogènes de boue déposées pendant les périodes humides. L'étude des carottes de sédiments de ces lacs montre que, pendant les derniers millénaires, se sont produites plusieurs périodes de sécheresse, durant chacune parfois un siècle. Ces preuves ne coïncident pas avec les modèles de circulation atmosphérique globale utilisés pour prévoir le climat de la Terre et elles indiquent que les récentes périodes sèches comme celles de 1920-1930 et des années 80 ne sont pas anormales³.

CONCLUSION

La distinction entre les processus naturels et les processus d'origine anthropique est souvent floue. Il n'est pas toujours possible de séparer les effets sur l'environnement provenant de nos activités de ceux causés par la dynamique naturelle de la Terre, qui se seraient produits même si l'espèce humaine n'avait pas existé. Les déserts ne résultent pas seulement des activités humaines, les changements climatiques rapides ne sont pas nouveaux et les processus naturels terrestres continueront d'affecter notre société. Modifier les politiques d'utilisation et d'aménagement des terres n'inversera pas nécessairement les processus naturels.

Les sciences de la Terre jouent un rôle essentiel dans l'identification des problèmes d'environnement, dans la compréhension de leur origine, dans la prévision des conséquences futures et dans l'élaboration des solutions,

mais elles ne peuvent, à elles seules, résoudre tous ces problèmes, ni lutter contre les effets des risques naturels. Pour que les prévisions soient efficaces et puissent atténuer et aider à gérer les effets des processus naturels sur les activités humaines, une coopération plus importante avec les médias, les planificateurs, les responsables politiques et le public est nécessaire. La compréhension de notre environnement et des processus qui le contrôlent ne constitue qu'un élément de la réponse, et la science seule ne peut pas apporter toutes les réponses.

REMERCIEMENTS

Cet article est partiellement inspiré de la brochure de l'Union internationale des sciences géologiques intitulée *Planning and managing the human environment* (Planification et gestion de l'environnement humain) citée ci-dessous. Je remercie de nombreux collègues pour leurs remarques, notamment D. R. Boyle, A. Cendrero, P. Dankers, D. C. Elliot, C. R. Tippett et J. S. Wonfor.

Antony Berger est expert-conseil en géologie et dans les sciences de l'environnement ; il a enseigné la géologie dans les universités du Canada et du Sri Lanka. Il est le fondateur et le secrétaire général de l'Association of Geoscientists for International Development et fut rédacteur en chef d'*Episodes*, la revue de l'Union internationale des sciences géologiques (IUGS).

Antony Berger continue à s'intéresser aux problèmes internationaux en qualité de président du Groupe de travail de l'IUGS sur les indices géologiques des changements rapides de l'environnement.

3. Cependant les importantes tempêtes de poussière et l'érosion du sol qui survinrent pendant les années 1920-1930 sont peut-être des phénomènes anormaux. La rapide transformation en terres agricoles, depuis 1870, de prairies naturelles qui s'étaient formées depuis 10 000 ou 11 000 ans dégrade l'écosystème adapté à la sécheresse, en détruisant le réseau des racines qui aurait évité l'érosion éolienne.

BIBLIOGRAPHIE

- Affronter les catastrophes naturelles*. 1994. UNESCO (Division des sciences de la Terre, UNESCO, 7, place de Fontenoy, 75700 Paris).
- AGU. 1992. *Volcanism and climate change*, Washington D.C., American Geophysical Union Special Report.
- Boyle, D. R. 1991. The Canadian geochemical environment and its relationship to the development of health status indicators, dans R. G. McColl (dir. publ.), *Environmental health status indicators*, Waterloo, Ontario, University of Waterloo Press.
- Coasts in crisis*. 1990. *United States Geological Survey Circular 1075*, 32 p. (Books and Open-File Reports Section, USGS, Federal Center, Box 25425, Denver, Co 80225, États-Unis d'Amérique.)
- Cómo vivir aquí*. 1991. Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, Colombie, 78 p. (Oficina Nacional, Calle 7a, n° 6-54, piso 3, Santafé de Bogotá, D.C., Colombie.)
- Darnley, A. G., Björklund, A., Bølviken, B., Gustavsson, N., Koval, P. V., Plant, J. A., Steinfeldt, A., Tauchid, M. et Xie, X. J. 1995. *A global geochemical database for environmental and resource management*, Earth Sciences, 19, Paris, UNESCO.
- ESCAP. 1988. *Urban geology in Asia and the Pacific*, vol. 1 et 2, Bangkok, UN Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.
- Global change — reducing uncertainties*. 1992. Conseil international des unions scientifiques, 40 p. (CIUS, 51, boulevard de Montmoyney, 75016 Paris.)
- Issar, A. S. 1990. *Water shall flow from the rock — hydrogeology and climate in the lands of the Bible*, Berlin, Springer Verlag.
- Låg, J. (dir. publ.). 1990. *Gebmedicin*, Boca Raton, Fl., CRC Press.
- McCall, G. J. H., Laming, D. J. C. et Scott, S. C. (dir. publ.). 1992. *Geohazards : natural and man-made*, Londres, Chapman and Hall.
- Nash, H. et McCall, G. J. H. (dir. publ.). 1994. *Groundwater quality*, Londres, Chapman and Hall.
- Nuhfer, E. B., Proctor, R. J. et Moser, P. H. (dir. publ.). 1993. *The citizen's guide to geologic hazards*, Arvada, Co., American Institute of Professional Geologists.
- Petit-Maire, N. 1993. *Le Sahara à l'Holocène*, carte au 1/5 000 000^e et notice, Marseille, CNRS, Laboratoire de géologie du Quaternaire.
- Planning and managing the human environment : the essential role of the geosciences*. 1992. International Union of Geological Sciences and the Canadian Society of Petroleum Geologists, 12 p. (COGEOENVIRONMENT, Geological Survey, P.O. Box 157, NL-2000 AD Haarlem, Pays-Bas.)
- UNDRO. 1985. *Volcanic emergency management*, New York, Office of the UN Disaster Relief Coordinator.
- Wright, T. L. et Pierson, T. C. 1992. *Living with volcanoes*, *United States Geological Survey Circular 1073*.

La dégradation des sols

HERMAN T. VERSTAPPEN

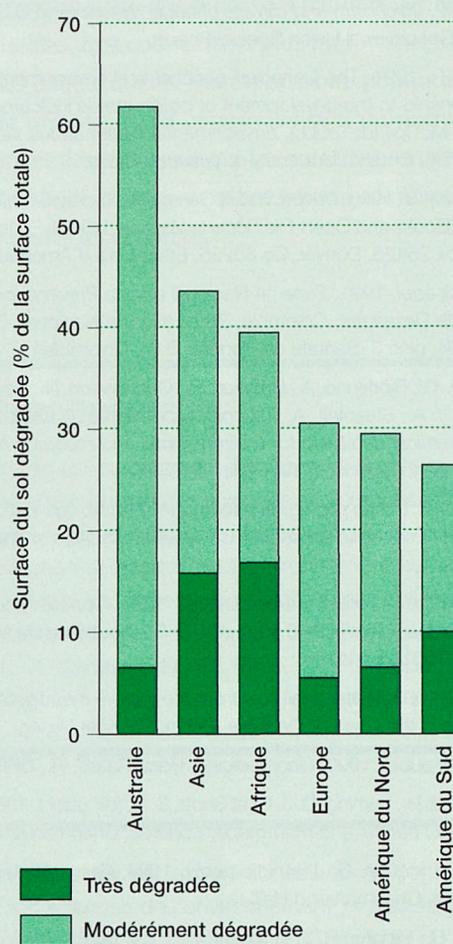
ORIGINE ET ÉVOLUTION

L'homme a, depuis son apparition sur la Terre, modifié l'environnement naturel pour survivre. Le premier signe évident de son action est la perturbation de la végétation naturelle, qui remonte à loin, même dans des régions reculées comme les montagnes de Papouasie-Nouvelle-Guinée : les déboisements remontent à 10 000 ans. La végétation buissonnante de type maquis, actuellement caractéristique de vastes régions de la zone méditerranéenne, date des déforestations de l'époque des civilisations grecque et romaine. D'autres déforestations ont eu lieu dans toute l'Europe et en Amérique du Nord depuis le Moyen Âge et, au cours des dernières décennies, elles ont été suivies par une régression encore plus brutale des forêts ombrophiles tropicales. La pratique du brûlis est en Afrique la cause principale de l'extension actuelle des savanes.

Ces changements de la végétation provoquent inévitablement des modifications des caractéristiques pédologiques, hydrologiques et des processus agissant à la surface de la Terre. Certaines sociétés maintiennent depuis de nombreuses générations un équilibre subtil avec leur environnement et sont donc parvenues à un mode de vie durable. On connaît aussi d'autres exemples, très typiques, de pratiques non viables dans le passé qui ont abouti au déclin ou même à l'extinction de civilisations.

La dégradation des sols touche aussi bien les sociétés pratiquant une économie de subsistance que les sociétés industrialisées, comme le montre la figure 1. Dans certaines régions, comme les zones méditerranéennes, cette dégradation est ancienne, alors que dans d'autres elle est plus récente. Ce phénomène est devenu un problème mondial au cours des dernières décennies en raison de divers facteurs : explosion démographique mondiale, accroissement rapide des besoins économiques par habitant, mécanisation des techniques agricoles et forestières, exploitation minière intensive et grands travaux, urbanisation, etc. En conséquence, non seulement la dégradation des sols s'est considérablement étendue et intensifiée, mais les données du problème ont changé : autrefois, l'agriculture était le principal facteur de dégradation, alors

FIGURE 1
DÉGRADATION DES SOLS EN CHIFFRES



Source : Dregne, 1989.

qu'actuellement l'industrialisation et l'urbanisation en sont les causes essentielles. On pourrait même estimer avec raison que parler de dégradation des sols est trop restrictif, car la pollution de la mer et de l'air est aussi une composante importante du problème. La qualité de l'environnement et la géodiversité sont la base de la biodiversité et essentielles au bien-être de l'humanité. Il est urgent de résoudre le problème qui se pose à l'échelle planétaire, à savoir instaurer une société viable fondée sur l'exploita-

tion des ressources diverses mais limitées de notre planète, bien qu'il soit évident que la tâche sera loin d'être facile. La prise de conscience progressive de ces problèmes devrait aboutir à un changement de nos attitudes et de nos valeurs, ce qui est essentiel pour atteindre ce but : le vrai problème ne vient pas de la nature, mais des abus de notre société.

LES DIVERS ASPECTS DE LA DÉGRADATION DES SOLS

L'érosion du sol

L'érosion accélérée du sol est le principal type de dégradation des terres, notamment dans les zones agricoles en pente. La déclivité entraîne des processus de forme et d'intensité variables, en fonction de la situation locale. La dégradation peut commencer par l'effet de l'impact des gouttes d'eau de pluie sur des sols dénudés ; ultérieurement, des rigoles et des ravines se forment (fig. 2) et l'altération régressive vers l'amont peut provoquer des processus de creusement alternant avec des glissements de terrain. Dans les zones montagneuses à lithosol peu épais, des pans de l'ensemble de la couverture pédologique peuvent être entraînés par glissement lors de fortes pluies, laissant seulement les roches dénudées.

Dans tous les cas, les conséquences sont une diminution de l'infiltration des précipitations et un accroissement du ruissellement, et donc une réduction de l'humidité du sol et de l'air, des fluctuations plus importantes du débit des cours d'eau et un accroissement marqué de leur charge en sédiments. Les catastrophes provoquées par les crues auront tendance à être plus fréquentes et plus importantes, ce qui démontre la relation directe entre les catastrophes naturelles et la dégradation de l'environnement. Une petite fraction des matériaux du sol entraînés par les crues pourra contribuer à la formation de plaines alluviales et de deltas plus en aval, mais la plus grande partie des sédiments est entraînée jusqu'à la mer ou déposée dans des lacs de stockage ou dans d'autres sites, devenant ainsi non exploitable. Dans la plupart des cas, la plus grande partie des matériaux provient de régions bien déterminées du bassin

hydrographique. La charge sédimentaire (en forte augmentation) des principaux fleuves mondiaux est indiquée à la figure 3.

On connaît bien de nombreuses méthodes de lutte contre l'érosion, y compris de prévention de celle-ci, dont les principales sont la formation de terrasses, la culture en bandes, le paillage et le reboisement de la partie supérieure des pentes. Ces méthodes sont, pour la plupart, relativement peu coûteuses, mais nécessitent une main-d'œuvre importante. Surtout, leur exécution exige une organisation et une coordination pour lesquelles l'existence d'une institution locale reconnue par la communauté agricole, comme les anciens du village ou une coopérative régionale, est indispensable. Les mesures prises individuellement par des cultivateurs ne peuvent aboutir à un plan cohérent de protection. Ces organismes de coordination ne peuvent fonctionner correctement, cependant, que lorsque les droits fonciers des exploitants agricoles sont clairement définis : les agriculteurs ne seront nullement incités à travailler dur pour la conservation du sol si le gouvernement risque de faire valoir un quelconque droit sur ces terres ou si un propriétaire foncier peut contraindre les cultivateurs à les abandonner. L'importance de ces organisations est nettement démontrée par

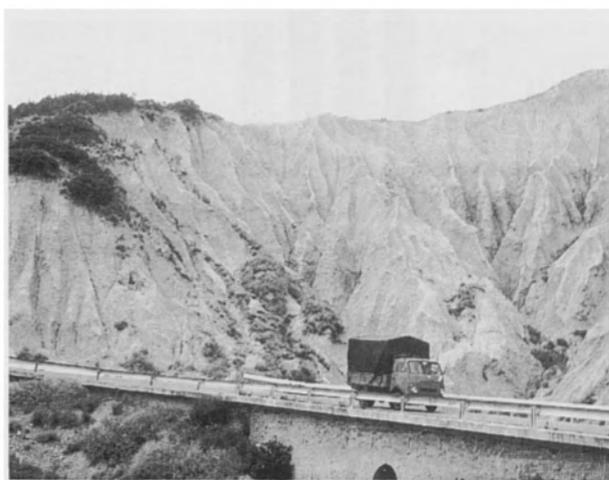
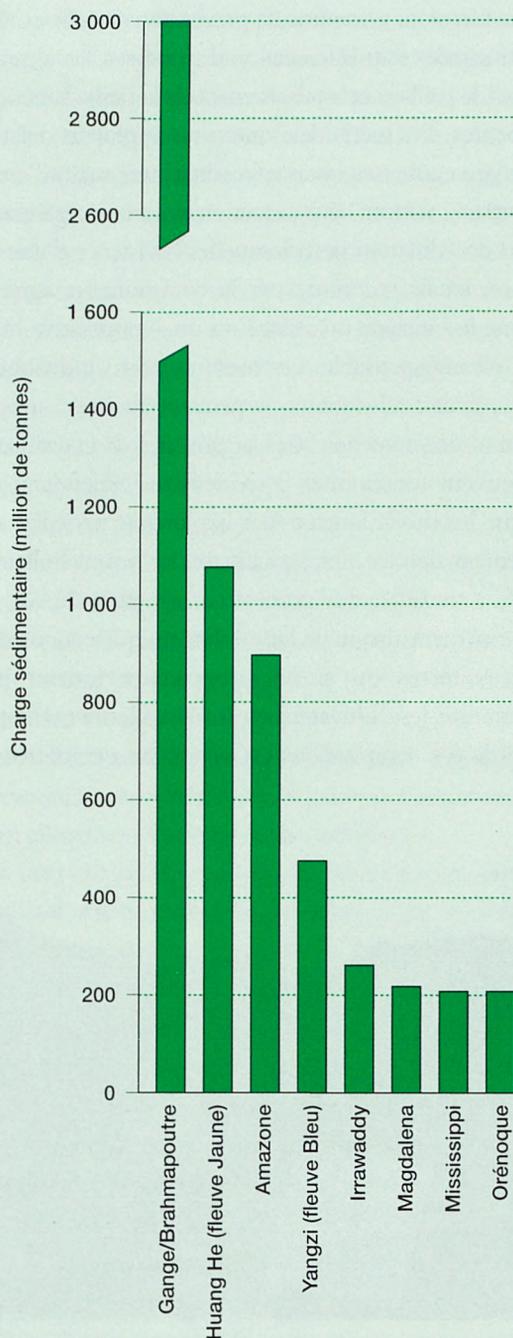


FIGURE 2
TRÈS FORTE ÉROSION DES SOLS DANS LES COLLINES
RAVINÉES DE CALABRE, ITALIE

FIGURE 3
PERTES EN SÉDIMENTS TRANSPORTÉS
DANS LA MER PAR LES PRINCIPAUX COURS D'EAU



Source : Walling, 1987 ; Postel, 1989.

la quasi-absence d'érosion accélérée dans de nombreuses parties montagneuses d'Asie, où des sociétés rurales anciennes ont édifié et entretenu des systèmes complexes de cultures en terrasses. Un autre exemple est celui de l'agriculture précolombienne dans les vallées alors fortement peuplées des Andes : la dégradation des sols y a commencé lorsque les cultivateurs autochtones ayant été décimés et leurs institutions ayant disparu, des fermiers d'origine espagnole, beaucoup moins nombreux, connaissant mal cet environnement particulier et le type d'organisation approprié, ont pris leur place. Non seulement l'érosion des sols provoque une diminution des ressources en sols et en eau, la détérioration de la végétation et du climat, mais elle a finalement un effet boomerang sur la société qui l'a déclenchée.

La désertification

La désertification est la deuxième grande forme de dégradation des sols ; elle est très répandue dans les régions arides, semi-arides et semi-humides du globe. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) estime qu'elle touche 3 100 millions d'hectares de prairies, 355 millions d'hectares de terres de culture sèche et 40 millions d'hectares de champs irrigués, et qu'annuellement 20 millions d'hectares sont détériorés et ont un taux de rentabilité économique nul. La vitesse de la dégradation peut varier, dans une certaine mesure, suivant les années, en fonction des variations de la pluviosité, mais le processus déclenche inévitablement un engrenage socio-économique avec tendance à la récession dans les sociétés concernées. Les facteurs contribuant à la désertification sont l'accroissement de la pression démographique associé à une utilisation non rationnelle des ressources en terres agricoles et en pâturages. De mauvaises récoltes, les années sèches, provoquent des pénuries alimentaires, notamment dans le Sahel, en Afrique. Ce type de catastrophe « naturelle » instantanée est étroitement lié à la dégradation progressive des terres sèches. Plusieurs années consécutives de précipitations supérieures à la moyenne peuvent accroître les risques : les agriculteurs sont facilement induits en erreur par de telles conditions et sont ten-

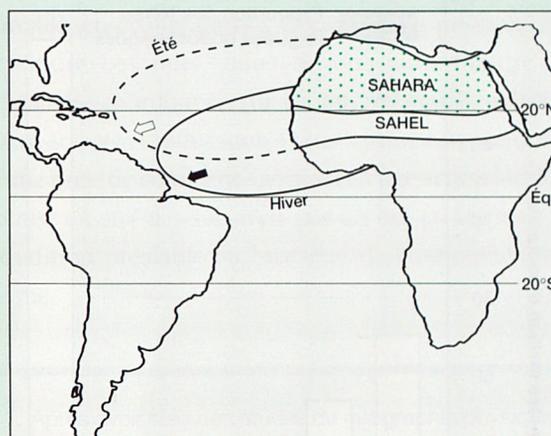
tés de se déplacer vers des zones encore plus sèches ou de cultiver des plantes d'un meilleur rapport, mais demandant plus d'eau, sans tenir compte du caractère exceptionnel du phénomène. La forte réduction du pourcentage de la couverture d'herbe ou de broussailles, due au surpâturage, notamment après les années sèches, diminue l'humidité de l'air et peut facilement provoquer un accroissement durable de l'aridité ; très peu d'humidité provenant de l'extérieur atteint l'intérieur des terres sèches et les précipitations sont engendrées jusqu'à 95 % par un recyclage local répété.

L'eau souterraine, exploitée par des puits, doit être introduite avec beaucoup de précaution dans les zones d'élevage : son utilisation peut facilement aboutir à la concentration de trop grands troupeaux, provoquant le surpâturage et la désertification dans les zones environnantes : l'équilibre naturel entre les ressources en eau et les pâturages est rompu, et les animaux, en cas de sécheresse, meurent alors de faim.

Le vent est un facteur important de destruction dans de telles conditions, érodant le sol en soufflant des tonnes de poussière dans l'atmosphère et en mettant en mouvement des champs de dunes dans les régions sablonneuses. Le désert de poussière ou *dustbowl* qui a envahi le centre-ouest aride des États-Unis, dans les années 30, a attiré l'attention de nombreux chercheurs sur ce phénomène. L'érosion éolienne s'est manifestée à plus grande échelle en Afrique, surtout pendant les sécheresses des années 70 et 80 au Sahel, lorsque de grandes quantités de poussière ont été emportées par le vent au-dessus de l'océan Atlantique (fig. 4). La salinisation due à l'évaporation de l'eau du sol est un autre aspect fréquent de la désertification, menaçant la productivité des cultures irriguées. Une indication de l'ampleur des dégâts ainsi causés à l'échelle mondiale est illustrée par la figure 5, qui présente des données concernant les cinq pays pratiquant le plus l'irrigation vers le milieu des années 80.

Il est de plus en plus difficile pour les populations en rapide croissance des zones semi-arides de parvenir à une utilisation rationnelle des sols et d'éviter la désertification. Elles ont donc élaboré toute une série de stratégies pour

FIGURE 4
TRANSPORT DE POUSSIÈRE
AU-DESSUS DE L'OcéAN ATLANTIQUE À LA SUITE
DES SÉCHERESSES DU SAHEL

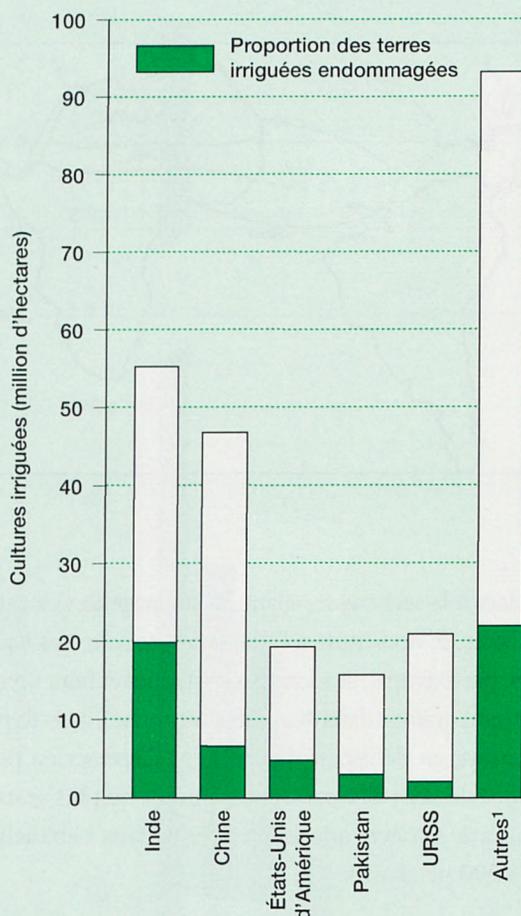


faire face à la sécheresse, allant du stockage de l'eau et de la collecte de nourriture à l'adaptation sociale. Les Bochimans, par exemple, stockent les pastèques et l'eau tirée de puits temporaires (dans des œufs d'autruche), mais ils peuvent aussi, en désespoir de cause, se disperser en petits groupes de six à dix personnes qui ont de plus grandes chances de survivre que les groupes sociaux habituels de 100 à 200 personnes.

LA DÉGRADATION DES SOLS DANS LES SOCIÉTÉS TECHNIQUEMENT TRÈS DÉVELOPPÉES

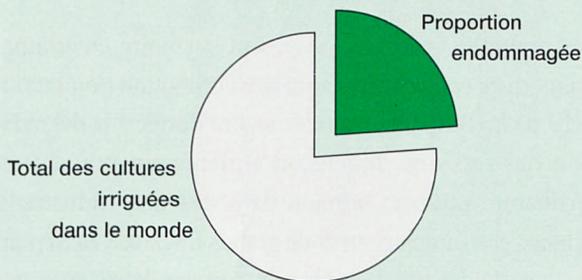
Les multiples menaces qui pèsent sur notre environnement, dues ces dernières années à l'utilisation non rationnelle de la technologie moderne, ont donné à la dégradation des sols une dimension entièrement nouvelle et terrifiante. L'impact humain dans des sites industriels, urbains et à l'emplacement de grands travaux a été si marqué que la dégradation des sols s'est accélérée, avec une intensité encore jamais atteinte, et est devenue presque irréversible. Les décharges de déchets inorganiques indus-

FIGURE 5
DÉGÂTS CAUSÉS AUX CULTURES IRRIGUÉES
PAR LA SALINISATION, MILIEU DES ANNÉES 80



1. Estimations.

24 % des 250 millions d'hectares de cultures irriguées dans le monde sont endommagés (chiffre estimé).



Source : Brown *et al.*, 1990.

triels et urbains, les terrils, les mines et les carrières, les terrains vagues abandonnés dans d'anciennes zones industrielles et urbaines, l'érosion côtière due à l'extraction de matériaux de construction ou l'édification de lacs de barrage-réservoir, ne sont que quelques exemples parmi d'autres. Malheureusement, les dommages ne sont pas limités à ces sites, ils s'étendent du fait de la pollution de l'eau et de l'air, introduisant de la radioactivité, des métaux lourds, des détergents et autres dans les régions environnantes. L'effet des pluies acides sur les forêts européennes a été dramatique (tableau 1).

Ce serait une erreur d'imaginer que toute la dégradation des sols due aux nouvelles technologies survient seulement dans les zones industrialisées ou urbaines. Les bio-industries produisent de grandes quantités de déchets organiques et l'agriculture moderne utilise de plus en plus d'engrais et de pesticides dans les zones rurales.

La technologie moderne est aussi capable de prendre des mesures efficaces pour stopper ces nouvelles formes de dégradation des sols, mais la société se trouve elle-même prise en tenailles entre son désir de satisfaire ses « besoins » actuels et sa responsabilité à l'égard des générations futures.

IMPORTANCE DE LA REMISE EN ÉTAT DES SOLS A L'ÉCHELLE MONDIALE

La dégradation des sols est indissociable de la dégradation de la société. Alors que nous nous efforçons d'améliorer la qualité de la vie de millions d'êtres humains, un individu sur six voit d'ores et déjà ses conditions de vie se détériorer progressivement. Certaines régions agricoles à forte productivité mais à forte densité de population, comme la vallée du Nil et le delta du Gange, ont besoin régulièrement d'importations alimentaires. Une utilisation non rationnelle des terres aboutissant au déboisement, à l'érosion des sols, à la désertification et à d'autres formes de dégradation des sols va de pair avec la récession économique, une diminution de la production alimentaire et la détérioration des conditions de santé. Le contexte social de la dégradation des sols est menaçant et il est donc essen-

tiel d'équilibrer les besoins mondiaux avec les ressources de notre planète.

D'abord, nous devons mettre au point un plan mondial pour lutter contre la dégradation des sols dans le contexte d'Action 21, adoptée par le Sommet de la Terre à Rio en 1992, qui prenne en considération les questions des droits et des régimes fonciers, et favorise les initiatives commu-

nautaires. Ensuite, il nous faut maintenir un équilibre entre le nombre des habitants et la capacité limite de l'environnement, grâce à des programmes appropriés de planification familiale et, tout aussi important, maintenir un équilibre entre les besoins par individu et un développement durable, en changeant nos valeurs et nos priorités. Pour atteindre ces buts, nous devons entreprendre une recherche coordonnée sur les interrelations environnement-société et l'éducation à tous les niveaux, conduisant à une prise de conscience accrue et à une action locale. La remise en état des sols n'est pas un but en soi mais une condition préalable au bien-être de l'humanité à long terme.

TABLEAU 1
DOMMAGES CAUSÉS AUX FORÊTS EUROPÉENNES
PAR LES PLUIES ACIDES, 1986

Pays	Superficie (en milliers d'hectares)	Superficie endommagée (en milliers d'hectares)	Proportion (%)
Pays-Bas	311	171	55
République fédérale d'Allemagne	7 360	3 952	54
Suisse	1 186	593	50
Royaume-Uni	2 018	979	49
Tchécoslovaquie	4 578	1 886	41
Autriche	3 754	1 397	37
Bulgarie	3 300	1 112	34
France	14 440	4 043	28
Espagne	11 789	3 313	28
Luxembourg	88	23	26
Norvège	6 660	1 712	26
Finlande	20 059	5 083	25
Hongrie	1 637	409	25
Belgique	680	111	16
Pologne	8 654	1 264	15
Suède	23 700	3 434	15
République démocratique allemande	2 955	350	12
Yougoslavie	9 125	470	5
Italie	8 328	416	5
Autres	12 282	—	—
Total	142 904	30 718	22

— Données non disponibles.

Source : Brown et Flavin, 1988.

Après avoir suivi des études de géographie physique aux Pays-Bas, son pays natal, **Herman Verstappen** a débuté sa carrière à l'Institut géographique du Département de recherches gouvernemental à Djakarta en Indonésie. Il a ensuite travaillé, de 1957 à 1989, à l'Institut international de recherches aérospatiales (ITC) aux Pays-Bas et est devenu professeur en 1968.

Ses pôles d'intérêt sont centrés sur la géomorphologie appliquée utilisant la technologie aérospatiale, notamment le zonage des risques naturels pour la prévention des catastrophes et l'inventaire des ressources, et il a publié de nombreux travaux sur ces sujets. Spécialiste de l'Asie du Sud et du Sud-Est, il a aussi mené à bien de nombreuses études dans les régions tropicales.

Le professeur Verstappen est président de l'Union géographique internationale depuis 1992.

BIBLIOGRAPHIE

- Brown, L. R. et Flavin, C. 1988. The earth's vital signs, dans *State of the world 1988*, A Worldwatch Institute Report on progress toward a sustainable society, p. 3-21, New York, W. W. Norton and Co.
- Brown, L. R. et al. 1990. *State of the world 1990*, A Worldwatch Institute Report on progress toward a sustainable society, New York, W. W. Norton and Co.
- Dregne, H. E. 1989. *Agriculture situation and outlook report*, Bethesda, Md., USDA.
- FESLM. 1993. An international framework for evaluating sustainable land management, dans *Rapport de la FAO sur les ressources en sols du monde*, n° 73, p. 1-73, Rome. FAO.
- Postel, S. 1989. Halting land degradation, dans *State of the world 1989*, A Worldwatch Institute Report on progress toward a sustainable society, p. 21-40, New York, W. W. Norton and Co.
- Walling, D. E. 1987. Rainfall, runoff and erosion of the land : a global view, dans K. J. Gregory (dir. publ.), *Energetics of physical environment*, New York, John Wiley and Sons.

La biodiversité

FRANCESCO DI CASTRI

Au cours des dix dernières années, et en particulier depuis la publication en 1988, sous la direction de E. O. Wilson, de l'ouvrage intitulé *Biodiversity* (Biodiversité), ce mot est devenu très à la mode. Malheureusement, il est souvent utilisé de manière vague, dans des acceptions diverses, et avec des connotations et des intentions différentes. Pour le grand public, il évoque surtout la préservation de quelques espèces d'animaux et de plantes d'une grande valeur esthétique ou ayant un caractère fortement symbolique, tels le panda, l'éléphant, le séquoia, l'orchidée, etc. Pour les groupes de pression écologistes, l'objectif primordial de leurs actions est de garder aussi intacts que possible de grands segments d'écosystèmes menacés, notamment sous les tropiques (forêts tropicales humides, récifs coralliens, petites îles, etc.). Pour un homme politique ou un chef d'entreprise, la principale préoccupation est l'exploitation de la biodiversité, ce qui pose le problème des droits de propriété des différents pays et du transfert du savoir-faire quant aux applications à la biotechnologie et dans l'industrie, l'accent étant placé tout particulièrement sur le secteur pharmaceutique et l'amélioration des variétés des cultures.

Les aspects géopolitiques globaux d'une utilisation équitable de la biodiversité à travers le monde sont désormais une question qui suscite une vive controverse en rapport avec la mise en œuvre de la Convention sur la diversité biologique signée à Rio de Janeiro en juin 1992 pendant la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED). Une discordance est latente entre les pays du Nord et ceux du Sud ; il s'agit là d'un réel problème mondial mettant en jeu d'importants aspects conceptuels, moraux et économiques.

DÉFINITION

Les milieux scientifiques eux-mêmes utilisent le mot « biodiversité » trop souvent avec peu de rigueur, se référant parfois uniquement à des taxons déterminés (par exemple biodiversité des oiseaux, biodiversité des microbes, etc.) ou à un seul niveau d'intégration (par exemple biodiversité moléculaire ou biodiversité spécifique). La diversité des

espèces est si fréquemment visée qu'elle est devenue, à tort, quasi synonyme de biodiversité.

Enfin, une multitude de mythes sur la biodiversité imprègne les médias, voire de nombreux manuels, se traduisant par une optique marquée par le sensationnalisme et le catastrophisme à l'égard des incidences de la biodiversité et du rôle qu'y joue l'humanité.

De cette introduction, on pourrait être amené à déduire que « biodiversité » est un terme qui ne se prête à aucune définition. Or, une meilleure compréhension de ce qu'est en fait la biodiversité est devenue une véritable nécessité, du moins si l'on veut pouvoir traiter quatre questions fondamentales. D'abord et avant tout, il importe de démythifier ce qui touche à la biodiversité pour qu'elle atteigne un haut niveau de crédibilité, alors que sa valeur est déjà contestée par quelques décideurs et une partie de la communauté scientifique. Ensuite, il est indispensable d'éliminer les sujets de discordance qui divisent les pays pendant les négociations politiques débouchant sur des traités et des conventions. En troisième lieu, la gestion *in situ* de la biodiversité devrait reposer sur des fondements scientifiques solides, et non sur des intuitions ou des approximations, comme cela est souvent le cas à l'heure actuelle. En quatrième et dernier lieu — et il s'agit ici probablement de la question la plus importante — la biodiversité devrait pouvoir fournir une sorte de leitmotiv propre à apporter une vue unitaire — à la fois l'unicité et l'universalité — au monde biologique. A l'heure actuelle, la biologie est trop fragmentée en disciplines isolées ; or les interactions conceptuelles et opérationnelles peuvent facilement s'accroître lorsque la biodiversité est vue sous l'angle des différents niveaux d'organisation, de la molécule à la communauté. Et de surcroît, la biodiversité est si intimement liée à la diversité culturelle que ce qui est considéré maintenant comme un fossé quasiment infranchissable séparant la science de la culture — du point de vue opérationnel — peut être comblé plus facilement, dans la théorie comme dans la pratique.

Jutro (1993) recense quatorze définitions récentes de la biodiversité parmi celles qui sont le plus souvent utilisées.

Deux d'entre elles ont un caractère plus officiel, ayant été approuvées par la plupart des pays.

La définition la plus développée est celle des Nations Unies ; elle figure dans la Convention de 1992 sur la diversité biologique, libellée comme suit : « ... variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes. »

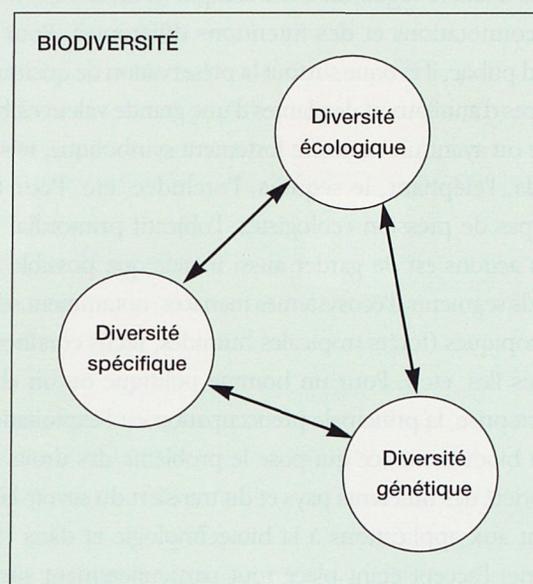
La définition la plus courte est celle de la Stratégie mondiale de la biodiversité de 1992 ; la biodiversité y est définie comme étant « la totalité des gènes, espèces et écosystèmes d'une région ».

Bien que la participation des milieux scientifiques à l'élaboration de ces définitions ait été loin d'être satisfaisante, il est intéressant de noter que l'une et l'autre définition se réfère aux trois éléments constitutifs de la biodiversité, à savoir les gènes, les espèces et les écosystèmes. La diversité intraspécifique est la diversité *génétique* ; la diversité des espèces est la diversité *spécifique* ou *taxonomique*, et la diversité des écosystèmes est la diversité *écologique* ou la diversité des *habitats*. Sur le plan scientifique, la lacune qui caractérise les deux définitions est que ni l'une ni l'autre ne fait état des interactions qui interviennent à l'intérieur des différentes diversités et entre elles. Or l'*interaction* est le principal mécanisme intrinsèque qui façonne les caractéristiques et le fonctionnement de la biodiversité. Une autre lacune est que la notion d'échelle semble avoir été omise, alors que l'on ne peut déterminer les attributs structurels et fonctionnels de la biodiversité qu'en prenant en compte comme il convient les échelles appropriées d'espace et de temps.

En raison des considérations qui précèdent, on peut définir la biodiversité de la manière la plus simple et la plus fonctionnelle comme étant *l'ensemble constitué par la diversité génétique, la diversité spécifique et la diversité écologique, et leurs interactions, en un lieu donné et à un moment donné* (figure 1).

Il convient de souligner que ces interactions ont un caractère hiérarchique, de telle sorte que les propriétés

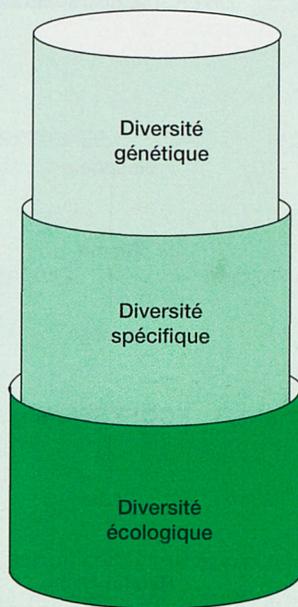
FIGURE 1
UNE DÉFINITION DE LA BIODIVERSITÉ FONDÉE
SUR SES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS
ET LEURS INTERACTIONS



émergentes — c'est-à-dire celles qui n'existent pas à un niveau plus bas d'intégration — apparaissent lorsqu'on passe du niveau des gènes à celui des espèces, puis à celui des écosystèmes. En imbriquant ces trois diversités, comme le montre la figure 2, l'effet télescopique classique de la théorie hiérarchique devient clair : les propriétés nouvelles de la biodiversité se manifestent selon la position relative des trois blocs et le niveau et l'intensité de leurs interactions. En résumé, la hiérarchie est un phénomène central de la biodiversité, et une théorie générale s'impose, qui intègre les niveaux hiérarchiques, en montrant comment ils se forment et comment ils agissent entre eux. On peut trouver une information complémentaire sur la théorie hiérarchique dans Allen et Starr (1982), Salthe (1985), Nicolis (1986), O'Neill *et al.* (1986), di Castri et Hadley (1988), Vrba (1989) et Vrba et Eldredge (1984).

La hiérarchie évoquée ci-dessus n'est pas, on l'admet, une hiérarchie bien tranchée dans le sens strict, étant donné

FIGURE 2
LA TRILOGIE DE LA BIODIVERSITÉ PRÉSENTÉE
EN TANT QUE TÉLESCOPAGE HIÉRARCHIQUE



que les gènes, les espèces et les écosystèmes n'appartiennent pas tous ensemble à la même catégorie hiérarchique. Le concept est élargi et affiné à la figure 3, où les schémas hiérarchiques de la biodiversité sont présentés comme interactions de trois échelles différentes de niveaux d'organisation — les niveaux génétique, taxonomique et écologique. De cette manière, l'universalité du monde biologique est représentée, tandis que le principe unificateur et l'unicité sont l'apport de l'interaction hiérarchique des différentes diversités.

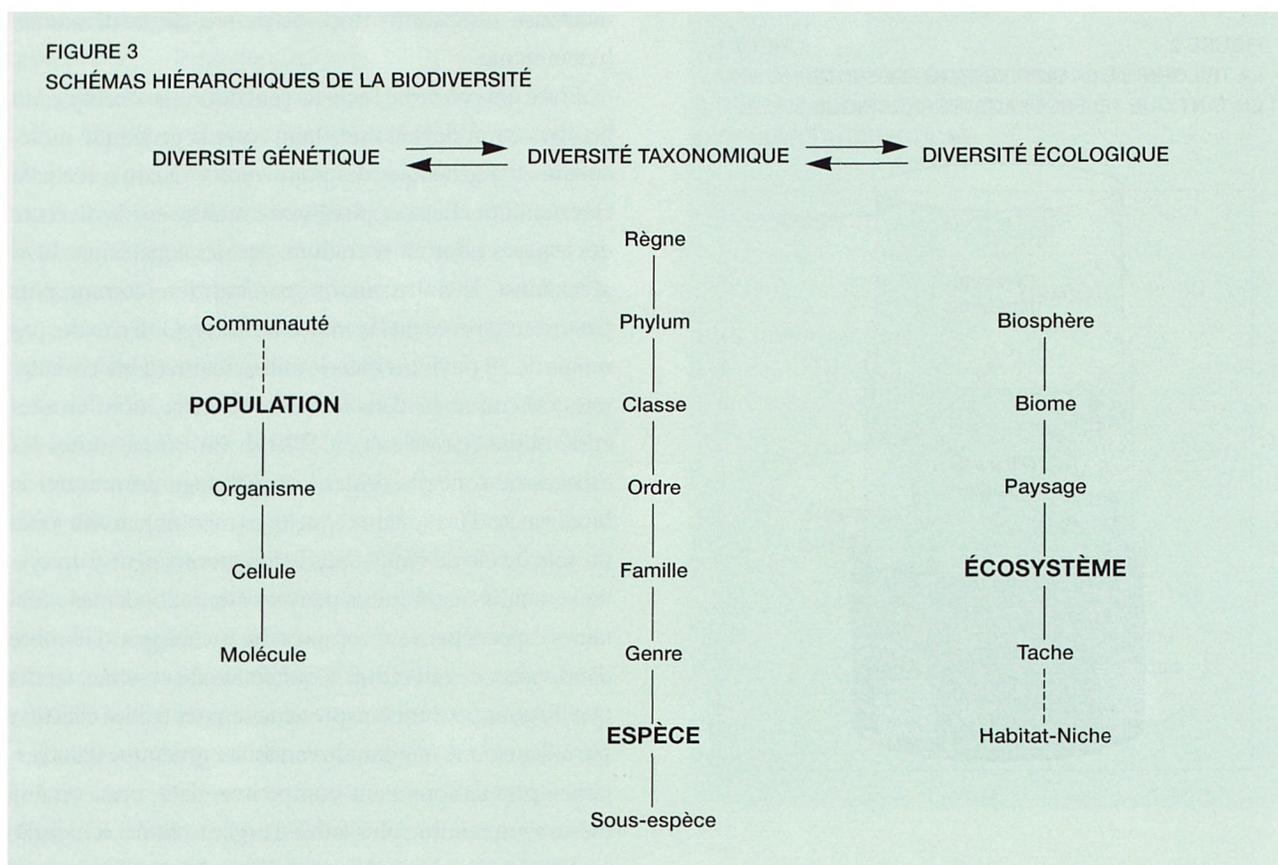
Les populations (avec leur capital génétique), les espèces et les écosystèmes sont habituellement la pierre angulaire de l'intersection des trois échelles (Solbrig, 1991). Ils sont aussi les trois principaux éléments pris en compte dans la biologie de la conservation, et, dans la pratique, ils devraient être considérés tous ensemble, dans leurs interactions, pour la conservation des espèces rares ou des habitats menacés. Malgré tout, il s'agit là d'une

mauvaise utilisation, trop restrictive, de la démarche hiérarchique.

En ce qui concerne l'échelle génétique, par exemple, un lien très étroit devrait être établi entre la génétique moléculaire et la génétique des populations. Quant à l'échelle taxonomique, l'accent placé outre mesure sur la diversité des espèces pourrait se traduire par des conclusions biaisées. Ainsi, le milieu marin est considéré comme plus pauvre en espèces que le milieu terrestre. Or il n'existe pas moins de 28 phylums dans le milieu marin (dont 13 endémiques) contre 11 dans le milieu terrestre, dont un seul endémique (Grassle *et al.*, 1991). En outre, toutes les espèces ne sont pas égales lorsqu'il s'agit de mesurer la biodiversité d'un système : quelques espèces peuvent jouer un rôle de clé de voûte dans le fonctionnement d'un système, tandis que d'autres peuvent être redondantes ; certaines espèces peuvent comprendre un très grand nombre d'individus, ce qui réduit l'équitabilité du système, tandis que d'autres peuvent être présentes en très faibles effectifs ; par ailleurs, une très grande variabilité génétique dans certaines populations peut compenser, dans une certaine mesure, un nombre plus faible d'espèces. Enfin, à l'échelle écologique, le principal facteur de l'extinction des espèces peut être la fragmentation des paysages ou la perturbation de la dynamique des taches, et non pas simplement le manque de résilience au niveau de l'écosystème.

L'organisation hiérarchique de la biodiversité, alliée à une prise en compte adéquate d'échelles appropriées d'espace et de temps, ne saurait être prise pour un simple artefact théorique. D'un point de vue pratique, les attributs structurels et fonctionnels de la stabilité, de la productivité et de la durabilité du système, ainsi que les modes de fonctionnement de l'écosystème (di Castri et Younès, 1990) ne peuvent être élucidés que si l'on considère les hiérarchies et les échelles en fonction de leurs interactions. La même constatation s'applique, sur le plan de la gestion, à la conservation des zones naturelles, ainsi qu'à la sélection, à la rotation et au mélange de cultures ou de peuplements forestiers appropriés. Par ailleurs, une conception nouvelle de paysages plus stables et plus harmonieux, après leur perturbation due à des monocultures prolongées ou à un

FIGURE 3
SCHÉMAS HIÉRARCHIQUES DE LA BIODIVERSITÉ



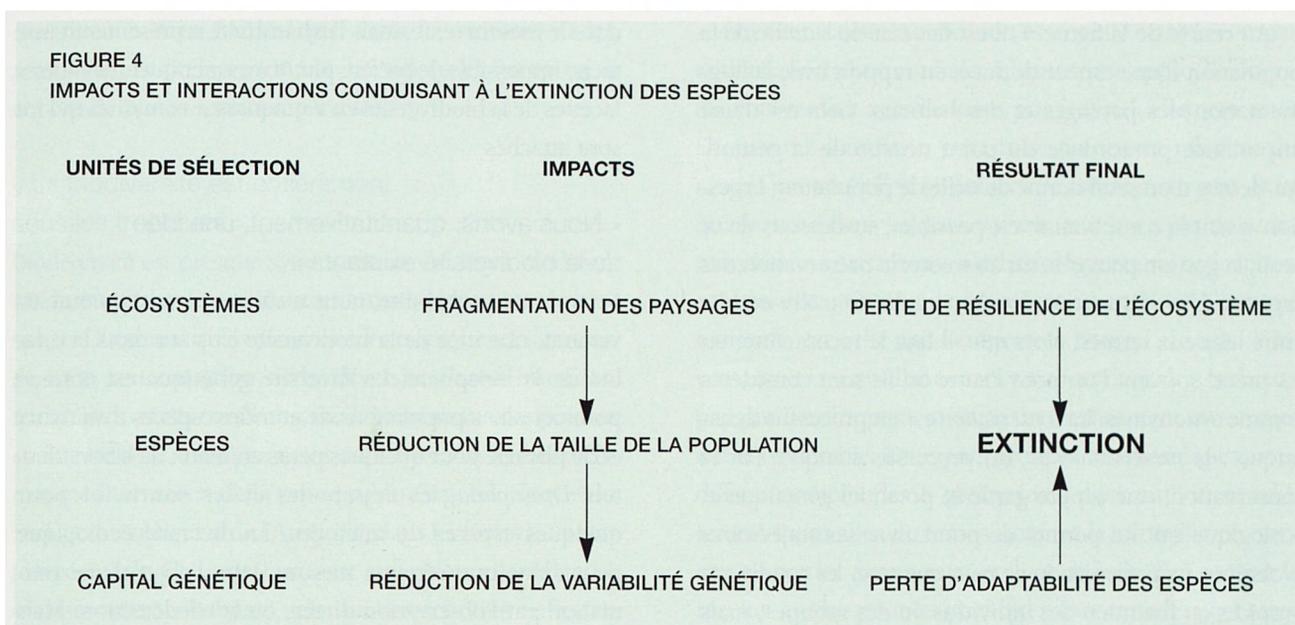
déboisement massif, devrait être fondée sur les couplages des trois principaux éléments constitutifs de la biodiversité, sa « trilogie ».

L'applicabilité de ces fondements à la biodiversité reste également entière lorsqu'on adopte une optique fondée sur l'évolution. Seules ces interactions peuvent aider à comprendre si un niveau donné de biodiversité dépend de la période d'évolution écoulée sans grande perturbation ou reflète plutôt la fréquence de perturbations répétées dans l'histoire de l'évolution (Harper et Hawksworth, 1994). Plus vraisemblablement, les deux processus sont l'un et l'autre à l'origine de niveaux élevés de biodiversité dans différentes circonstances écologiques et évolutives. Le débat qui a lieu actuellement sur la naissance de *points névralgiques* (*hot spots*) de mégadiversité est étroitement lié aux considérations qui précèdent.

EXTINCTION

En adoptant des échelles longues de temps et d'espace, on pourrait dire qu'une biodiversité donnée est le résultat de taux différentiels que l'on enregistre dans les processus de spéciation et d'extinction des espèces. L'extinction est intrinsèque à la trajectoire de l'évolution de toute espèce donnée ; on devrait la considérer dans une optique scientifique, à l'abri du catastrophisme affectif qui sévit aujourd'hui dans l'opinion publique et dans les médias chaque fois que le mot est prononcé. Selon des estimations approximatives, les espèces vivant actuellement dans la biosphère ne représentent que 5 à 10 % du nombre de celles qui sont apparues par spéciation et qui ont disparu par extinction pendant les 4 milliards d'années de l'histoire évolutive de la planète. Le taux actuel d'extinction est sou-

FIGURE 4
IMPACTS ET INTERACTIONS CONDUISANT À L'EXTINCTION DES ESPÈCES



vent exprimé en milliers d'espèces par an ; les chiffres sont habituellement de l'ordre de 10 000 à 50 000, mais les groupes de pression écologistes avancent des chiffres encore plus élevés. Tous ces chiffres correspondent à des approximations très peu fiables et, par ailleurs, sont souvent représentés par des espèces qui n'ont pas encore été décrites ; il est très difficile d'engager une discussion sur des chiffres qui concernent un domaine biologique inconnu, d'y souscrire ou de les réfuter. Néanmoins, on peut dire sans risquer de se tromper que l'extinction est d'un ordre de grandeur plus élevé que pendant les siècles précédents, qu'elle dépasse de très loin le taux actuel de spéciation et qu'elle est vraisemblablement comparable aux extinctions qui eurent lieu pendant les périodes dites de crise évolutive. Le principal motif de préoccupation est que l'extinction en cours se produit sur une période extrêmement courte de l'échelle évolutive.

La figure 4 illustre de manière schématique un des mécanismes de l'extinction, telle qu'elle est provoquée par l'impact anthropique. Elle démontre en même temps combien les trois niveaux hiérarchiques évoqués plus haut — qui représentent également des unités de sélection — sont étroitement liés et interagissent dans des problèmes quo-

tidiens très pratiques. Contrairement à ce qui est dit habituellement dans les médias, et repris avec insistance par les groupes de pression écologistes, l'extinction est très rarement le résultat d'une agression directe et intentionnelle perpétrée par l'homme contre une espèce donnée (la principale exception étant certaines grandes espèces de mammifères terrestres et aquatiques). C'est plutôt la conséquence de pratiques courantes consistant à fragmenter les paysages et écosystèmes afin d'accroître la superficie des zones destinées à l'agriculture intensive ou à la foresterie, à détruire des habitats pour les besoins de l'urbanisation et des transports (chemins de fer, routes, etc.), ou à assécher les terres humides — en particulier dans les zones côtières — pour les besoins du tourisme et des activités industrielles. C'est seulement en introduisant expressément et de manière « proactive » des considérations d'ordre environnemental dans les phases précoces du développement que l'on peut réduire à un minimum le risque d'appauvrir la biodiversité, au moyen de mesures préventives à faible coût. L'approche « curative » adoptée après l'événement est trop souvent d'un coût exorbitant et, notons-le en passant, inapplicable, ou appliquée comme une sorte de solution cosmétique.

Au centre de la figure 4, il est fait état de la taille de la population d'une espèce donnée, en rapport avec la fragmentation des paysages et des habitats. Cela est d'une importance primordiale du point de vue de la gestion. Au-dessus d'un seuil donné de taille de population, la gestion visant la conservation est possible ; au-dessous de ce seuil, la gestion peut obtenir au mieux la préservation des espèces. Une distinction fondamentale doit être établie entre les deux termes, alors que, il faut le reconnaître, on les prend souvent l'un pour l'autre ou ils sont considérés comme synonymes. La *conservation* est un processus dynamique ; la *préservation* est un processus statique. Par la conservation, une espèce garde le potentiel génétique et écologique qui lui permet de poursuivre ses trajectoires évolutives. La préservation ne peut que créer les conditions propices au maintien des individus ou des groupes, mais non à leur changement évolutif ; elle est souvent définie comme « captive » ou « insulaire », car elle est quelque peu analogue à la gestion fixiste d'un jardin botanique ou zoologique (Frankel et Soulé, 1981). Malheureusement, la gestion pratiquée dans les parcs nationaux et dans d'autres zones protégées est beaucoup plus proche de la préservation que des principes dynamiques et adaptatifs de la conservation. L'humanité est devenue le principal facteur du changement dans la biosphère, même d'un point de vue évolutif. En conséquence, s'il faut qu'elle assume une responsabilité sur le plan de l'évolution, ainsi que le préconise sir Otto Frankel, la conservation, le changement et l'évolution continue, conformément aux lois de la biodiversité, constituent sa tâche principale, son mandat primordial.

S'ATTAQUER AUX MYTHES

La biodiversité, telle qu'elle se présente désormais, n'est pas simplement une nouvelle approche ou un parapluie rassurant protégeant du regard tout ce qui est vague, mais une nouvelle science naissante ayant sa propre logique : une science qui se trouve encore devant un « inconnu » spectaculaire quant à ses fondements théoriques et à ses applications. Il reste trop d'aspects appelant des explications

dans le présent texte, mais l'exhaustivité représenterait une tâche impossible. Je préfère plutôt évoquer quelques autres facettes de la biodiversité en s'attaquant aux mythes qui lui sont attachés.

« Nous avons, quantitativement, une idée de la biodiversité existante »

Selon toute probabilité, nous n'aurons jamais, quantitativement, une idée de la biodiversité existant dans la totalité de la biosphère. La diversité génétique est connue pour certaines populations de grandes espèces d'animaux et de plantes, pour quelques petits animaux de laboratoire, tels *Drosophila*, les copépodes et les souris, et pour quelques espèces de microbes. La diversité écologique peut, dans une certaine mesure, faire l'objet d'une estimation par l'observation directe ou la télédétection. Mais nous n'avons identifié qu'un nombre infime d'espèces existantes — environ 1,5 million d'espèces — alors que, selon des estimations prudentes, le nombre total se situe entre 5 et 30 millions. Selon d'autres estimations, il atteint 50, 80, voire 100 millions d'espèces. Et les attributs de la plupart des espèces décrites sont, dans une grande mesure, inconnus. Nos principales lacunes d'ordre taxonomique concernent les insectes et d'autres invertébrés, les microbes, ou les occupants de certains habitats tels que le sol, le benthos et les sédiments des grands fonds marins, et la canopée des arbres tropicaux. (Pour un examen de la question de la mesure et de l'estimation de la biodiversité, voir Hawksworth, 1994.) Malheureusement, pour certains groupes d'animaux et de plantes, il existe peu de taxonomistes spécialisés, ou il n'en existe pas du tout. Par ailleurs, dans la plupart des pays, aucune mesure n'est prévue, sur le plan universitaire ou sur celui de la carrière, pour favoriser les vocations de taxonomistes. En résumé, donc, il n'existe aucun endroit au monde où la diversité spécifique totale soit connue, et il y a peu d'espoir, même dans un avenir lointain, que nous soyons capables de reconnaître toutes les espèces des milieux terrestre et aquatique. Nous devons en conséquence nous limiter dans nos travaux à des approximations incomplètes de la biodiversité. Et, bien entendu, ces approxi-

mations ne sont fiables que dans la mesure où les méthodes de prélèvement d'échantillons et les groupes choisis de biotes sont comparables.

« La biodiversité est entièrement sous les tropiques »

Biodiversité est presque synonyme de vie. Il y a biodiversité là où est la vie ; en d'autres termes, dans toute la biosphère. Il est vrai qu'il existe sous les tropiques des centres de forte concentration de biodiversité (forêts humides, mangroves, récifs coralliens, etc.). Néanmoins des pointes analogues sont aussi présentes dans les écosystèmes à climat méditerranéen de la province du Cap, en Afrique du Sud, et du sud-ouest de l'Australie, dans les forêts humides tempérées du Chili, de Tasmanie et de Nouvelle-Zélande, et dans certains habitats, tels que les sols très riches en humus de quelques forêts caducifoliées tempérées.

« Nous savons comment la biodiversité change »

Nous ne savons certainement pas comment la biodiversité change à l'échelle du globe, étant donné que notre connaissance du nombre total d'espèces et du taux d'extinction est trop fragmentaire et peu fiable. Il serait possible de remédier à cette situation grâce à une stratégie acceptée à l'échelle mondiale et reposant sur un inventaire sélectif dans des aires données périodiquement surveillées. Telle fut l'une des grandes attentes de la Conférence de Rio et de la Convention sur la diversité biologique. Toutefois, le préambule de la Convention comprend deux paragraphes consécutifs tout à fait cohérents en eux-mêmes, mais qui ne peuvent aboutir à rien lorsqu'ils sont interprétés d'une manière excessive et non complémentaire. Ces deux paragraphes sont libellés comme suit : « *Affirmant que la conservation de la diversité biologique est une préoccupation commune à l'humanité* » et « *Réaffirmant que les États ont des droits souverains sur leurs ressources biologiques* ». Il s'agit là de principes en soi à l'égard desquels on ne peut émettre aucune objection, surtout lorsque l'utilisation des ressources est visée. Toutefois, dans le cas précis de l'inventaire et de la surveillance de la biodiversité, les deux vues s'affrontent. A un extrême, le processus est conçu en tant que proces-

sus très centralisé, la condition essentielle étant la comparabilité à l'échelle mondiale. A l'autre, une approche orientée entièrement vers les pays pris individuellement est à l'honneur : l'initiative et la mise en œuvre relèvent du niveau national ; l'on se préoccupe même assez peu de ce qui se passe dans les pays voisins, et il n'y a pas de cadre mondial fournissant une méthodologie et une conception comparables. Comme l'on pouvait s'y attendre, l'optique nationale est celle qui l'emporte à l'heure actuelle. L'inventaire et la surveillance sont en cours dans de nombreux pays en développement, avec un financement international considérable. Différents groupes taxonomiques, avec différentes méthodes de prélèvement d'échantillons et à différents intervalles de temps quant à la surveillance, sont choisis par les divers pays, et il est difficile d'en prévoir le résultat, même pour les pays qui y sont actuellement associés. Mais il est certain qu'aucun résultat concret n'en sortira pour la compréhension de la dynamique de la biodiversité mondiale. Les pays devraient, à coup sûr, être fortement engagés, mais seulement à l'intérieur d'un cadre préconçu et accepté au préalable pour l'échange des résultats, de manière à atteindre un niveau acceptable de comparabilité. C'est là un problème d'une importance vraiment cruciale, mais je suis convaincu que les lacunes actuelles seront comblées à un stade plus avancé, à un stade de plus grande maturité de la mise en œuvre de la Convention.

« Les gens ont toujours appauvri la biodiversité »

Il n'est pas vrai que l'humanité tende implacablement vers la destruction de la biodiversité et qu'elle y soit intrinsèquement opposée. Aux premiers temps de l'agriculture, du fait de la sélection de nombreuses variétés domestiques et de la diversification des paysages environnants — qu'il a tous presque entièrement façonnés — l'homme a jeté les bases d'une plus grande diversité génétique et écologique. Il est vrai que telle n'est plus la situation dans la plupart des pays du monde : la variabilité génétique des cultures diminue, la diversité des espèces doit affronter la menace d'extinction, et la diversité écologique pâtit des conséquences du déboisement, de la désertification et de la des-

truction des paysages traditionnels. Je suis profondément convaincu que quelques-uns de ces processus seront atténués, pour le bien du développement lui-même.

« Nous connaissons le fonctionnement de la biodiversité »

Nous avons de bonnes bases théoriques s'agissant du fonctionnement de la diversité génétique dans les processus d'évolution ou de la sélection des variétés de plantes et de races d'animaux domestiques. Au niveau de l'écosystème, certaines indications permettent de penser que la biodiversité joue un rôle en façonnant des niveaux déterminés de stabilité, en modifiant la productivité et en influant sur les modes de fonctionnement de l'écosystème, reflétant ainsi, dans une certaine mesure, la durabilité. Néanmoins, nous sommes presque tout à fait ignorants des mécanismes intrinsèques de ces processus. Seule une recherche plus ciblée sur les interactions hiérarchiques de la biodiversité évoquées plus haut pourra apporter, en même temps qu'une explication de ses mécanismes de fonctionnement, une perception plus rigoureuse des vastes projections de la biodiversité dans l'espace et le temps.

« Les extinctions ne sont pas naturelles »

Nous avons déjà souligné que les espèces ont une durée de vie limitée à l'intérieur d'une perspective évolutive. Le seul aspect que l'on puisse considérer comme « non naturel » est l'accélération actuelle de l'extinction, due à l'impact considérablement accru de l'activité humaine.

« Nous pouvons (et devrions) sauver toutes les espèces sans exception »

En ce qui concerne le « pouvons », il faut dire qu'un certain appauvrissement de la biodiversité, en particulier du fait de la conversion des terres en zones d'agriculture et d'urbanisation intensives, est absolument inévitable. L'accroissement de la population, la pauvreté et la pression économique sont les principaux facteurs sous-jacents. La solution préconisée par certains adeptes de l'« écologie

profonde » consisterait à réduire radicalement et très rapidement la population humaine de la planète (non pas simplement le taux d'accroissement de la population). Or cette diminution radicale ne saurait être le fait que d'événements tels que la guerre, la maladie et la famine. En outre, il existe suffisamment d'indications permettant de penser qu'une certaine réduction de la biodiversité est compatible avec le fonctionnement des écosystèmes et de la biosphère.

Il est plus difficile de parler du « devrions » car ce mot implique des considérations d'ordre philosophique et moral, la principale étant que toutes les espèces ont des droits égaux et que *Homo sapiens* est juste une espèce comme les autres, sans aucun avantage par rapport à elles sur le plan de l'évolution. Néanmoins, l'homme est la seule espèce animale qui ait la capacité de penser sa propre destinée et, par-dessus tout, qui soit devenue le principal facteur évolutif ayant une responsabilité quant à l'évolution, pour le meilleur ou le pire. Sur le plan pratique de la gestion, il est presque impossible de ne pas avoir une attitude quelque peu anthropocentrique à l'égard des autres espèces. En effet, l'égalité des espèces est un concept très relatif, même pour un fondamentaliste de la préservation. J'ai vu des campagnes visant à sauver la baleine ou le rhinocéros mais jamais de campagnes visant à protéger l'encombrant moustique. Au bout du compte, sauver toutes les espèces sans exception reviendrait à arrêter l'évolution, et cela, à le supposer possible, serait l'action la plus contraire à la nature jamais entreprise par l'humanité.

« Les zones protégées suffisent »

La majorité des parcs nationaux ou réserves nationales ne se prêtent pas à l'application des principes évolutifs de la conservation. La plupart d'entre eux sont trop petits et coupés du milieu environnant. Dans le cas de changements climatiques planétaires, ils agiront comme des pièges à extinction (di Castri, 1991). En outre, ils ne sont pas représentatifs de tous les écosystèmes du monde. En fait, la plus grande partie de la biodiversité existe hors des zones protégées, y compris dans les terres agricoles et les

pacages. En conclusion, la conservation — à l'intérieur ou à l'extérieur des zones protégées — devrait être considérée comme une dimension essentielle de l'aménagement global du territoire.

« Le laissez-faire est la meilleure protection »

La gestion assurée par l'humanité est devenue la condition indispensable de la protection comme de la conservation. Avant tout, l'empreinte évolutive que l'humanité a laissée sur la plupart des écosystèmes signifie que son action est nécessaire à leur régénération et à leur succession ; cela est particulièrement vrai des écosystèmes tels que la steppe et la savane, le maquis et la forêt méditerranéennes, et de nombreux écosystèmes de montagne fondés sur l'aménagement en terrasses des pentes et l'utilisation des herbages. L'absence de gestion peut être à l'origine d'incendies dévastateurs, d'une érosion croissante, et de la disparition de parcours d'herbivores et de leurs prédateurs. Ensuite, il serait tout à fait irréaliste et injustifié de promouvoir les pratiques suivies en matière de conservation sans que les populations humaines concernées y participent ou y soient associées.

« Nous connaissons la valeur économique de la biodiversité »

La valeur économique de certains gènes, espèces et écosystèmes est bien connue — et peut être exprimée en termes monétaires — dans la mesure où ils fournissent la base de l'amélioration des plantes et animaux domestiqués, en tant que matières destinées aux industries chimiques et pharmaceutiques, principaux ingrédients de la biotechnologie et source d'alimentation. Mais nous ne connaissons pas le capital énorme que renferme la réserve génétique de plusieurs millions d'espèces inconnues. Par ailleurs, il est difficile d'évaluer, en termes monétaires, les avantages et les coûts des espèces et écosystèmes jouant un rôle clé dans le cycle des nutriments, dans la protection des bassins versants, dans la prévention de l'érosion du sol, etc. Et pourtant, les décideurs et les industriels ont malheureusement tendance à faire fi de toutes les valeurs qui ne sont pas exprimées en termes monétaires. Une collabora-

tion entre économistes et naturalistes pourrait aider à surmonter cette difficulté.

« La biodiversité est l'ennemie du développement »

Certaines activités de développement, en particulier celles qui ont un rapport avec l'urbanisation et l'industrie, sapent incontestablement les niveaux de la biodiversité. Toutefois, l'importance primordiale que revêt la biodiversité dans de nombreux aspects du développement agricole et industriel, ainsi que dans l'amélioration sanitaire, a été soulignée à plusieurs reprises dans le présent texte. L'humanité a commencé à domestiquer des espèces d'animaux et de plantes aux fins du développement pastoral et agricole, à domestiquer quelques-uns des gènes pour la sélection en vue de l'accroissement de la productivité, à domestiquer des microbes pour des applications médicales et agricoles, et à domestiquer des écosystèmes pour construire des paysages plus conviviaux. Dans un avenir très proche ces processus augmenteront probablement d'une manière quasiment inconcevable, du fait que de nouveaux besoins se font sentir et que des techniques nouvelles sont disponibles. La biotechnologie est déjà un exemple de l'introduction diffuse des éléments de la biodiversité dans presque tous les secteurs productifs. Et la biodiversité, avec ses trois éléments constitutifs, sera notre principal atout lorsqu'il s'agira de reconcevoir et de remodeler d'une manière à la fois pragmatique et harmonieuse le territoire dans lequel nous vivons, au lendemain de l'aménagement irrationnel et perturbateur des récentes décennies. Face aux forces actuelles de la mondialisation, la biodiversité peut aider à l'aménagement du territoire régional en tenant compte à la fois des avantages économiques comparatifs et des bases de l'histoire évolutive.

« Nous ne pouvons pas agir tant que nous n'en savons pas davantage »

Dans une période de très grande imprévisibilité sur les plans économique, géopolitique et social, ce genre de propos devrait être rejeté catégoriquement, et pas seulement en ce qui concerne la biodiversité. Même une information partielle — mais livrée au moment opportun — peut être

Actions internationales pour la biodiversité

La négociation et l'adoption de la Convention sur la diversité biologique ont donné lieu à la mise en œuvre d'un certain nombre d'actions internationales de grande ampleur au cours des deux années écoulées.

En premier lieu, il faut citer l'*Évaluation de la biodiversité mondiale*, volumineux travail entrepris par le Programme des Nations Unies pour l'environnement et financé par le Fonds pour l'environnement mondial, auquel ont pris part plus de 1 100 experts de quelque 80 pays.

Dans un tout autre ordre d'idées, l'UNESCO a organisé à Séville en mars 1995 une importante conférence mondiale sur les Réserves de Biosphère qui a abouti à l'adoption de la « Stratégie de Séville » et d'un cadre statutaire pour le Réseau mondial des Réserves de Biosphère. Ces sites actuellement au nombre de 325 répartis dans 83 pays permettent d'associer la conservation de la diversité biologique avec le développement durable des ressources des écosystèmes au profit des populations concernées tout en servant de support à la recherche, à la surveillance continue et à la formation.

La Conférence de Séville a donné une impulsion nouvelle à la mise en œuvre, dans le cadre du Programme sur l'homme et la biosphère (MAB), de ce concept original permettant de maintenir, d'étudier et d'utiliser la diversité biologique dans les situations les plus variées.

Dans le même temps, l'UNESCO a lancé, conjointement avec le Conseil international des unions scientifiques et ses principales composantes non gouvernementales, un large effort international de recherche sur l'origine, la composition, le fonctionnement et la conservation de la biodiversité appelé DIVERSITAS. Ce programme, dont le secrétariat est financé par la France et hébergé par l'UNESCO et qui est géré par un Comité scientifique de coordination, comporte actuellement les neuf éléments complémentaires suivants : Origines, maintien et érosion de la biodiversité ; Fonctionnement des écosystèmes et biodiversité ; Inventaire, classification et interrelation de la biodiversité ; Évaluation et surveillance continue de la biodiversité ; Conservation, restauration et utilisation durable de la biodiversité ; Les dimensions humaines de la biodiversité ; La biodiversité des sols et des sédiments ; Biodiversité marine ; Biodiversité microbienne.

Par son ampleur, un tel programme de recherche devrait être en mesure de fournir des avis scientifiques et techniques aux gouvernements et aux institutions internationales pour la mise en œuvre d'Action 21 et de différents articles de la Convention sur la diversité biologique. Le Réseau mondial des Réserves de Biosphère offrira des sites privilégiés d'étude pour DIVERSITAS.

très utile aux décideurs, qu'il s'agisse des pouvoirs publics ou du secteur privé. En effet, si l'on peut critiquer la Convention sur la diversité biologique en faisant valoir l'imprécision de son contenu, elle n'en représente pas moins le meilleur commun dénominateur, étant donné les circonstances très difficiles d'affrontement entre le Nord et le Sud et le manque de connaissances à de trop nombreux égards. En conséquence, il est heureux que cette convention existe, en dépit de toutes les controverses et incertitudes ; Sanchez et Juma (1994) ont forgé un nouveau terme, celui de « biodiplomatie », pour décrire le genre de négociations compliquées et inhabituelles dont a fait l'objet l'élaboration d'une convention de cette nature.

GÉRER L'INCONNU

Des actions doivent être entreprises dans le domaine de la biodiversité, que l'on peut définir, dans des termes quelque peu provocants, comme étant notre précieux « inconnu ». Une démarche fondée sur les principes de précaution devrait être adoptée chaque fois que le niveau d'incertitude et d'imprévisibilité est trop élevé, combinée parfois avec une démarche du type « pas de regret » dans laquelle l'action à entreprendre présente d'autres avantages en plus de ceux ayant trait à la biodiversité. Ainsi, la conservation d'un habitat donné entraîne également la protection d'un bassin versant de l'érosion et la régularisation du flux d'eau,

même lorsqu'une action directe visant la biodiversité pourrait ne pas s'imposer d'emblée ; dans la même veine, la conservation d'une zone côtière humide peut contribuer à fournir un habitat à des oiseaux migrateurs, mais est certainement aussi indispensable à la rétention et à la gestion de l'eau ainsi qu'à la prévention de l'érosion côtière et à la stabilisation de la zone littorale.

Réduire l'incertitude par le biais d'une recherche orientée sur la résolution des problèmes devrait être partie intégrante du processus de développement, en particulier dans un cas extrême tel que la biodiversité. Un des paragraphes du préambule de la Convention le reconnaît : « *Conscientes du fait que les renseignements et les connaissances sur la diversité biologique font généralement défaut et qu'il est nécessaire de développer d'urgence les moyens scientifiques, techniques et institutionnels propres à assurer le savoir fondamental nécessaire à la conception des mesures appropriées et à leur mise en œuvre.* »

Le fait que les zones protégées ne peuvent être efficaces que dans la mesure où elles constituent des réseaux régionaux fiables, et qu'elles font partie du processus global d'aménagement d'un territoire — lequel comprend des volets économique, social, culturel et éducatif, en plus des préoccupations environnementales — a été traité plus haut.

Des obstacles insurmontables se dresseraient devant toute discipline, quelle qu'elle soit, qui voudrait, à elle seule, s'attaquer aux problèmes scientifiques de la biodiversité. Il en est de même, sur le plan de la gestion, si l'on veut s'attaquer aux incidences de la conservation des espèces et des écosystèmes — avec le matériel génétique qu'ils renferment — et à leurs projections vers les secteurs industriel et agricole. Aucune discipline à elle seule — ni la génétique pour la diversité génétique, ni la systématique pour la diversité spécifique ou taxonomique, ni l'écologie pour la diversité écologique — ne peut prétendre pouvoir aborder d'une manière globale tous les divers aspects de la biodiversité aux niveaux local et mondial. Si la théorie générale de la biodiversité est fondée, en tant que phénomène central de la vie, sur la théorie hiérarchique des niveaux successifs d'organisation et des propriétés émer-

gentes ultérieures, elle touche à l'universalité du monde biologique sous l'angle tant fondamental qu'appliqué. La biodiversité peut contribuer à cette universalité en jouant un rôle unificateur en raison du caractère interactif et non exclusif de sa démarche.

Francesco di Castri a fait ses études scientifiques à Milan, Montréal, Santiago (Chili) et Padoue. La plupart de ses activités de recherche menées à l'échelle nationale l'ont été au Chili, en France et en Italie. Ses travaux scientifiques internationaux ont été réalisés au premier chef dans le cadre de l'UNESCO et du Conseil international des unions scientifiques (CIUS).

En 1971, le professeur di Castri est entré à l'UNESCO en tant que secrétaire du Programme sur l'homme et la biosphère (MAB) et il a été directeur de la Division des sciences écologiques depuis sa création, en 1974, jusqu'en 1984. De 1990 à 1992, il a été sous-directeur général de l'UNESCO chargé de la coordination des programmes environnementaux et de l'apport de l'UNESCO à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement qui devait se tenir à Rio de Janeiro en juin 1992. Il est lauréat des Nations Unies (Global 500 Roll of Honour, 1992).

Le professeur di Castri a rempli de nombreuses fonctions internationales, y compris celle de président du programme UNESCO/UISB/SCOPE sur la diversité biologique, DIVERSITAS. Il est actuellement directeur de recherche au CNRS (France), conseiller spécial du Directeur général de l'UNESCO et membre du Comité général du CIUS.

BIBLIOGRAPHIE

- Allen, T. et Starr, T. 1982. *Hierarchy. Perspectives for ecological complexity*, Chicago, University of Chicago Press.
- di Castri, F. 1991. Ecosystem evolution and global change, dans O. T. Solbrig et G. Nicolis (dir. publ.), *Perspectives in biological complexity*, p. 189-218, Paris, UISB.
- di Castri, F. et Hadley, M. 1988. Enhancing the credibility of ecology : interacting along and across hierarchical scales, *GeoJournal*, 17 (1), p. 5-35.
- di Castri, F. et Younès, T. 1990. Ecosystem function of biological diversity, *Biology International*, 22, numéro spécial, p. 1-20.
- Frankel, O. H. et Soule, M. 1981. *Conservation and evolution*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Grassle, J. F., Lasserre, P., McIntyre, A. D. et Ray, G. C. 1991. Marine biodiversity and ecosystem function, *Biology International*, 23, numéro spécial, p. 1-19.
- Harper, J. L. et Hawksworth, D. L. 1994. Biodiversity : measurement and estimation, préface, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B. 345, p. 5-12.
- Hawksworth, D. L. (dir. publ.). 1994. Biodiversity : measurement and estimation, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B. 345, p. 1-136.
- Jutro, P. R. 1993. Human influences on ecosystems : dealing with biodiversity, dans M. J. McDonnell et S. T. A. Pickett (dir. publ.), *Humans as components of ecosystems*, p. 246-256, New York, Springer Verlag.
- Nicolis, J. S. 1986. *Dynamics of hierarchical systems. An evolutionary approach*, Berlin, Springer Verlag.
- O'Neill, R. V., DeAngelis, D. L., Waide, J. B. et Allen, T. F. 1986. *A hierarchical concept of ecosystems*, Princeton, Princeton University Press.
- Saithe, S. N. 1985. *Evolving hierarchical systems*, New York, Columbia University Press.
- Solbrig, O. T. (dir. publ.). 1991. *From genes to ecosystems : a research agenda for biodiversity*, Paris, UISB.
- Sánchez, V. et Juma, C. (dir. publ.). 1994. *Biodiplomacy*, Nairobi, ACTS Press.
- ONU. 1992. *Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement*, Rio de Janeiro, 3-14 juin 1992, New York, Organisation des Nations Unies.
- PNUÉ. 1992. *Convention sur la diversité biologique, juin 1992*, Nairobi, Programme des Nations Unies pour l'environnement,
- Vrba, E. S. 1989. What are the biotic hierarchies of integration and linkage ?, dans D. B. Wake et G. Roth (dir. publ.), *Complex organismal functions : integration and evolution in vertebrates*, p. 379-401, Dahlem Konferenzen, John Wiley & Sons.
- Vrba, E. S. et Eldredge, N. 1984. Individuals, hierarchies and processes : towards a more complete evolutionary theory, *Paleobiology*, 10 (2), p. 146-171.
- Wilson, E. O. (dir. publ.), 1988. *Biodiversity*, Washington, D.C., National Academy Press.
- WRI, UICN et PNUE. 1992. *Global biodiversity strategy : guidelines for action to save, study, and use earth's biotic wealth sustainably and equitably*, Baltimore, World Resources Institute Publications.

Biotechnologie et développement

RITA R. COLWELL ET ALBERT SASSON

Le *Webster's Dictionary* définit la biotechnologie, de manière quelque peu simpliste, comme étant la « science biologique appliquée ». Pour sa part, le Gouvernement américain adopte une définition plus complète : la biotechnologie — tant ancienne que nouvelle — comprend « toute technique qui utilise des organismes vivants (ou des parties d'organismes) pour fabriquer ou modifier des produits, pour améliorer les plantes ou les animaux, ou pour mettre au point des micro-organismes à des fins spécifiques » (Congress, 1984). La biotechnologie « nouvelle » a été définie par le Gouvernement américain comme étant « l'utilisation industrielle de l'ADNr, de la fusion cellulaire et de techniques novatrices de traitement biologique » (Congress, 1991). Toutefois, la définition qui, à long terme, peut se révéler la plus parlante, par rapport à l'économie mondiale, est celle de Vivian Moses et du pionnier de la biotechnologie industrielle, Ronald Cape : « faire de l'argent avec la biologie » (Moses et Cape, 1991).

La biotechnologie a déjà été utilisée avec succès pour fabriquer de nouveaux médicaments, améliorer la production agricole et produire des médicaments à partir de métabolites d'organismes marins, et elle abonde en promesses dans d'autres domaines, telle la dépollution. Et pourtant, on n'a fait que commencer à exploiter les caractéristiques des micro-organismes pour améliorer la vie sur la planète, en tenant compte, bien entendu, du rôle que jouent les micro-organismes dans le cycle des nutriments et dans les processus climatiques.

L'application la plus rudimentaire de la biotechnologie — la fermentation, c'est-à-dire l'utilisation de micro-organismes tels que les moisissures et les bactéries pour fabriquer des produits alimentaires — est aussi vieille que la civilisation humaine elle-même. La technologie de la fermentation était connue dans l'Antiquité en Chine, où les produits alimentaires étaient fermentés par des moisissures, et en Égypte, où la fabrication de la bière était combinée avec celle du pain. Le pain, le fromage, le yaourt, le vinaigre, la sauce de soja, le fromage de soja, la bière et le vin ne sont que quelques exemples de produits de la fermentation.

À la fin du XVIII^e siècle, les agriculteurs avaient appris à

pratiquer la rotation des cultures, enrichissant le sol appauvri avec des cultures rétablissant les nutriments. Même avant que la science de la génétique ne fût comprise, on obtenait de nouvelles variétés de cultures et d'animaux par la sélection, de manière à obtenir les qualités désirées. Avec l'avènement du génie génétique, les technologies nouvelles prennent naissance, tirant leur origine des anciennes (Kay, 1993).

LE GÉNIE GÉNÉTIQUE : UN NOUVEAU MONDE

Vingt années après la découverte, en 1953, par Watson et Crick de la structure de la molécule d'ADN, les premiers pas étaient faits sur le chemin conduisant au génie génétique commercial. Stanley Cohen, de l'Université Stanford, Herbert Boyer, de l'École de médecine de l'Université de Californie, à San Francisco, et leurs équipes réussirent à cloner un gène dans un plasmide bactérien, le premier ADN recombinant. En 1980, ils obtinrent un brevet pour cette technique qui produit l'ADN recombinant ou ADNr. La même année, à l'occasion du procès Diamond contre Chakrabarty, la Cour suprême des États-Unis estima que les micro-organismes pouvaient faire l'objet de brevets, ouvrant ainsi des perspectives nouvelles, sur le plan commercial, pour le génie génétique.

La première société américaine engagée dans la biotechnologie, Genentech, a été fondée en 1976. Aujourd'hui, vingt ans après, le nombre de firmes de cette nature dépasse 1 300 rien qu'aux États-Unis. En 1981, le premier produit biotechnologique autorisé aux États-Unis était mis sur le marché : une trousse de diagnostic à base d'anticorps monoclonaux. L'année suivante, le premier médicament à base d'ADNr, Humulin[®] de Genentech (Eli Lilly), insuline humaine recombinante, était autorisé à la vente aux États-Unis et au Royaume-Uni. En 1993, les ventes d'Humulin[®] atteignaient 560 millions de dollars des États-Unis. La même année, le premier vaccin animal recombinant contre la colibacillose était approuvé en Europe. De l'avis de nombreuses personnes, les années 1981-1987 furent les années décisives pour la biotechnologie américaine : 90 sociétés, en moyenne, furent constituées chaque année, le nombre

total de sociétés créées pendant cette période s'élevant à 631. Bien que la plupart des sociétés de biotechnologie ne réalisent pas encore régulièrement de bénéfices, un nombre croissant de produits sont entrés sur le marché (Congress, 1991). En 1993, Neupogen® d'Amgen, facteur humain stimulateur de granulocytes, a réalisé les meilleures ventes des médicaments biotechnologiques américains, représentant une valeur totale de 719 millions de dollars.

En 1994, les sociétés américaines de biotechnologie représentaient un chiffre d'affaires de 41 milliards de dollars ; leurs dépenses de recherche-développement (R-D) atteignaient 7 milliards de dollars et leurs effectifs étaient de 103 000 personnes — cela dans une industrie qui n'existait pas il y a vingt ans. A titre de comparaison, l'industrie pharmaceutique des États-Unis, qui a beaucoup investi dans la biotechnologie, a consacré en 1994 la somme totale de 13,8 milliards de dollars à la R-D.

Du fait de la médiocrité des marchés économiques et de questions politiques aux États-Unis, le nombre de firmes créées a diminué en 1994. En fait, la bio-industrie américaine n'est pas sur son déclin ; peut-être est-elle plutôt en train d'atteindre sa maturité avant d'assumer, au bout du compte, un nouveau rôle dans l'économie mondiale. Au lieu de faire preuve de combativité sur le plan commercial, il se pourrait fort bien que les jeunes compagnies mènent des recherches d'entreprise pour les grandes firmes pharmaceutiques, lesquelles, à leur tour, mettront au point et commercialiseront la production. La structure de la bio-industrie subit une mutation fondamentale. Les petites sociétés fusionnent ; les grandes sociétés, telles les principales firmes pharmaceutiques, absorbent les plus petites entreprises biotechnologiques et, vu la rareté des fonds disponibles pour la croissance des entreprises, les sociétés comptent sur des alliances stratégiques, tant aux États-Unis qu'à l'étranger, pour consolider leurs finances et créer de nouvelles possibilités.

Cette évolution se révélera peut-être avantageuse pour les firmes pharmaceutiques ou biotechnologiques d'Asie qui sont à la recherche de produits, en échange de l'accès au marché asiatique. Toutefois, nombre de pays en deve-

loppement, n'ayant pas de géants pharmaceutiques nationaux, devront chercher ailleurs des modèles à suivre pour leurs propres bio-industries naissantes.

Les États-Unis ne sont pas les seuls pourvoyeurs de croissance de la biotechnologie. En 1993, Ernst et Young ont dénombré 386 sociétés de biotechnologie en Europe (Lucas *et al.*, 1994), la plupart d'entre elles implantées au Royaume-Uni, en Allemagne, en Belgique et aux Pays-Bas. De 1986 à 1992, un total de 530 millions d'ECU (1 ECU ≈ 1,24 dollar) a été investi dans la bio-industrie européenne. KPMG a établi comme suit la liste des principaux acteurs en la matière en Europe occidentale : Belgique, Danemark, France (dont le marché de produits biotechnologiques représentait 115 millions de dollars en 1991, la part des produits importés étant de 29 millions), l'Allemagne, l'Italie (dont le marché de la biotechnologie était estimé à 1,5 milliard de dollars en 1995), les Pays-Bas (dont les ventes de produits et de procédés biotechnologiques ont atteint 220 millions de dollars en 1991), la Suède et le Royaume-Uni (KPMG, 1993). En 1993, 310 sociétés de biotechnologie étaient recensées au Canada, avec des recettes d'une valeur totale de 1,67 milliard de dollars des États-Unis, 61 % du total des ventes étant imputables aux exportations (Going et Winter, 1994). 10 % des exportations canadiennes de biotechnologie vont au Japon ; une autre tranche de 10 % va à la Chine, à l'Inde, à l'Amérique du Sud et aux Caraïbes.

Un petit nombre de sociétés sont éparpillées en Amérique centrale et en Amérique du Sud (principalement au Brésil et au Mexique) et en Asie (Japon exclu). Quelque 200 sociétés de biotechnologie sont implantées en Australie, 40 autres en Nouvelle-Zélande (KPMG, 1993).

A la différence de celle des États-Unis, du Canada, de l'Europe et de l'Australie, la bio-industrie japonaise n'est pas une industrie d'entreprise. La plus grande partie de la R-D japonaise en biotechnologie est menée par les universités, les instituts de recherche, ou en coopération avec les grandes firmes pharmaceutiques, les sociétés de produits alimentaires, les brasseries et les géants de l'électronique du pays (KPMG, 1993). Les dépenses de R-D des dix plus grandes firmes pharmaceutiques japonaises ne

représentent que le cinquième des dépenses de même nature engagées par les sociétés américaines.

Il existe plusieurs segments de marché et domaines de recherche en biotechnologie, les plus importants étant la biomédecine, l'agriculture, la biotechnologie marine et l'environnement.

TECHNOLOGIES BIOMÉDICALES

Aux États-Unis, et à un degré moindre au Canada et en Europe, la bio-industrie est, en gros, focalisée sur le domaine biomédical ; la thérapeutique et le diagnostic représentent 68 % de cette industrie aux États-Unis, ce chiffre étant de 43,7 % pour le Canada et de l'ordre de 43 % pour l'Europe. Aux États-Unis, les ventes de produits thérapeutiques ont augmenté de 1993 à 1994, atteignant un total de près de 20 milliards de dollars.

La biotechnologie médicale comprend principalement des médicaments recombinants et des trousse de diagnostic à base d'enzymes. Mais une partie importante de cette industrie concerne la conception rationnelle des médicaments adaptés à une molécule déterminée, provoquant une réponse susceptible de maîtriser le processus de la maladie. En connaissant davantage la biochimie des fonctions cellulaires, les scientifiques peuvent éventuellement produire des médicaments qui empêcheront la croissance anormale des cellules cancéreuses, ou permettront la détection d'anomalies dans l'ADN à l'origine des transformations cancéreuses, rendant ainsi possible la prévention du cancer. Il s'agit de contourner la réaction immunitaire à son propre tissu qui se produit dans les maladies auto-immunes, telles que la sclérose en plaques et les lupus érythémateux. On espère, en même temps, utiliser de petites molécules pour combattre les maladies neurologiques dégénératives ou pour induire une nouvelle croissance des cellules nerveuses dans des cas tels que la maladie d'Alzheimer, la sclérose latérale amyotrophique, les blessures crâniennes et de la colonne vertébrale, et les accidents cérébrovasculaires ou les attaques d'apoplexie. Quelques médicaments recombinants ont déjà fait leur preuve, notamment l'insuline humaine, l'hormone de

croissance, les interférons, l'activateur du plasminogène des tissus, l'érythropoïétine et d'autres stimulateurs de cellules sanguines. Ainsi, les firmes pharmaceutiques et biotechnologiques nourrissent, à juste titre, de grands espoirs concernant le potentiel économique et médical de la prochaine génération de médicaments.

Parmi les trousse de diagnostic à base d'anticorps les plus utilisées figurent les tests de grossesse qui désormais sont si simples qu'on peut les acheter couramment aux États-Unis et en Europe pour les utiliser chez soi. Les trousse de dépistage du virus de l'immunodéficience humaine (VIH) sont vendues dans le monde entier et sont produites dans de nombreuses régions du monde. Le marché américain des anticorps monoclonaux, dont la plus grande partie est utilisée dans ces tests, était estimé à 1,2 milliard de dollars cette année et à près de 4 milliards d'ici à la fin du siècle. Au fur et à mesure que les tests deviennent plus précis et faciles d'emploi, les fabricants prévoient une plus large application, même en milieu rural, par des techniciens ayant reçu une formation minimale. Ainsi, quelques sociétés ont engagé du personnel pour former des techniciens en Chine et en Amérique du Sud.

Selon toutes les prévisions, les vaccins recombinants devraient contribuer grandement à améliorer la santé de la population mondiale. Le vaccin recombinant contre l'hépatite B est déjà utilisé dans le monde entier. Un vaccin contre le VIH ferait l'objet d'une énorme utilisation. Malheureusement, peu de résultats ont été obtenus, et les perspectives ne sont pas très bonnes, du moins pour l'instant. La recherche sur les vaccins qui seraient utiles aux populations exposées à d'autres souches de VIH que celles qui frappent les États-Unis ou l'Europe occidentale est peu développée. En revanche, les vaccins contre le paludisme, le virus syncytial respiratoire, le rotavirus (qui cause une forte diarrhée souvent mortelle chez les enfants), *Streptococcus pneumoniae* (pneumocoque qui cause la pneumonie bactérienne) et le choléra font l'objet d'une recherche active et auront un effet immédiat sur la santé mondiale (Cohen, 1994). De nouveaux vaccins ou nouvelles combinaisons de vaccins pourraient se traduire par un plus grand nombre

d'enfants vaccinés à travers le monde. Malheureusement, selon une étude récente, le marché des vaccins atteint à peine 3 milliards de dollars, chiffre insignifiant par rapport à celui des ventes mondiales d'un seul nouveau médicament biotechnologique, l'érythropoïétine humaine recombinante (Epogen® d'Amgen).

Les systèmes d'administration des médicaments constituent un important segment de la composante biomédicale de la bio-industrie. Outre l'injection, de nouvelles méthodes d'administration de vaccins — vaporisation nasale, méthodes à retardement ou autres —, voire de médicaments, pourraient révolutionner les soins de santé dans les pays en développement et dans les collectivités déshéritées ou rurales des pays développés.

Parmi d'autres marchés de la biotechnologie médicale beaucoup plus limités et spécialisés figurent notamment des protocoles de traitement, telle la thérapie génique. Celle-ci comprend notamment la « thérapie cellulaire », dans laquelle sont traitées les cellules du patient. Un exemple en est l'autogreffe de la moelle osseuse. Au cours de cette opération, la moelle osseuse du patient est prélevée, débarrassée des cellules cancéreuses, cultivée *in vitro*, puis réinjectée au patient — habituellement un malade atteint d'un cancer à un stade avancé —, celui-ci ayant suivi une thérapie visant à détruire la moelle osseuse restante. Dans la thérapie génique, aujourd'hui mise en œuvre rarement et uniquement à des fins de recherche, on insère un gène normal dans des cellules anormales en utilisant un vecteur, tel qu'un virus. Les techniques de cette nature sont d'un coût exorbitant et, de ce fait, d'une utilisation très limitée. La thérapie génique exige des centres médicaux équipés de technologies de pointe et un niveau élevé de formation chez tout le personnel soignant. De toute évidence, même dans les pays développés, ces traitements ne sont à la portée que de personnes très riches, couvertes par une assurance adéquate ou bénéficiant d'essais cliniques parrainés.

AGRICULTURE

La biotechnologie agricole représente un segment croissant de l'industrie : 8 % aux États-Unis, 20 % en Europe et 2 % au Canada, par exemple. Sur le marché américain de la biotechnologie agricole, les ventes ont accusé une augmentation de 158 % de 1993 à 1994.

Amélioration des cultures

La biotechnologie agricole va sans doute devenir une application prédominante de la biotechnologie dans les pays en développement. La mise au point de plantes transgéniques, la lutte biologique contre les parasites, les techniques de culture des tissus appliquées à l'agriculture, les produits microbiens destinés au contrôle du cycle des nutriments, le diagnostic des maladies végétales et l'établissement des cartes génétiques des cultures tropicales font l'objet d'une attention particulière en Afrique, en Asie, en Amérique centrale, en Amérique du Sud et au Moyen-Orient. Dans les pays développés, l'expression utilisée pour indiquer l'intérêt économique des produits de la biotechnologie agricole est « valeur ajoutée ». Ainsi, aux États-Unis, au Canada, en Europe, au Japon et en Australie, la biotechnologie agricole vise à mettre au point des produits tels que des fruits, des légumes et des céréales qui, du fait de la manipulation génétique, coûteraient plus cher et apporteraient de plus grands bénéfices aux firmes commerciales que le produit hybride normal.

Une meilleure résistance au transport est un facteur important dans les régions où les fruits et légumes doivent parcourir de grandes distances pour atteindre le marché. Parmi les plantes transgéniques, on peut citer, par exemple, la tomate Flavr Savr® de Calgene qui, du fait de l'insertion d'un « gène retardateur », ne produit que de faibles quantités de l'enzyme de maturation, la polygalacturonase. Ainsi, on peut cueillir la tomate avant qu'elle ne soit mûre, puis la laisser mûrir lentement. Étant donné que certains pays développés sont tributaires de pays en développement pour les fruits, en particulier pendant l'hiver et au début du printemps, ces technologies pourraient accroître les possibilités de commercialisation des fruits importés.

L'introduction d'ADN étranger peut aussi améliorer la teneur en protéines de certains aliments, considération importante pour les pays en développement, non seulement pour l'alimentation humaine mais aussi pour l'alimentation animale. Les chercheurs s'attachent par ailleurs à améliorer les qualités nutritives d'amidons et d'huiles alimentaires, ainsi que la lutte contre les parasites par la voie biologique, technique utilisée en Asie depuis plusieurs millénaires. Cette lutte a accompli de grands progrès depuis l'importation, à la fin des années 70, de *Bacillus thuringiensis* de la Chine aux États-Unis. *Bacillus thuringiensis* est non seulement modifié pour être introduit dans de nombreuses plantes, y compris les céréales, mais est aussi fabriqué par des techniques de recombinaison aux fins d'utilisation comme produit à vaporiser. Parmi les autres moyens de lutte biologique contre les parasites figure également l'incorporation de la résistance aux virus dans le génome des plantes. La Chine commercialise une tomate résistant aux virus, et des pommes de terre résistant aux virus font l'objet de tests au Mexique. Au Costa Rica, des chercheurs tentent d'introduire des gènes de résistance aux virus dans le melon crillo. Récemment, un certain nombre de gènes conférant la résistance aux maladies ont été identifiés au sein même de certaines plantes. Ce n'est qu'une question de temps avant que des gènes de cette nature soient introduits dans les espèces non résistantes.

Un domaine important de la biotechnologie agricole sera l'utilisation de gènes marqueurs ou indicateurs dans les espèces transgéniques. Ces gènes sont attachés à des gènes fonctionnels qui sont introduits dans des cellules de plantes ; leur présence indiquera si ces gènes fonctionnent. Récemment, des chercheurs du Département de l'agriculture des États-Unis et de l'Université du Wisconsin ont inséré un gène de protéine fluorescente verte prélevé sur la méduse *Aequorea victoria* dans des cellules de l'oranger. C'est un mariage sans pareil de la biotechnologie agricole et de la biotechnologie marine. C'est aussi un premier exemple d'autres innovations du même genre, plus originales encore, à venir.

L'amélioration des cultures dépend dans une grande mesure de techniques de culture de tissus végétaux et de

techniques de micropropagation des plantes. Dans la culture des tissus, des cellules sont prélevées, modifiées génétiquement pour l'obtention de caractéristiques souhaitables et cultivées dans un milieu nutritif. Des activateurs de croissance hormonale, des nutriments (dont quelques-uns sont produits par la culture des tissus) et d'autres additifs déterminent la viabilité des cellules maintenues en culture. Dans la micropropagation, on peut faire pousser, pour distribution aux agriculteurs, des plants minuscules cultivés à partir de cellules génétiquement identiques ensemencées *in vitro*.

Les produits agricoles ne sont pas nécessairement des produits alimentaires destinés à la consommation. On peut produire à partir d'extraits de plantes ou de déchets végétaux de meilleures matières plastiques et de meilleurs articles biodégradables jetables. Des déchets végétaux, tels que les enveloppes et les tiges de maïs, peuvent être transformés en alcools et autres carburants. Et on peut modifier génétiquement des plantes et des animaux pour produire des médicaments et d'autres molécules biologiquement actives. Ainsi, le programme concernant le tabac du Département de l'agriculture des États-Unis est désormais financé uniquement aux fins de la recherche sur la production de composés bioactifs à partir de plants transgéniques de tabac.

Les plantes, comme les êtres humains, sont sujettes à la maladie, et c'est pourquoi il importe de mettre au point des tests de diagnostic simples à effectuer et utilisables à un stade précoce pour la détection de la maladie.

Un autre domaine important de la biotechnologie agricole est l'utilisation d'engrais biologiques. On peut accroître la production agricole non seulement en manipulant directement les plantes, mais aussi en ajoutant des micro-organismes naturels ou modifiés génétiquement (Mulongoy *et al.*, 1992). Quelques-uns de ces organismes peuvent être cultivés dans des fermenteurs en discontinu, d'autres ont besoin de l'être sur des plantes hôtes.

Élevage

Un des premiers produits de la biotechnologie qui aient été autorisés et mis sur le marché a été un vaccin ADN

contre la colibacillose. L'élevage est donc un des premiers secteurs dans lesquels un produit biotechnologique commercial a été introduit. On peut modifier génétiquement des animaux, tels le porc ou la vache, pour obtenir une meilleure survie dans des habitats marginaux, davantage de viande et une viande de meilleure qualité, voire des molécules recombinantes pour le marché pharmaceutique. Les techniques de fécondation *in vitro* ont été mises au point sur le bétail ; grâce à elles l'éleveur peut obtenir des embryons multiples de vaches et de taurillons possédant les meilleures qualités. Lorsque ces technologies sont utilisées, les vaches porteuses ne sont pas forcément les mères génétiques. La biotechnologie permet non seulement d'obtenir des animaux dont la viande est de meilleure qualité, elle peut aussi améliorer la santé de ces animaux grâce à de nouveaux vaccins et à de nouvelles méthodes de diagnostic. L'amélioration de la santé des animaux peut entraîner une augmentation du commerce de la viande, des produits animaux et des animaux vivants — commerce souvent soumis actuellement à des restrictions du fait de la crainte de la propagation de maladies. Ainsi, le Département de l'agriculture des États-Unis, l'École de médecine de l'Université de Yale et Virogenetics Inc. — firme de biotechnologie spécialisée dans les vaccins — ont produit par génie génétique un vaccin contre l'encéphalite japonaise de la truie, en utilisant le virus *Vaccinia* et le virus de la variole aviaire. Le vaccin fait actuellement l'objet d'essais sur le terrain. Les États-Unis étant préoccupés par l'importation de cette maladie en provenance de l'Asie, le marché auquel est promis ce vaccin peut être important.

Un des produits biotechnologiques ayant suscité la plus vive controverse publique dans ce domaine est l'hormone de croissance mise au point par Monsanto, la somatotrophine bovine. Cette hormone sert à accroître de 10 à 20 % la production de lait chez la vache laitière, mais dans de nombreux milieux on est opposé à son utilisation pour des raisons de sécurité (voir p. 277).

BIOTECHNOLOGIE MARINE

L'océan représente la dernière grande frontière de la découverte de nouveaux matériaux, médicaments et aliments.

La biotechnologie marine, qui ne représente qu'un petit segment de la bio-industrie — aux États-Unis, environ 85 sociétés ou 7 % du nombre total de sociétés de biotechnologie —, a des applications en médecine, en agriculture, dans la science des matériaux, la chimie des produits naturels et la dépollution. La plupart des pays tropicaux du monde étant riverains des océans, ils sont particulièrement bien placés pour pratiquer la biotechnologie marine. La production mondiale d'aquaculture marine en 1991 a été de 14 millions de tonnes de poisson, d'une valeur commerciale de l'ordre de 28 milliards de dollars.

L'aquaculture est la branche de la biotechnologie marine qui se rapproche le plus de l'agriculture, et c'est souvent sous cette rubrique qu'elle est classée. La demande mondiale en aliments marins devrait augmenter, selon les prévisions, de 70 % au cours des trente-cinq prochaines années. Afin de satisfaire cette demande, l'aquaculture mondiale devra multiplier sa production par sept d'ici à l'an 2025. Malheureusement, cette augmentation de la demande vient à un moment où les ressources halieutiques mondiales sont surexploitées et/ou sont frappées d'une « extinction sur le plan commercial ». Selon les prévisions du Département américain de l'agriculture, la biotechnologie va contribuer à l'amélioration de la gestion en captivité et de la reproduction des espèces — ce qui se traduira par des espèces tirant un meilleur parti des approvisionnements alimentaires —, à la production d'organismes plus sains et à l'amélioration de la nourriture et des qualités nutritives des organismes. En outre, l'aquaculture peut produire des organismes utilisés comme modèles biomédicaux dans la recherche, réservoirs pour la production de molécules bioactives et organismes utiles à la dépollution. L'aquaculture n'est plus seulement un moyen de produire des aliments de luxe, tel le homard, mais apporte une solution décisive aux problèmes mondiaux de la pêche.

L'aquaculture des algues, pratiquée de longue date en Asie, produit également des additifs alimentaires, tels que

les acides gras oméga-3 et le bêta-carotène provenant de la culture des microalgues. Les polysaccharides des algues sont une denrée appréciée et un produit naturel très recherché.

La biotechnologie marine a de nombreuses applications autres que la production alimentaire. Les produits marins naturels sont utilisés dans des domaines aussi divers que la biologie moléculaire et la dépollution, ou comme adhésifs et produits pharmaceutiques. Les enzymes isolés des archéobactéries thermophiles, micro-organismes pris à l'origine pour des bactéries, dont quelques-uns vivent dans les cheminées hydrothermales des grands fonds marins, sont indispensables aux spécialistes pour le séquençage de l'ADN. L'agar-agar, utilisé pour la culture des micro-organismes, et l'agarose, utilisé pour fabriquer des gels employés en génétique moléculaire, sont l'un et l'autre des produits dérivés des algues.

La force des adhésifs produits par des organismes marins tels que les moules et les bernacles est reconnue depuis longtemps et, avec l'avènement des techniques biomoléculaires modernes, les scientifiques ont pu étudier et reproduire quelques-uns de ces matériaux.

Quelques-unes des toxines naturelles les plus puissantes que la science connaisse sont produites par les organismes marins. On peut utiliser ces toxines dans des applications de recherche, comme les études sur la jonction neuromusculaire, la cible de leur activité toxique. On peut aussi obtenir à partir d'elles de puissants médicaments antinéoplasiques.

La surveillance continue du milieu marin peut nous donner des indications quant à la dégradation de l'environnement et contribue à l'étude de l'écologie marine, y compris le problème de la pollution du littoral par les pathogènes bactériens.

PROTÉINES D'ORGANISMES UNICELLULAIRES

La production de protéines à partir de micro-organismes, avec leur teneur en nutriments — pour l'alimentation tant animale qu'humaine — remonte à plus de trente ans (Hamdan et Senez, 1992). A l'origine, ces travaux étaient

conduits sur les hydrocarbures comme sources de nutriments pour la culture de micro-organismes. Du fait de l'augmentation du prix du pétrole, cette forme de production a cessé d'être rentable. Pour cette raison, ces recherches n'ont pas sensiblement progressé au cours des deux dernières décennies. Les bactéries et les levures ont été utilisées pour fermenter les produits pétroliers, le méthanol, le méthane, la cellulose de bois, les sous-produits de l'industrie papetière, la mélasse, le petit-lait et d'autres sous-produits de la fermentation industrielle. Toutefois, une efficacité accrue sera nécessaire avant que ces procédés ne deviennent économiquement viables.

BIOTECHNOLOGIE ENVIRONNEMENTALE

Le nettoyage par des moyens biologiques des milieux pollués représente un important marché en biotechnologie dont le potentiel n'a été reconnu que récemment. Aux États-Unis, les ventes de produits ont augmenté de 81 % pendant l'année écoulée, atteignant un total de 69,9 milliards de dollars dans les secteurs de la chimie, de l'environnement et des services. La législation fédérale des États-Unis exigeant le nettoyage des sites de déchets toxiques, des zones d'extraction minière à ciel ouvert, des bassins versants et d'autres lieux pollués, le marché de la dépollution par voie biologique est en pleine expansion, devant atteindre le chiffre annuel de 500 millions de dollars d'ici à l'an 2000, selon un rapport récent du National Research Council des États-Unis (NRC, 1993). D'après une estimation moins prudente, un total de 1 700 milliards de dollars sera dépensé aux États-Unis au cours des trente prochaines années pour le nettoyage des sites de déchets présentant des risques (Gibson et Saylor, 1992). Ce marché ne comprend même pas les sites connus de contamination se trouvant dans les pays de l'ex-URSS. Toutefois, les pays occidentaux ont offert — mais n'ont pas encore payé — près de un milliard de dollars pour le nettoyage de ces zones. De toute évidence, un bon pourcentage de ces sites fera l'objet d'une dépollution par voie biologique. En 1993, 10 % des sociétés canadiennes de biotechnologie poursuivaient leur activité dans le domaine environ-

nemental, notamment la gestion des déchets, la biomasse, la dépollution et le recyclage et la réutilisation des matériaux. En Europe, malheureusement, il y a trop peu de firmes engagées dans la biotechnologie environnementale pour que l'on puisse procéder à une évaluation statistiquement valable.

Dans la dépollution par voie biologique, on utilise à la fois des organismes naturels et des organismes génétiquement modifiés, en particulier des micro-organismes. La pratique actuelle consiste à modifier le milieu des micro-organismes naturels pour les faire agir de manière plus efficace — « bioaugmentation » qui, en général, suppose une adjonction de nutriments, les plus couramment utilisés étant l'azote et le phosphore, ainsi que la maîtrise du contact entre l'oxygène et l'eau (Atlas, 1993). C'est grâce à cette technologie que l'on remédie actuellement à la contamination causée par les nappes d'hydrocarbures. Toutefois, d'autres contaminants sont plus récalcitrants. On peut enlever quelques-uns des composés aromatiques, les biphényles polychlorés et d'autres substances, en utilisant des micro-organismes génétiquement modifiés pour provoquer la dégradation de la substance cible, ou pour intervenir dans un type déterminé d'environnement. Par exemple, le champignon de la rouille blanche *Phanerochaete chrysosporium* peut dégrader les biphényles polychlorés, le DDT, le cyanure, le TNT et d'autres polluants toxiques du sol. On peut aussi utiliser pour la dépollution des composants cellulaires, tels les enzymes et surfactants biologiques.

Le nettoyage de la pollution causée par la nappe d'hydrocarbures répandue par l'*Exxon Valdez* a fourni une précieuse étude de cas de dépollution par voie biologique. L'épandage d'engrais oléophiles s'est traduit par une amélioration de la biodégradation grâce à l'enrichissement des micro-organismes qui dégradent les hydrocarbures, bien qu'il reste encore quelques questions quant à l'efficacité de cette technique. D'autres engrais ont été également utilisés, en même temps que l'enrichissement de nutriments et l'adjonction de micro-organismes. Le procédé a été de toute évidence efficace. Toutefois, il reste à prouver que l'adjonction de micro-organismes est utile.

De nombreuses méthodes biologiques ont été proposées pour le traitement des sites contaminés. Le compostage, par exemple, bien connu des jardiniers, dans lequel les bactéries et les champignons décomposent la matière organique, peut être utilisé pour traiter les sols pollués à l'oxygène. Le compostage a servi à nettoyer les déchets d'hydrocarbures sur les littoraux pollués et le sol contaminé par le TNT. Certaines techniques peuvent être utilisées *in situ*, là où il y a une contamination. Dans ce cas, on injecte l'oxygène et les nutriments en utilisant un matériel spécial. Un matériel de surveillance peut être amené sur place afin d'établir l'efficacité de la dégradation et la contrôler.

On peut enlever les métaux lourds des sols contaminés en utilisant des plantes qui absorbent les métaux et les concentrent : c'est la « phytodépollution ». On peut ensuite brûler les plantes, à la fois pour recycler les métaux en produisant des minerais et pour produire de l'électricité. Les chercheurs étudient actuellement la production de plantes transgéniques ayant une capacité accrue d'absorber des métaux.

La dépollution *ex situ* est faite dans un bioréacteur ou un système de filtration, parfois dans une usine de traitement ou autre installation, mais pas nécessairement sur les lieux.

Une combinaison intéressante de la dépollution *in situ* et de la dépollution *ex situ* est l'utilisation de Sea Sweep[®], absorbant qui est une matière traitée faite de copeaux de bois. Il absorbe les hydrocarbures répandus et est utilisé pour nettoyer les nappes d'hydrocarbures. Après usage, la matière est ramassée et soumise à une dégradation par compostage.

On a constaté que la paille de soja et de riz, le son et la pulpe de betterave à sucre liaient les métaux et d'autres déchets industriels. Ils peuvent se révéler utiles dans la dépollution.

Le traitement des déchets peut prendre la forme d'un traitement de déchets solides ou semi-solides, de déchets liquides, d'eaux usées et de déchets industriels et agricoles. Il existe de nombreuses méthodes, y compris les bioréacteurs et la biofiltration. Parmi les méthodes de traitement

des déchets, le traitement biologique des eaux usées est couramment utilisé et donne de bons résultats, exemple de nettoyage de l'environnement qui contribue à améliorer la santé publique. L'étape suivante, à laquelle toutes les villes du monde doivent faire face, est celle des boues résiduelles et des déchets solides (ordures). Que faut-il en faire ? Dans certaines collectivités, les boues sont vendues pour être transformées en engrais.

Le traitement de l'eau ne comprend pas seulement le traitement des eaux usées mais aussi le traitement de masses naturelles d'eaux polluées. Le traitement *in situ* consiste à utiliser des micro-organismes et des bioréacteurs localisés. Le traitement *ex situ* peut consister en une usine de traitement des eaux usées. On s'attache actuellement à modifier des micro-organismes aux fins d'utilisation dans le traitement des eaux usées et à mettre au point de nouvelles méthodes pour obtenir une meilleure interaction entre les micro-organismes et la biomasse. Une des techniques utilisées est l'immobilisation des micro-organismes. Le traitement anaérobie des eaux usées faisant appel à des bactéries méthanogènes produisant du méthane comme sous-produit peut être particulièrement utile lorsqu'on a besoin d'un approvisionnement en énergie d'un coût acceptable.

Le marché des trousseaux de tests environnementaux est en expansion, car les trousseaux devenant plus petites et plus faciles à utiliser on dispose désormais d'un matériel portable, tels les chromatographes à ions. C'est ainsi que l'on peut procéder à la surveillance continue de l'environnement en utilisant des capteurs. Une ville de la République tchèque, par exemple, a installé des capteurs branchés sur un panneau lumineux affichant en permanence les niveaux relevés de polluants de l'air.

Un autre aspect de la biotechnologie environnementale est l'amélioration de la qualité de l'air et la prévention de l'accumulation de dioxyde de carbone, d'une part, et de l'appauvrissement de la couche d'ozone, de l'autre, du fait du rejet de polluants dans l'atmosphère. La société de biologie environnementale Envirogen étudie des organismes destinés à la dépollution par voie biologique de l'air contaminé par des hydrocarbures halogénés.

L'extraction minière

L'extraction de minerais a causé une dégradation massive de l'environnement dans de nombreuses régions du monde. Les cours d'eau du Brésil sont pollués par le mercure du fait de l'extraction de l'or. Dans le nord de la Russie, à l'intérieur du cercle arctique et près de la frontière russo-finlandaise, une superficie d'au moins 2 000 km² de forêts a été détruite par les sous-produits sulfureux provenant de l'extraction du nickel. L'utilisation de micro-organismes génétiquement modifiés ou naturels pour exploiter les minerais va vraisemblablement réduire ou éliminer ce type de pollution sur les sites miniers. On utilise aussi ces micro-organismes pour le nettoyage des régions qui, sur le plan de l'environnement, ont subi les effets de l'extraction minière.

La sylviculture et le rôle des forêts

Les forêts du monde sont détruites à une cadence d'une rapidité effrayante, la plus rapide de l'histoire. Les forêts tropicales matures, qui, selon les estimations, couvraient de 15 à 16 millions de km² de la surface terrestre, ont vu leur superficie diminuer de moitié, et les zones terrestres couvertes de forêts continuent à se rétrécir. Le Canada est l'un des pays qui viennent en tête pour l'utilisation de la biotechnologie par les services forestiers ; ce qui lui a rapporté 25 milliards de dollars des États-Unis en 1992. Bien que la plus grande partie de ces recettes provienne de l'industrie du papier et de la pulpe de papier, l'épuration des effluents par des moyens biologiques et l'utilisation de bactéries dans la fabrication du papier pour réduire le volume d'effluents toxiques et améliorer la qualité du papier constituent d'importants buts de recherche. Les scientifiques canadiens mènent des recherches sur la production d'arbres par le biais de la culture des tissus à titre de contribution à la reforestation. Des chercheurs en Europe, au Canada et aux États-Unis ont constaté que l'on pouvait, à l'aide de mycoherbicides, maîtriser l'invasion des forêts par les mauvaises herbes qui risquent de détruire leur couvert végétal indigène ou d'empêcher la croissance des jeunes arbres.

Une quantité accrue de CO₂ a un effet important sur les forêts du monde, étant donné qu'elles recèlent 90 % de la quantité totale de carbone que contient la végétation terrestre. Une quantité accrue de carbone atmosphérique se traduit par une croissance accrue des forêts tempérées et boréales. Dans ces conditions, on a fait valoir que, pour réduire la quantité de carbone atmosphérique, il fallait réduire l'utilisation de combustibles fossiles et utiliser plutôt des combustibles à base de biomasse émettant peu de CO₂ ou n'en émettant guère et, en même temps, planter massivement des arbres en gérant ces plantations. Contrairement à cette dernière solution, la première est réalisable et la production d'énergie à base de biomasse s'avère une méthode particulièrement attrayante pour les pays en développement. Des études visant à déterminer les effets d'une quantité accrue de CO₂ sont en cours, et les chercheurs étudient les micro-organismes en rapport avec les arbres des forêts afin de concevoir des méthodes nouvelles pour modifier la répartition du carbone. L'Electric Power Research Institute analyse l'utilisation de plantes halophiles pour fixer le CO₂. Ces plantes ont, en plus, d'autres particularités : elles peuvent être utilisées comme biocombustibles et dans le traitement des eaux usées toxiques.

AUTRES DOMAINES

On n'accorde pas encore suffisamment d'attention à la production d'énergie à partir de déchets biologiques dans les pays développés. Mais ce procédé se révélera important à l'avenir, pour les pays en développement d'abord et, ensuite, pour les pays qui ne peuvent plus se payer le luxe d'être tributaires des produits pétroliers (Ratledge, 1992).

On peut produire du méthane à une échelle locale ou industrielle en utilisant des digesteurs. Pour la production d'éthanol par fermentation, on peut utiliser une variété de sucres hexoses, mais les sources principales sont la canne à sucre, le maïs, le bois, le manioc, le sorgho, le topinambour et les céréales. On peut aussi utiliser le petit-lait. Les processus de bioconversion donnent des sous-produits tels que les protéines d'organismes unicellulaires et des enzymes pour la biocatalyse.

A la pointe de la recherche biotechnologique — pour l'instant insuffisamment développés pour se manifester sur le marché — se situent les biocapteurs, la bioélectronique, les biomatériaux et la bio-informatique (utilisation de biomolécules dans le matériel électronique) et la mise au point de machines moléculaires ou de molécules sous-microscopiques, dont quelques-unes sont d'origine biologique, pour remplir des fonctions mécaniques et énergétiques spécifiques dans l'organisme humain. Les biocapteurs ont des applications en médecine, en particulier dans le diagnostic et la thérapeutique ; dans le contrôle des processus, où on pourrait les utiliser pour déterminer les changements de pH, la conductivité, la concentration moléculaire ou d'autres phénomènes mesurables ; dans la dépollution, les organismes bioluminescents pouvant fonctionner comme indicateurs et capteurs environnementaux. A des fins militaires, les biocapteurs pourraient être connectés à des biocoupleurs pour transmettre un événement décelé, par l'intermédiaire d'une biopuce, à un système informatique. On pourrait aussi les utiliser pour la surveillance de l'environnement, la surveillance du terrain, ou pour le suivi du personnel. On pourrait aussi les utiliser pour déceler les agents de la guerre chimique et biologique.

Les biomatériaux peuvent être d'une importance particulière pour les militaires, car on peut les utiliser comme vêtement de protection contre les agressions chimiques et biologiques, ou en tant que matériaux médicaux, comme os artificiel ou autres tissus. On peut aussi les utiliser eux-mêmes comme agents de guerre, provoquant des pannes de moteur dans les véhicules ennemis.

Selon les prévisions, les nanomachines produites à partir de molécules biologiques seront utilisées comme biocapteurs dans les processus de fabrication à cette échelle, voire en tant que méthode d'administration des médicaments.

La bio-informatique fera appel aux matériaux et réactions biologiques dans les puces d'ordinateur. La bio-informatique — mise au point des systèmes d'information sur la biologie — représente un effort mondial auquel tous les pays, quel que soit leur stade de développement, peuvent participer.

LA BIOTECHNOLOGIE ET LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT

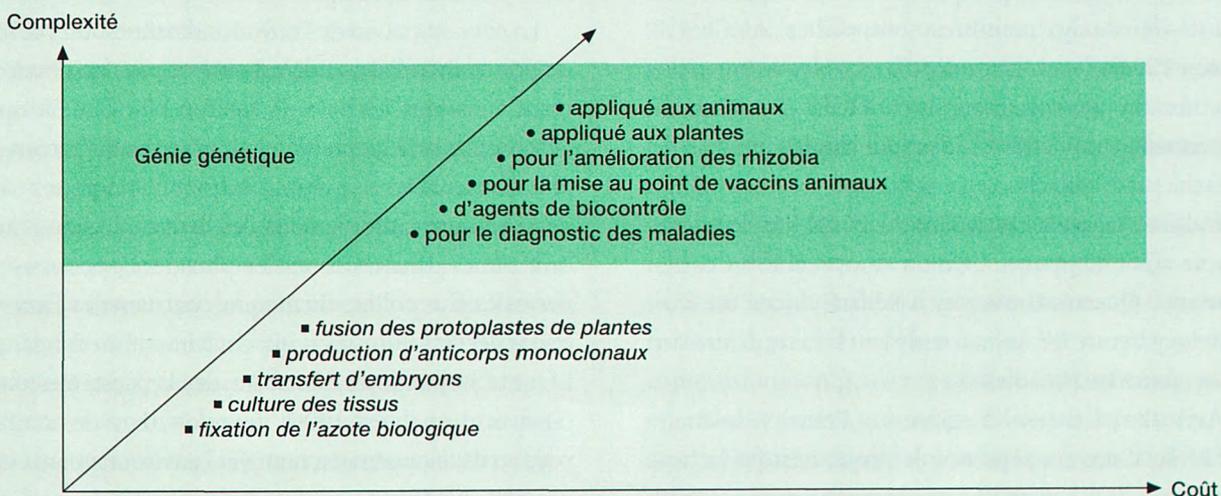
Les divers domaines de la biotechnologie peuvent être répartis sur un gradient de complexité et de coût (figure 1) (Sasson, 1993). Il n'y a aucun doute sur le fait que les pays en développement doivent progresser sur ce gradient : les pouvoirs publics et les scientifiques de tous les pays, même des moins avancés, reconnaissent l'importance que revêt ce domaine pour leur bien-être et leur prospérité futurs.

La plupart des pays en développement ne sont pas encore directement engagés dans la biotechnologie moderne, mais ils sont nombreux à souhaiter mener une politique nationale et un programme national de recherche en la matière, ainsi qu'une coopération étroite au niveau international aussi rapidement que possible avec les secteurs tant public que privé. Toutefois, dans la pratique, chaque pays déterminera ce qui est le plus avantageux pour lui, à l'intérieur de son propre cadre social, culturel et économique. Ainsi, l'Inde, pays ayant un budget impor-

tant affecté à la recherche, et de nombreux chercheurs et techniciens, ne peut adopter la même stratégie qu'un pays africain de la zone Sahel-Soudan (Sasson et Costarini, 1991).

De nombreux pays en développement sont agricoles ; ils comptent sur leur propre agriculture pour nourrir leur population. En conséquence, le principal axe biotechnologique sera vraisemblablement l'amélioration de l'agriculture. L'amélioration des cultures vivrières — qui seront de meilleures sources de nutriments, auront un meilleur rendement, supporteront mieux les conditions extrêmes et seront résistantes à la maladie — aura vraisemblablement des effets importants sur les régions du monde tributaires de ces cultures, en particulier les pays les moins développés. Des méthodes simples utilisées pour améliorer la croissance des plantes, telle l'administration de bioengrais aux récoltes, offrent un exemple de moyens nécessitant peu en matière de technologie et qu'il serait facile de mettre en œuvre. La lutte biologique contre les parasites animaux et végétaux des cultures, en particulier au moyen de pulvé-

FIGURE 1
LE GRADIENT BIOTECHNOLOGIQUE



Source : Sasson, 1993.

risations de produits de dissuasion constitués d'organismes génétiquement modifiés contenant des gènes pour la production de pesticides naturels à base de plantes, de bactéries ou de champignons, utilise une technique — la pulvérisation — familière aux agriculteurs. De même, des animaux résistant à la maladie, pouvant survivre à des conditions extrêmes et tirant un meilleur parti de leur alimentation pourraient aussi avoir un effet important sur l'agriculture mondiale. La formation aux techniques de culture des tissus et de micropropagation peut contribuer à la création ou au développement d'une industrie implantée localement.

Dans le Tiers Monde, la biotechnologie commerciale est quasi inexistante, mais, grâce à la coopération internationale et régionale, même les pays les moins avancés sur les plans technologique et scientifique peuvent récolter quelques avantages des progrès de la biotechnologie agricole et participer à la « révolution biotechnologique ».

L'appui apporté par les gouvernements et les ONG a débouché sur la création de divers centres de biotechnologie ; le Centre international pour le génie génétique et la biotechnologie (CIGGB), par exemple, créé sous l'impulsion de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) mais soutenu désormais par l'Italie et l'Inde, possède deux laboratoires, l'un à Trieste, l'autre à New Delhi. Des groupes de recherche appartenant à trente-deux pays membres sont affiliés au CIGGB (*Science*, 1994).

De nombreuses organisations nationales et internationales entretiennent à travers le monde des laboratoires de recherche sur la biotechnologie portant au premier chef sur l'agriculture. Tel est le cas de l'International Rice Research Institute aux Philippines. L'Union européenne, en partenariat avec Queen's University à Belfast, a créé un Biotechnology Centre for Animal and Plant Health, centré sur la lutte contre les maladies.

L'Agricultural Genetic Engineering Research Institute (AGER) au Caire coopère avec le projet relatif à la biotechnologie agricole pour une productivité durable (ABSP) de l'Université du Michigan avec le soutien de l'Agency for International Development des États-Unis. Le réseau afri-

cain de centres de ressources microbiennes (MIRCEN) créé par l'UNESCO, bien qu'il ne soit pas un groupe de recherche proprement dit, est organisé en tant que réseau d'appui des projets de recherche dans plusieurs domaines — microbiologie des sols, biotechnologie, gestion des ressources naturelles, production et protection des végétaux, technologie de l'alimentation et de la nutrition — exécutés dans les organismes de recherche et universités à travers toute l'Afrique au sud du Sahara (Da Silva, 1993).

Les produits de la biotechnologie médicale présentant un intérêt immédiat pour les pays en développement sont les vaccins préparés contre les principaux fléaux qui frappent le monde moins développé — paludisme, hépatite, dengue, VIH et tuberculose —, les diagnostics des maladies endémiques et des maladies très infectieuses et les médicaments pour les traiter, et les médicaments et technologies ayant la gamme la plus étendue d'applicabilité pour améliorer la santé de la population. Bien que les médicaments spécialisés ne soient pas pour l'instant des denrées courantes sur le marché des pays en développement, certaines firmes de biotechnologie sont néanmoins optimistes. Ainsi, Neupogen[®] d'Amgen, utilisé pour traiter les neutropénies associées à la chimiothérapie du cancer ou à la transplantation de la moelle osseuse — l'une et l'autre thérapie étant d'un coût exorbitant — est actuellement diffusé en Chine.

La contamination de l'environnement est un problème de portée mondiale, et de nombreux pays en développement, ainsi que les pays de l'ancien bloc de l'Europe de l'Est, ont de sérieux problèmes environnementaux se prêtant particulièrement aux solutions biologiques. Ainsi, selon certaines informations, les fleuves d'Asie — même ceux situés dans les zones les plus développées — sont parmi les plus pollués du monde, charriant des eaux usées et des déchets industriels qui constituent un danger pour la santé humaine et menacent des écosystèmes entiers (Lean et Hinrichsen, 1994). Toutefois, dans de nombreux pays en développement, nettoyer l'environnement est une priorité plus faible que nourrir la population et protéger sa santé.

ADOPTION DES BIOTECHNOLOGIES NOUVELLES : OBSTACLES

Les obstacles à l'adoption universelle des projets et des produits de la biotechnologie sont d'ordre culturel, éducatif, économique, administratif et infrastructurel. Si, par exemple, on se heurte à des difficultés dans la livraison des produits agricoles au marché, aucun changement apporté à la qualité de ces produits ne permettra de surmonter les problèmes d'infrastructure. Il n'y a aucune raison d'introduire des pommes génétiquement modifiées, qui supportent mieux le transport, dans une région où les pommes pourrissent sur les arbres parce qu'on ne peut pas les expédier au marché. Introduire une trousse à essais compliquée, destinée à une utilisation clinique par un personnel ayant reçu une formation minimale, n'apportera pas les avantages escomptés sur le plan de la santé publique.

Lorsqu'on introduit des cultures nouvelles, il est nécessaire de pouvoir distribuer les premières semences et expliquer aux agriculteurs la meilleure manière de les planter et de les faire pousser. De même, pour vacciner la population contre une maladie, il faut une infrastructure qui permette au vaccin de parvenir aux personnes qui en ont besoin.

Questions de sécurité et d'éthique

La somatotrophine bovine de Monsanto, produit conçu pour accroître le rendement des vaches laitières, a reçu récemment l'autorisation de la Food and Drug Administration des États-Unis (FDA), mais une campagne a été menée visant à en faire interdire l'usage, et cette campagne a commencé longtemps avant l'autorisation du produit. On a exprimé la crainte que les personnes buvant du lait des vaches traitées à la somatotrophine ne soient affectées par l'hormone. On a également fait valoir que ces vaches risquent plus vraisemblablement de souffrir d'une mammite infectieuse, ce qui exigerait un traitement aux antibiotiques, lesquels passeraient dans le lait. La FDA et d'autres ont conclu que le produit était sans danger ; aux États-Unis, sur un cheptel de 9,5 millions de vaches laitières, plus

de 800 000 ont ainsi été traitées. Cela a eu des répercussions économiques : la production de lait a augmenté et les prix ont baissé.

On a exprimé la crainte que des plantes génétiquement transformées ne puissent devenir des mauvaises herbes ou transférer les gènes introduits aux plantes indigènes, lesquelles, à leur tour, pourraient devenir des mauvaises herbes. On s'inquiète par ailleurs qu'une plante génétiquement modifiée ne risque de devenir elle-même un parasite. Autres craintes exprimées : que les plantes génétiquement modifiées pour être plus résistantes aux virus ne fassent apparaître de nouveaux pathogènes viraux de nature à affecter d'autres cultures ; que les plantes génétiquement modifiées pour produire des toxines ne provoquent, sans qu'on le veuille délibérément, la maladie et/ou la mort chez les animaux qui s'en alimenteraient ; que les plantes génétiquement modifiées ne soient plus vivaces que les espèces sauvages, modifiant les habitats et affectant d'autres espèces à l'intérieur de ces habitats.

De nombreux essais sur le terrain ont été effectués à travers le monde et, depuis 1987, des essais sur le terrain de plus de 860 plantes transgéniques ont été autorisés aux États-Unis ; au moins 250 essais ont été autorisés en Europe depuis 1991. Une réglementation et des protocoles de sécurité peuvent être établis avec l'aide d'organisations internationales de contrôle ou sous forme d'accords, ou par le biais de lois nationales ou locales. Le Code de conduite volontaire pour le rejet d'organismes dans l'environnement élaboré par l'ONUDI a été conçu comme document de base à partir duquel un code plus spécifique pourrait être établi. Les gouvernements qui ne disposent pas des compétences requises dans le pays même peuvent solliciter l'avis de l'Institut de l'environnement, dont le siège se trouve à Stockholm et qui est cofinancé par le Gouvernement suédois et la Fondation Rockefeller. La création d'une commission non gouvernementale internationale sur les organismes génétiquement modifiés serait peut-être utile aux pays ayant besoin d'une aide pour formuler des réglementations et évaluer les projets qu'ils voudraient mettre en œuvre sur le plan national.

D'autres questions relatives à la sécurité et à l'efficacité

sont liées aux nouvelles technologies médicales. Les prescriptions applicables aux essais cliniques sont plus complexes dans certains pays que dans d'autres, et le délai requis pour l'examen d'un médicament peut être plus court dans certains pays, permettant à celui-ci d'être mis sur le marché en Europe, par exemple, plus tôt qu'aux États-Unis. Cela n'est pas en soi un problème, mais peut le devenir si un médicament ou un vaccin n'est pas disponible à l'endroit où son besoin se fait le plus sentir. Ainsi, lors de l'épidémie de peste bubonique et pneumonique qui a frappé l'Inde en 1994, l'obtention du vaccin a constitué un problème important. Un vaccin efficace contre cette maladie avait été fabriqué aux États-Unis par Cutter Laboratories, mais en 1992 Cutter avait vendu les droits sur ce vaccin à une autre société. La réglementation de la FDA exigeait que le vaccin soit considéré comme un nouveau produit et soumis à des essais. De ce fait, il était indisponible au moment où l'on en avait besoin d'urgence. La coopération internationale et une certaine prévoyance de la part des gouvernements auraient dû pouvoir résoudre ce problème avant qu'il devienne urgent.

Les sociétés peuvent préférer soumettre un produit à des essais dans un pays où il y a moins de contrôle. Par exemple, les National Institutes of Health des États-Unis, craignant qu'il ne soit pas efficace, retardent les essais d'un vaccin anti-VIH. Aussi les fabricants envisagent-ils de le soumettre à des essais en Thaïlande.

Éducation et acceptation par le public

L'acceptation par le public des produits de la biotechnologie et des organismes génétiquement modifiés constitue un problème auquel il faut répondre à l'échelle mondiale. A moins que le public ne comprenne et l'intérêt des progrès de la biotechnologie et leur nécessité, ce problème ne pourra que persister.

Ainsi, aux États-Unis, quelques grands cuisiniers se sont ligués pour boycotter certains produits manipulés. La Consumers Union, organisation influente, est opposée à l'utilisation de certains produits modifiés et l'Union européenne a interdit l'utilisation de la somatotrophine bovine. Et pourtant, aux États-Unis, la plupart des gens ignorent

que l'on fabrique certains fromages en utilisant la rénine recombinante et il n'y a pas eu de levée de boucliers contre l'utilisation de ce produit.

L'éducation du public devrait dissiper quelques-unes de ces craintes, aussi la biotechnologie devrait-elle s'en soucier autant que de l'introduction des produits et des procédés. Les agriculteurs ont eux aussi besoin d'une information factuelle les aidant dans leurs décisions relatives aux organismes génétiquement modifiés et aux autres produits de la biotechnologie.

Manque de capitaux

Les pays en développement ont besoin des technologies nouvelles, mais ces technologies, ensuite pourvoyeuses de capitaux, demandent des investissements au départ. Les technologies nouvelles doivent fonctionner comme moyens de créer de la richesse pour ces pays (Ratledge, 1992). Les produits pouvant non seulement être utilisés à l'intérieur du pays mais également être vendus sur le marché régional ou mondial concourraient à cette fin. Toutefois, des droits de douane à caractère protectionniste peuvent susciter des tentatives visant à trouver des substituts pour les produits importés des pays en développement, le sucre de canne par exemple (Barker, 1992). Un édulcorant riche en fructose, produit de la fermentation du maïs, représente 50 % du marché des édulcorants des États-Unis, lequel était naguère fortement tributaire de l'importation de sucre de pays en développement. En outre, des produits de substitution pour d'autres produits tropicaux peuvent devenir disponibles dans une atmosphère commerciale caractérisée par la discrimination à l'égard des importations en provenance des pays en développement. Selon la Rural Advancement Foundation International, les États-Unis sont le plus gros importateur du monde de pyrèthre, insecticide naturel fait de capitules desséchés du chrysanthème, *Chrysanthemum cinerariæfolium*. Le Kenya est le plus gros producteur au monde de pyrèthre, d'autres sources étant la Tanzanie, l'Équateur, le Rwanda et la Tasmanie (Australie). Si une société américaine venait à produire une poudre de pyrèthre par génie génétique, le commerce de cette matière — provenant en grande partie de

la micropropagation de la plante —, qui rapporte chaque année au Kenya 75 millions de dollars, risquerait d'être anéanti.

Les pays en développement ne disposent pas de capitaux pour s'engager dans une R-D biotechnologique avancée. Ils ont parfois le personnel nécessaire — une partie ayant éventuellement reçu une bonne formation. Mais le matériel, les réactifs et le contrôle des processus, très coûteux, sont au-delà de leurs moyens économiques. C'est pourquoi d'aucuns ont fait valoir qu'il serait peut-être préférable que les organismes destinés à être utilisés dans les pays en développement fassent l'objet de recherches menées dans des pays plus riches ; les pays en développement devraient, en revanche, avoir la possibilité de tirer parti de ces organismes en les cultivant ou en les conservant, c'est-à-dire en les fabriquant eux-mêmes sur place. Des pays tels que la Chine ou l'Inde, et quelques laboratoires de recherche financés dans d'autres régions de l'Asie et en Afrique, ont le personnel spécialisé voulu et, dans certains cas, le matériel nécessaire. Ces groupes de recherche, avec une aide complémentaire éventuelle en matériel et en fournitures, devraient pouvoir mener les recherches nécessaires en biologie moléculaire pour produire des organismes génétiquement modifiés ou des produits apparentés.

A l'exception des compétences traditionnelles, comme celles requises pour planter les semences, l'utilisation de la plupart des technologies nouvelles nécessitera une amélioration des compétences locales et une vaste campagne d'éducation du public en la matière. En conséquence, l'introduction de produits de haute technologie à valeur ajoutée doit comprendre des programmes éducatifs.

Transfert de technologies

La question du transfert de technologies dans le domaine de la biotechnologie — non seulement celles des pays technologiquement avancés, mais aussi les savoirs intrinsèques que détiennent les populations locales ou des individus — mérite d'être examinée. Dans les milieux industriels de la chimie et de la biotechnologie, on exprime la crainte, souvent fondée, que les produits brevetés ne soient pas pro-

tégés dans les pays en développement (Barker, 1992). D'aucuns pensent que les accords internationaux, tel le GATT, contribuent à dissiper ces craintes. D'autres perçoivent le GATT comme imposant des systèmes qui avantagent les pays du Nord au détriment des populations des pays du Sud. Dans le même temps, dans les pays en développement, les personnes partageant leur connaissance de la médecine indigène avec les chercheurs et sociétés qui fabriquent ensuite sur cette base des médicaments estiment qu'elles devraient être rétribuées pour leurs informations, dans certains cas avec un brevet. Malheureusement, un récent examen des lois relatives aux brevets a établi l'impossibilité de protéger ces informations par des brevets. On a fait valoir par ailleurs que les plantes indigènes sans équivalent devraient faire l'objet de brevets ; or, les organismes naturels qui ne sont pas les produits d'un programme d'élevage ou d'une quelconque manipulation génétique scientifique ne peuvent pas actuellement être brevetés (The Crucible Group, 1994). Toutefois, ces plantes peuvent, à tout le moins, prétendre à la protection de la Convention sur le commerce international d'espèces de faune et de flore au titre des nouvelles catégories proposées par l'Union mondiale pour la nature (Mace et Stuart, 1993-1994). Bien que ne conférant aucun droit économique, cela donne aux pays d'origine un certain degré de contrôle sur ceux qui se procurent les plantes, l'endroit où elles sont expédiées et l'utilisation qui en est faite.

On a fait valoir qu'un changement radical s'imposait quant au concept de propriété intellectuelle, et qu'il fallait donner du prix aux savoirs transmis culturellement, au même titre qu'aux découvertes (Vogel, 1994) ; mais il est peu vraisemblable que cela se fasse dans un avenir proche. C'est pourquoi nous devons travailler dans les limites des contraintes juridiques actuelles.

Les pays tropicaux riches en ressources génétiques

Les pays tropicaux ont des biotes d'une grande richesse. Leurs plantes et leurs organismes marins sont des sources particulièrement précieuses de métabolites et de produits naturels médicalement actifs. Certains composés, bien que

leurs caractéristiques n'aient pas été encore entièrement établies, sont bien connus des populations locales. Comment les pays riches, qui en général sont des pays à climat tempéré, ont-ils accès aux richesses des tropiques ? C'est une question qui fait actuellement l'objet d'un débat à travers le monde, et de récents accords, tel celui conclu entre Merck and Co. et INbio pour l'extraction de plantes au Costa Rica, ont suscité des critiques (Joyce, 1994). Les populations locales, qui apportent leurs savoirs et leurs ressources en terres, et fournissent leurs matières végétales, sont-elles rétribuées comme il convient ? Comment les instances gouvernementales sont-elles indemnisées, si une telle indemnisation est jugée appropriée ? Quelques-uns de ces problèmes sont visés dans la Convention sur la diversité biologique, mais ils ne sont pas détaillés clairement et aucun des accords actuels ne les traite intégralement.

En abordant la question de la prospection ou de l'acquisition biologique, toutes les parties devront considérer à la fois l'équitable et le faisable. Récemment, un groupe de chercheurs internationaux de la Fondation Pew s'est réuni afin d'élaborer des principes directeurs pour l'éthique de la prospection biologique. Ces principes directeurs visent le comportement et les interactions des scientifiques, des banques de gènes et des organisations intergouvernementales ; ils proposent que les chercheurs traitent les populations locales avec respect, aient recours à des personnes vivant sur place comme cochercheurs et veillent à ce que les collectivités locales reçoivent une compensation équitable pour tout produit tiré d'une plante, d'un micro-organisme ou de ressources d'origine animale recueillies localement. L'efficacité de ces principes directeurs dépend de leur application à travers des accords contraignants. Les chercheurs de la Fondation Pew envisagent de demander aux organisations professionnelles de veiller au respect par leurs membres de ces principes directeurs, mais ils envisagent aussi d'en faire un appendice d'un traité international en vigueur, telle la Convention sur la diversité biologique.

Toutefois, des principes directeurs ne peuvent viser toutes les situations — un chercheur ayant participé à l'éla-

boration des principes directeurs de la Fondation Pew a reconnu que ceux-ci ne concernaient pas son cas — mais ils peuvent aider à parvenir à des accords équitables. Le Gouvernement brésilien envisage une loi sur la propriété industrielle qui, selon certains avis, pourrait servir de modèle à l'élaboration d'accords de compensation entre les acquéreurs et les sources de la diversité biologique.

Autre problème que pose la prospection biologique : la mise en application de la Convention sur la diversité biologique. Ainsi, les États-Unis, une des principales forces agissant en faveur de la protection de la nature, ne sont pas encore signataires officiels, bien que le président Clinton, sans l'approbation du Congrès, ait signé le traité, mais avec des déclarations interprétatives concernant l'Article 16 (sur le transfert de technologies) et l'Article 19 (sur les protocoles relatifs à la biosécurité). Il est peu vraisemblable qu'un Congrès à prédominance républicaine approuve cette initiative.

CONCLUSION

La science étant internationale, les équipes consultatives, les groupes de surveillance, les consortiums de biodiversité, les organisations de recherche et d'attribution de subventions et de bourses, et les sociétés scientifiques, qui ont un caractère international, sont les agents de la solution des problèmes au niveau mondial et de la mise en commun des ressources à travers les frontières nationales. Les organisations internationales, telles que la Banque mondiale et les Nations Unies, de même que les traités internationaux, tels que la Convention sur la diversité biologique, peuvent parrainer la création de bases de données et de réseaux permettant une communication et une coopération internationales meilleures. Les technologies sont prêtes à être exploitées ; on a besoin désormais de financement et de la volonté de mettre ces technologies en œuvre

Rita R. Colwell est présidente de l'Institut de biotechnologie de l'Université du Maryland et de l'American Association for the Advancement of Science (AAAS).

Elle a étudié la bactériologie et la génétique à l'Université Purdue et à l'Université de Washington ; elle a ensuite été successivement chercheuse invitée au Conseil national de la recherche du Canada à Ottawa et professeure associée à l'Université de Georgetown, avant d'être nommée professeure de microbiologie à l'Université du Maryland. Ses pôles d'intérêt sont centrés sur la biotechnologie, la diversité microbienne et la microbiologie marine.

Tout au long de sa carrière scientifique, Rita R. Colwell a occupé de nombreux postes importants, au niveau national et international ; elle a été, entre autres, présidente de l'American Society for Microbiology, présidente de l'Union internationale des sociétés de microbiologie, membre du Conseil exécutif du Conseil international des unions scientifiques (CIUS) et présidente de l'International Congress of Systematic and Evolutionary Biology. Elle a publié de nombreux travaux, dont 16 ouvrages, un film scientifique primé et plus de 800 communications, articles et rapports. Ses travaux scientifiques lui ont valu de nombreuses distinctions honorifiques.

Agrégé et docteur ès sciences de l'Université de Paris, **Albert Sasson** a poursuivi des recherches sur les algues d'eau douce, la microflore des terres arides et les micro-organismes diazotrophes libres et symbiotiques à la faculté des sciences de Rabat.

Albert Sasson est entré à l'UNESCO en 1974 comme membre de la Division des sciences écologiques où il a participé aux activités du Programme sur l'homme et la biosphère (MAB). A partir de 1979 il a assumé des responsabilités dans le domaine de la planification des programmes de l'Organisation ; il occupe actuellement le poste de sous-directeur général pour les études, la programmation et l'évaluation.

Outre ses publications sur la microbiologie, l'agrobiologie et l'agrobiologie, Albert Sasson a publié de nombreux ouvrages sur l'environnement, la science et le développement, et les biotechnologies.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont au Dr Myrna Watanabe pour l'excellent concours et l'aide critique qu'elle a apportés à l'élaboration de ce texte.

Ce chapitre s'appuie sur un article précédemment publié par R. R. Colwell et A. Huq, « Disease in evolution : global changes and emergence of infectious diseases », dans M. E. Wilson, R. Levins et A. Spielman (dir. publ.), *Annals of the New York Academy of Sciences*, 740, p. 40-54.

BIBLIOGRAPHIE

- Atlas, R. M. 1993. Bioaugmentation to enhance microbial remediation, dans M. A. Gealt et M. Levin (dir. publ.), *Biotreatment of industrial and hazardous waste*, New York, McGraw Hill Inc.
- Barker, R. 1992. Scientific, social, and economic implications of biotechnology for developing countries, dans G. Thottappilly, L. M. Monti, D. R. Mohan Raj et A. W. Moore (dir. publ.), *Biotechnology : enhancing research on tropical crops in Africa*, Ibadan, CTA/IITA.
- Cohen, J. 1994. Bumps on the vaccine road, *Science*, 265.
- Congress of the United States, Office of Technology Assessment. 1984. *Commercial biotechnology : an international analysis*, janvier 1984, OTA-BA-218, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office.
- . 1991. *Biotechnology in a global economy*, octobre 1991, S/N 052-003-01258-8, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office.
- Crucible Group (The). 1994. *People, plants, and patents : the impact of intellectual property on trade, plant biodiversity, and rural society*, Ottawa, Centre de recherches pour le développement international.
- Da Silva, E. J. 1993. *African Network of Microbiological Resources Centres (MIRCENs). Biofertilizer production and use*, Paris, UNESCO/PNUD.
- Gibson, D. T. et Saylor, G. S. 1992. *Scientific foundations of bioremediation : current status and future needs*, Washington, D.C., American Academy of Microbiology.
- Going, T. et Winter, P. 1994. *Canadian biotech '94. Capitalizing on potential*, Thornhill (Ontario), Ernst & Young.
- Hamdan, I. Y. et Senez, J. C. 1992. The economic viability of single cell protein (SCP) production in the twenty-first century, dans E. J. Da Silva, C. Ratledge et A. Sasson (dir. publ.), *Biotechnology : economic and social aspects. Issues for developing countries*, Cambridge, Cambridge University Press.

- Joyce, C. 1994. *Earthly goods. Medicine hunting in the rainforest*, Boston, Little, Brown and Co.
- Kay, L. E. 1993. *The molecular vision of life, caltech, the Rockefeller Foundation and the rise of the new biology*, New York, Oxford University Press.
- KPMG. 1993. *Health care and life sciences practice*, Biotech Industry Briefing.
- Lean, G. et Hinrichsen, D. 1994. *Atlas of the environment*, 2^e éd., Oxford, Helicon et New York, HarperPerennial.
- Lucas, P., Müller A., Pike, B., Anhoury, P., Fivez, P., Guazzoni, F., López, E., MacCabe, B., O'Hogan, D., Wiger, A., Burrill, G. S. et Lee, K. B. Jr. 1994. *European biotech '94 : a new industry emerges*, Bruxelles, Ernst & Young European Executive Office.
- Mace, G. et Stuart, S. 1993-1994. *Draft IUCN red list categories*, version 2.2, Species, 21-22.
- Moses, V. et Cape, R. (dir. publ.). 1991. *Biotechnology : the science and the business*, New York, Harwood Academic Publishers.
- Mulongoy, K., Gianinazzi S., Roger, P. A. et Dommergues, Y. 1992. Biofertilizers : agronomic and environmental impacts and economics, dans E. J. Da Silva, C. Ratledge et A. Sasson (dir. publ.), *Biotechnology : economic and social aspects. Issues for developing countries*, Cambridge, Cambridge University Press.
- NRC. (National Research Council). 1993. *In situ bioremediation : when does it work ?*, Washington, D.C., National Academy Press.
- Ratledge, C. 1992. Biotechnology : the socio-economic revolution ? A synoptic view of the world status of biotechnology, dans E. J. Da Silva, C. Ratledge et A. Sasson (dir. publ.) *Biotechnology : Economic and Social aspects. Issues for developing countries*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Sasson, A. 1993. *Biotechnologies in developing countries ; present and future*, vol. 1, Regional and National Survey, Paris, UNESCO.
- Sasson, A. et Costarini, V. (dir. publ.). 1991. *Biotechnologies in perspective*, Paris, UNESCO.
- Science. 1994. World biology center, *Science*, 266.
- Vogel, J. H. 1994. *Genes for sale : privatization as a conservation policy*, New York, Oxford University Press.

Les technologies de l'information

GEORGES FERNÉ

Les « sciences de l'artificiel » — disciplines qui s'intéressent aux propriétés et performances des substances ou machines créées par l'homme — sont à l'origine de la plupart des nouvelles technologies (de la mécanique aux biotechnologies en passant par les nouveaux matériaux et l'énergie) qui bouleversent les sociétés et les économies contemporaines. Filles des sciences de la nature dont elles utilisent souvent les méthodes et les résultats pour les appliquer aux systèmes techniques complexes dont nous dépendons désormais pour le meilleur ou pour le pire, ces disciplines ne sont pas figées et entretiennent entre elles des relations fluctuantes parfois très riches.

Un espace d'innovation radicalement nouveau s'affirme aujourd'hui au point de rencontre de la mécanique, de l'optique, de l'informatique, de la télématique et même, pour les années qui viennent, de la biotechnologie.

LE CHAMP DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

On peut définir les technologies de l'information (TI) comme la convergence de l'électronique, de l'informatique et des télécommunications. Cette convergence a une double face : d'une part, l'abolition des distances qui découle de la mise en réseau planétaire d'ordinateurs naguère isolés les uns des autres ; d'autre part, l'informatisation des systèmes de télécommunication qui leur confère de nouvelles fonctionnalités pour le transfert des sons et des images.

Ces rencontres fournissent des instruments nouveaux pour la collecte, le stockage, le traitement, l'organisation, la transmission et la présentation de l'information. La mise au point de ces instruments, de plus en plus performants, transforme en profondeur le secteur des technologies de l'information en engendrant de nouvelles synergies industrielles dont témoignent la diversification croissante des produits autant que la multiplication des nouvelles formes de concurrence et des alliances entre producteurs d'équipements informatiques et télématiques, d'une part, et prestataires de services d'autre part. Le secteur des TI devient une branche industrielle en pleine expansion, qui a le vent

en poupe et se constitue en un domaine d'activité dynamique en quête de marchés toujours plus vastes et caractérisé par des vagues d'investissements, de revenus et d'emplois nouveaux.

Mais là n'est sans doute pas le plus important. En prenant la place des procédés mécaniques et électromécaniques d'antan (ou plus simplement en éliminant des travaux de routine naguère dévolus aux hommes), ces technologies irriguent tous les autres secteurs, en leur ouvrant de séduisantes perspectives de gains de productivité et de diversification des produits pour répondre plus rapidement et avec plus d'efficacité aux évolutions de la demande et aux changements dans l'équilibre international des avantages comparatifs. En tissant de nouveaux réseaux de communication nationaux, régionaux ou mondiaux (par exemple Internet), les TI ouvrent la voie d'une transportabilité accrue des services techniques, professionnels ou financiers, et contribuent ainsi à « mondialiser » les économies (Pereira, 1994).

Elles encouragent donc l'internationalisation de la production et des marchés, accroissent la mobilité et la flexibilité des services et des flux monétaires et financiers, et fournissent souvent les conditions nécessaires à la création d'instruments financiers novateurs. C'est ainsi que les systèmes d'information sont mis à contribution pour améliorer la productivité, la qualité et l'efficacité de la finance, de la banque, de la gestion des affaires et de l'administration publique. Dans l'industrie manufacturière, et dans une certaine mesure en agriculture, beaucoup de procédés ont été automatisés, qu'il s'agisse de la conception assistée par ordinateur, de la gestion des ressources et des stocks ou de modes de production faisant appel à des machines ou robots autorégulés qui présentent l'avantage d'une grande adaptabilité.

Ces avancées des TI sont directement imputables aux progrès récents de la microélectronique, car les résultats scientifiques et technologiques enregistrés dans les domaines des transistors, des semi-conducteurs et des circuits intégrés (puces) ont été tels qu'ils influencent désormais presque toutes les branches de l'économie. Les avancées de cette technologie se sont traduites par une chute

Le succès d'Internet

Internet est né d'une initiative du Département américain de la défense qui avait souhaité mettre un réseau avancé de communication à la disposition des chercheurs avec lesquels collaborait le Pentagone. Étendu aux activités civiles par la National Science Foundation (NSF), ce réseau a rapidement conquis l'ensemble de la communauté scientifique américaine, avant de susciter l'enthousiasme des chercheurs étrangers qui s'y sont raccordés. A la fin de la dernière décennie, on a assisté à un véritable « décollage » d'Internet, avec le raccordement d'utilisateurs issus des administrations et des entreprises du monde entier. Le succès s'explique notamment par l'accroissement du nombre de services offerts par le réseau, alliant un mode de communication facile et direct entre individus, l'accès à des services de documentation prestigieux et des possibilités d'appuyer les échanges commerciaux.

Le réseau se prête notamment très aisément à deux usages essentiels :

- Donner à la notion d'équipe de recherche une dimension planétaire. Des chercheurs peuvent travailler de concert, échanger des idées et des résultats, voire même gérer en commun une expérience ou une simulation sans se trouver dans un même lieu : textes, images statiques ou mobiles et sons peuvent ainsi être échangés. Il y a là une ouverture d'importance majeure pour les pays en développement, dont les scientifiques peuvent ainsi échapper aux contraintes de l'éloignement et collaborer directement et au jour le jour avec leurs pairs dans d'autres pays. En contrepartie, on peut aussi craindre que des équipes qui travaillent dans des domaines présentant une grande importance stratégique et/ou commerciale ne soient tentées de se fermer sur elles-mêmes en formant des « clubs électroniques » et en interdisant aux indésirables l'accès à leurs résultats.
- Fournir des voies d'accès aux sources d'information les plus diverses. D'ores et déjà, Internet s'ouvre sur le *World Wide Web* (ou Maillage mondial) qui en constitue un sous-ensemble. Le *Web* regroupe des milliers de ser-

veurs créés par des entreprises, des services, des universités, des groupements d'intérêts ou même de simples particuliers. Ces serveurs proposent, gratuitement ou moyennant paiement, l'accès à des informations écrites, illustrées, filmées et souvent sonores. Un logiciel très performant, avec lequel on peut se familiariser rapidement, permet de naviguer facilement sur ce *Web*.

Tout ceci préfigure sans doute ce que seront demain les « autoroutes de l'information » par lesquelles on veut relier les foyers aux sites informatisés. On pourra ainsi envisager une diffusion rapide, personnalisée et ouverte à l'interactivité d'informations et de programmes de tous ordres, y compris audiovisuels. Le grand problème à résoudre reste celui de la mise en place d'un réseau (câble ou satellite) qui représente d'énormes investissements et dont nombre d'intérêts se disputent d'ores et déjà le contrôle. Ici encore, les pays en développement sont directement concernés par ces technologies nouvelles porteuses de tant d'enjeux économiques, sociaux et culturels.

Les choix décisifs restent à faire, et nul ne peut prédire encore comment évoluera Internet qui compte aujourd'hui plus de 20 millions d'utilisateurs dans le monde et continue de croître très rapidement. L'utilisation du réseau proprement dit est gratuite, il suffit de se raccorder à un « serveur » ; raccordement qui est payant si on ne dispose pas de son propre serveur : comme si, pour accéder au réseau routier, il fallait tracer son propre chemin pour s'y raccorder ou utiliser celui du voisin, moyennant péage.

Sur ces bases, le développement d'Internet a certes été fulgurant, mais le réseau n'a pas été conçu pour assurer un trafic aussi volumineux et nourri. Il est peu convivial, ne garantit pas la confidentialité des messages, ne se prête pas facilement à toutes les formes d'échanges et ses capacités d'adaptation restent, semble-t-il, limitées.

Son principal atout reste d'être le seul réseau mondial facilement accessible. Mais les concurrents existent déjà pour un grand nombre d'applications commerciales, et d'autres ne se feront pas attendre...

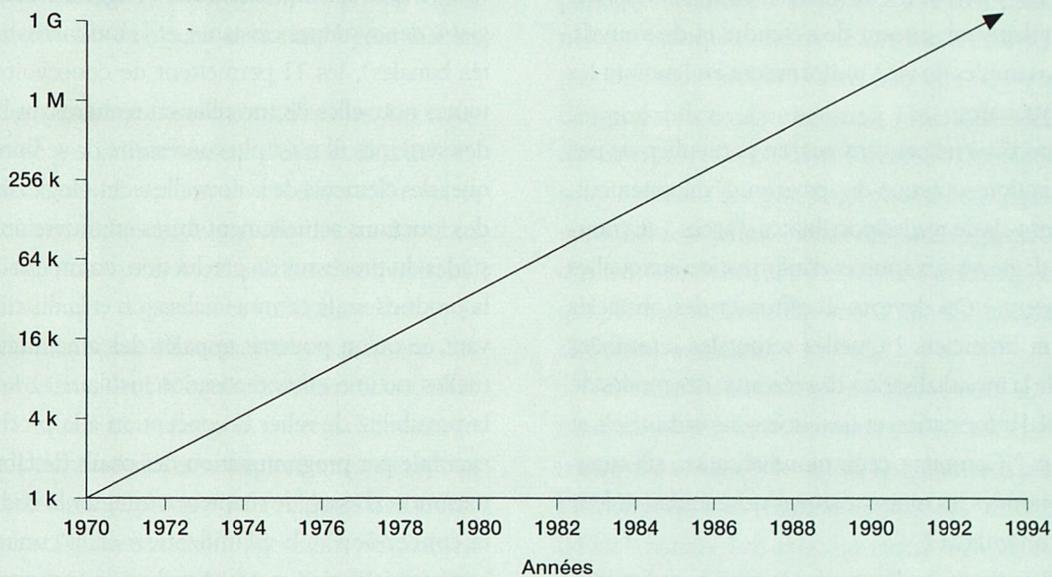
brutale des prix de revient et par des performances techniques substantiellement améliorées, au sein de l'industrie électronique comme dans les autres branches. L'augmentation continue du nombre de circuits inscrits sur chaque puce a permis de diminuer très rapidement, depuis 1970, les coûts d'assemblage de l'équipement électronique (car une puce peut remplacer beaucoup de composants distincts), d'augmenter les vitesses de commutation (et donc de mettre au point des ordinateurs plus rapides et plus puissants), et de fabriquer des équipements plus fiables, plus petits et plus légers (avec un nombre réduit d'interconnexions, moins de matières premières et une moindre consommation d'énergie). La figure 1 illustre, pour ce qui est de l'évolution des capacités de mémoire, ces avancées vertigineuses.

DE NOUVEAUX MODES D'INTÉGRATION

Tous les secteurs de l'économie sont désormais influencés par ces développements. Les TI conduisent à redéfinir les possibilités d'exploitation, à des économies d'échelle et de champ, et offrent l'avantage d'une plus grande souplesse à toutes les étapes de l'activité économique, allant de la production à l'utilisation de la main-d'œuvre et des équipements, en passant par la gestion des stocks et la mise en œuvre des stratégies commerciales.

Dans la mesure où elles élargissent à l'infini la gamme des produits réalisables en appui sur des modes de production souple, ces technologies offrent les moyens d'échapper aux contraintes de la production de masse pour mieux cibler des segments particuliers du marché. Telle

FIGURE 1
ÉVOLUTION DES CAPACITÉS DE MÉMOIRE DE LA PUCE



Kilo-octets (k) : unité de 1024 octets pour la mesure des capacités de mémoire en unités d'information stockées sous forme binaire
 Méga-octets (M) : 10³ kilo-octets
 Giga-octets (G) : 10⁶ kilo-octets
 1 byte = 1 octet

firme agroalimentaire peut, par exemple, proposer dans un pays donné près de vingt variantes d'un même produit, définies pour épouser au plus près les particularités des marchés locaux. Déjà, dans le domaine des services, se développent des applications qui établiront, entre un prestataire et son client, un « colloque singulier » permettant de définir les produits à la demande. On peut désormais s'attendre à ce qu'à brève échéance, par exemple, un client puisse explorer électroniquement les « menus » offerts par des prestataires de services (banques, assurances, etc.) pour composer le « cocktail » convenant le mieux à ses besoins, en panachant les offres des uns et des autres...

La rapidité du changement technologique dans les TI va sans doute accélérer la progression déjà perceptible vers une interdépendance accrue dans les relations internationales, qui affecte les échanges économiques et financiers, mais s'étend aussi aux aspects politiques et culturels. Les économies nationales deviennent désormais plus sensibles aux conséquences de décisions politiques prises au niveau international, et les mesures économiques nationales ont des impacts croissants sur les politiques économiques des autres pays. Les marchés mondiaux où l'on consomme des produits similaires ne cessent de s'étendre et de s'ouvrir, tandis que les modes de vie s'uniformisent en ignorant les frontières nationales.

Ces perspectives ne peuvent pas, en particulier, ne pas appeler l'attention soutenue des pays en développement. Ceux-ci auront-ils de réelles possibilités d'accès à ces nouvelles technologies et aux sources d'information auxquelles elles conduisent ? Ou devront-ils affronter des obstacles techniques et financiers ? Quelles seront les retombées culturelles de la mondialisation des réseaux, des modes de traitement de l'information et des processus industriels et commerciaux ? Comment cette mondialisation affectera-t-elle les économies les moins assurées qui esquissent leur décollage économique ?

Car il ne fait guère de doute qu'une grande redistribution des cartes économiques se fera à l'échelle planétaire. Les progrès des télécommunications et de l'informatisation ont récemment donné aux grandes entreprises la capacité d'utiliser leurs systèmes de gestion et de traitement de don-

nées pour diffuser des informations techniques et économiques à de nombreux centres informatiques situés dans différents lieux géographiques. Plus encore : les nouveaux réseaux permettent désormais de soumettre des usines dispersées au contrôle et à la gestion directs d'un état-major central. Ces développements affectent la répartition internationale du travail, de la production et des échanges, modifient les modes de propriété et de contrôle industriels, ébranlent les positions concurrentielles de certains pays, et donnent naissance à de nouveaux partenariats commerciaux. On accède alors à de nouvelles formes de gestion « en temps réel », où la capacité de réaction à des événements imprévus peut être un facteur de compétitivité ou engendrer des réactions en chaîne très dangereuses, comme on l'a vu à plusieurs reprises sur des marchés financiers désormais intégrés d'un bout à l'autre de la planète.

C'est l'intégration des fonctions qui confère aux technologies de l'information leur véritable portée économique et sociale. Bien plus qu'une simple évolution technologique progressive et continue qui permettrait d'améliorer la mise en œuvre de procédés de fabrication traditionnels (c'est-à-dire la simple substitution de nouvelles technologies à des systèmes existants, et la rationalisation d'activités banales), les TI permettent de concevoir des façons toutes nouvelles de travailler en recherchant l'intégration des systèmes. Il n'est plus nécessaire de se borner à appliquer des éléments de la nouvelle technologie dans chacune des fonctions actuellement mises en œuvre aux différents stades du processus de production, comme la conception, la production, la commercialisation et la distribution (suivant ce qu'on pourrait appeler des améliorations ponctuelles, ou une « automatisation insulaire »). Les TI offrent la possibilité de relier la conception à la production (par exemple par programmation des outils de fabrication, de mesure et d'essai, de manière à intégrer la codification de la conception) ; la planification et la conception à la commercialisation et à la distribution (par exemple grâce à divers instruments informatiques et à des banques de données qui décèlent et regroupent les changements intervenant dans les évolutions des marchés) ; la production à la distribution (par exemple en instaurant le traitement

automatique par la production des commandes passées par les clients et auprès des fournisseurs)... L'intégration complète de tous ces sous-systèmes de la production en une synergie d'ensemble représente un outil stratégique pour l'industrie, dans la mesure où celle-ci se trouve dotée de processus automatiques pour relier entre eux des équipements jusqu'alors isolés et consacrés à des opérations de fabrication distinctes (Pereira, 1994). Mais l'adoption de ces nouvelles avancées technologiques appelle du même coup des transformations profondes dans l'organisation et les comportements des entreprises et des administrations.

VERS DE NOUVEAUX SYSTÈMES TECHNOLOGIQUES

On s'attend en effet à d'autres avancées techniques prochaines dans l'automatisation des télécommunications et les liaisons entre ordinateurs pour la transmission de données, avancées qui multiplieront les possibilités d'intégration des systèmes. Ce type d'« automatisation programmable » ou « fabrication assistée par ordinateur » (FAO) peut permettre d'intégrer le traitement de l'information aux actions matérielles de machines-outils programmables ou de robots.

Les avantages escomptés sont considérables. Les nouveaux modes de gestion permettent d'ores et déjà de raccourcir les délais de fabrication de produits existants et nouveaux, tout en réduisant le volume des stocks et en améliorant l'organisation et la réalisation des livraisons. Dans le même temps, la gestion et l'utilisation des équipements deviennent plus efficaces, tout en assurant une plus grande précision dans le contrôle de la production et de la qualité. Les frais généraux peuvent être diminués en conséquence. L'élaboration des stratégies à moyen et à long terme est facilitée par la précision du pilotage de l'entreprise qui autorise l'établissement de prévisions plus fiables.

On n'a sans doute encore récolté qu'une fraction des fruits des innovations liées aux technologies de l'information, fruits qui ne seront totalement engrangés qu'au cours des décennies à venir. Aussi bien faudra-t-il des adaptations considérables, des processus d'apprentissage et des chan-

gements structurels dans les institutions socio-économiques et les systèmes d'organisation actuels, pour autoriser le passage à des niveaux d'intégration des systèmes qui autoriseront l'exploitation de tous les avantages virtuels des technologies de l'information. Au plan mondial, il reste un grand nombre d'obstacles techniques (par exemple l'adoption de normes communes pour les principales interfaces) à surmonter pour la mise en place de réseaux mondiaux pleinement fiables et aisément accessibles. Mais les rigidités internes aux différentes institutions ne sont pas moins encombrantes. Une application intégrée des TI dans les entreprises implique une transformation profonde de celles-ci, alors que la plupart des organisations existantes restent marquées par les principes de forte division du travail, spécialisation et différenciation fonctionnelles, « déqualification » de beaucoup de tâches, procédures et contrôles rigides de fabrication, multiplication des niveaux hiérarchiques de direction appuyés sur des procédures de décision bureaucratiques, et approches « mécanistes » de la performance.

Dans ces conditions, le recours aux TI débute souvent par des améliorations ponctuelles et/ou locales de la technologie pratiquée. Les systèmes fondés sur les technologies de l'information offrent pourtant aux organisations des possibilités d'intégration fonctionnelle, de main-d'œuvre polyvalente, de structures de décision efficaces et souples faisant une plus large place aux délégations de responsabilités et à l'autonomie des unités opérationnelles, en d'autres termes une approche plus flexible et « organique » qui permettrait des adaptations rapides aux changements de l'environnement.

Tant que les réseaux mondiaux et leurs ancrages organisationnels dans les économies et les sociétés nationales n'auront pas franchi le cap de l'adaptation à la « société de l'information » et resteront captifs des schémas conventionnels hérités d'un autre âge technologique, des obstacles multiples limiteront les possibilités de tirer pleinement parti des nouvelles avancées. Si les effets négatifs ne manqueront pas de se faire sentir (en termes de délocalisation ou de dislocation des marchés de l'emploi, voire de baisse de compétitivité pour certaines régions ou certains pays),

les impacts vertueux (par exemple naissance d'industries nouvelles ou de services créateurs d'emplois) auront du mal à surgir sur un terreau mal préparé.

MONDIALISATION ET SOCIÉTÉ DE L'INFORMATION

Autant la mise en place de nouvelles infrastructures de télécommunication a fait l'objet d'efforts cohérents et coordonnés depuis le siècle dernier, autant on a mal perçu, depuis la seconde guerre mondiale, les enjeux systémiques des technologies de l'information. Une concurrence sauvage a opposé fabricants de matériels et producteurs de logiciels, concurrence qui s'est traduite par la multiplication de systèmes différents et la constitution d'un parc d'équipements hétérogènes souvent sous-utilisés et mutuellement incompatibles. Cette situation devient de moins en moins supportable : elle entrave la circulation des données, la constitution de réseaux et le développement des synergies attendues, tout en freinant la diffusion des applications des TI dans de nombreux secteurs.

C'est en particulier depuis la fin des années 60, et plus vigoureusement encore au cours de la dernière décennie, que chaque pays industriel a tenté d'élaborer ses réponses spécifiques, selon ses traditions et ses structures. Le développement et la diffusion des TI sont du même coup devenus partie intégrante des politiques sociales, culturelles, économiques et industrielles. Chacun a cherché à déterminer les moyens les plus appropriés d'adopter les nouvelles technologies et de s'y adapter.

ESPOIRS ET APPRÉHENSIONS

Le domaine des technologies de l'information et l'intérêt que lui portent les gouvernements ont beaucoup changé depuis une quinzaine d'années. La raison en est à rechercher dans les profondes modifications qui se sont produites dans les attitudes sociales et politiques.

A la fin des années 70, les TI suscitaient à la fois de grands espoirs et de vives appréhensions. Dans la recherche de gains de productivité et de sources de crois-

sance, elles apparaissaient comme la voie royale conduisant à un nouveau champ de possibilités technologiques et d'innovations constitutif de l'économie postindustrielle et de la « société de l'information ». De ce fait, elles étaient généralement considérées comme une condition indispensable de la compétitivité future d'un pays. Ce rôle stratégique s'est concrétisé dans de nombreux pays par le lancement de programmes spéciaux, nationaux et internationaux, destinés à soutenir l'industrie des TI, à encourager la recherche-développement (R-D) et à promouvoir l'éducation et la formation : au programme japonais des « ordinateurs de la cinquième génération », ont ainsi répondu au cours des années 80 le programme Alvey au Royaume-Uni, le programme de la filière électronique en France, divers programmes directement ou indirectement patronnés par le Ministère de la défense aux États-Unis d'Amérique, des programmes néerlandais, suédois, norvégien, de grands efforts communautaires en Europe tels qu'ESPRIT ou des projets EURÉKA, etc.

Le rôle clé assigné aux technologies de l'information n'était cependant pas sans provoquer des inquiétudes. On craignait déjà que la diffusion des TI dans l'économie ne provoque des suppressions d'emplois et une montée du chômage. On s'inquiétait de leur vulnérabilité croissante à des ingérences accidentelles ou délictueuses, et de graves menaces pour la vie privée. On redoutait même une concentration excessive du pouvoir économique entre les mains d'un petit nombre d'entreprises industrielles transnationales mettant en péril le droit souverain des États.

Ces craintes s'étaient atténuées au cours de la dernière décennie, sous cette forme en tout cas, grâce à la reprise de la croissance économique. Bien que l'automatisation de nombreux travaux de routine ait supprimé des emplois de bureau, les TI n'étaient en effet plus considérées comme risquant d'entraîner en tant que telles un chômage massif global. Elles apparaissaient désormais comme une source d'emplois qualifiés, en particulier dans le secteur des services. Ce secteur a d'ailleurs connu, et connaît encore, une expansion spectaculaire directement liée au développement des TI. Il s'agit de l'apparition d'une « industrie de l'information », tirant parti des nouvelles infrastructures de

télécommunication pour offrir des services nouveaux aux particuliers comme aux entreprises (le Minitel français offre un exemple de première génération de la variété des prestations qui peuvent être ainsi mises à la disposition de tous).

Les préoccupations liées à l'emploi renaissent toutefois sous une autre forme au cours des années 90. La technologie n'est plus considérée comme « naturellement » destructrice d'emplois. C'est le système social qui en détermine les formes d'utilisation et peut ou non en structurer les applications pour « économiser des emplois ». Dans les grands pays industriels, des tendances lourdes se sont ancrées depuis bien des décennies dans des structures et des comportements modelés par de longues périodes de pénurie de personnels qualifiés ou semi-qualifiés au cours desquelles il fallait que la technologie se substitue à des emplois qui ne pouvaient être pourvus. Il s'agit désormais, pour surmonter le chômage et les dislocations du monde du travail, de rechercher une maîtrise différente du progrès technique, afin de prévenir des impacts sociaux profondément déstabilisateurs.

Si l'on s'accorde donc à considérer que les technologies de l'information sont appelées à stimuler globalement et à moyen ou long terme la création d'emplois, il faut donc bien se rendre à l'évidence que ces technologies peuvent aussi exercer des effets indésirables sur ce terrain en facilitant la suppression ou la délocalisation d'activités : les capacités de traitement de données, en appui sur les nouvelles infrastructures de télécommunication, facilitent par exemple le télétravail, qui est appelé à se développer au plan national comme au plan mondial. Une entreprise européenne ou américaine peut ainsi faire appel à des personnels de conception ou d'administration habitant au quatre coins du monde. La concurrence ne peut que se développer sur ce terrain et impose des efforts redoublés pour mettre en cohérence les systèmes nationaux de technologies de l'information, accroître leurs performances et élever leur niveau d'intégration, afin d'éviter que des entreprises ne soient tentées d'exporter des emplois. Mais dans le même temps, comme on l'a vu plus haut, ce recours aux nouvelles technologies impose aux organisations des

réorganisations profondes qui peuvent appeler la suppression de pans entiers d'activités commerciales ou de gestion traditionnelles.

LA RECHERCHE DE POLITIQUES

La concurrence internationale et les impératifs de la compétitivité imposent une diffusion complète et rapide de ces technologies. Pour éviter les mauvais usages des TI que redoutent les opinions publiques, de nombreux gouvernements ont adopté des législations et des réglementations qui couvrent aussi bien la protection de la vie privée que la répression de la délinquance informatique ou la sécurité des données. En France, par exemple, la création de la Commission nationale informatique et liberté (CNIL) a institué une sorte de contre-pouvoir qui protège les citoyens contre des abus dans l'utilisation des fichiers informatiques. Les mesures de sécurité tendent à instaurer des protections explicites qui rassurent, par exemple, les usagers de services de transferts de fonds ou d'informations confidentielles.

Dans ces conditions, les TI se sont rapidement diffusées, et de plus en plus vite au cours de la dernière décennie, dans de nombreux secteurs, comme les administrations, la banque, les transports aériens, la grande industrie. Les attentes actuelles, à la lumière des expériences récentes, restent teintées d'une certaine déception. Certains utilisateurs ont été déçus parce que les gains de productivité n'étaient pas toujours au rendez-vous. De fait, on avait sous-estimé les difficultés d'adaptation des structures d'organisation (aménagement d'une flexibilité accrue, décentralisation des responsabilités, nécessités de mise en place de modes de gestion plus créatifs, etc.) qu'imposait l'adoption des nouveaux systèmes de TI par les administrations et les entreprises.

En outre, dans de nombreux cas, les grands programmes nationaux et internationaux, qui avaient été lancés pour soutenir le développement des TI, n'ont pas donné satisfaction. Les résultats scientifiques des activités de R-D, faute d'une base industrielle adéquate, n'ont pas toujours pu être directement traduits sous forme d'appli-

cations commerciales. De même, les campagnes consistant à désigner, parmi les entreprises d'un pays, des « gagnants » ou des « champions nationaux » bénéficiant d'un certain soutien, se sont parfois révélées décevantes. Ainsi l'acquisition d'une haute compétence technologique n'a pas nécessairement conféré aux pays concernés une

supériorité décisive sur leurs concurrents internationaux, car des facteurs tels que les méthodes de vente et l'avance en matière d'implantation des normes sur des marchés clés ont souvent été plus déterminants.

Les gouvernements ont donc réduit leurs efforts de soutien direct visant à promouvoir l'offre de TI. Leur action a

Les objectifs de la recherche internationale et les TI

A première vue, il semble que de nombreux programmes nationaux de recherche sur les TI aient des objectifs très similaires, ce qui n'est pas surprenant. Leurs grandes lignes sont définies par le « paysage technologique » que chaque programme tente de couvrir pour profiter des avancées technologiques qui se profilent et qui sont reconnues partout. On distingue deux grandes orientations stratégiques.

En premier lieu, il convient d'appliquer les nouvelles technologies aussi efficacement que possible dans tous les secteurs tout en gardant toutes les options ouvertes pour des développements ultérieurs — sans doute inattendus.

Dans un second temps, il convient de développer et de déployer, aux niveaux national, régional et planétaire, des infrastructures d'information capables de s'adapter entièrement à l'essor de la circulation multimédia qui doit pouvoir transférer à grande vitesse, par l'intermédiaire d'un maillage intégré d'ordinateurs interconnectés, d'énormes quantités d'informations sous forme de textes, sons, films, graphiques, qu'il s'agisse d'usage privé ou de besoins gouvernementaux ou de commerce. Ce maillage peut s'appuyer en partie sur des liens existants, mais il nécessitera également un nouveau câblage pour les particuliers et les bureaux.

Pour être efficaces, de tels systèmes doivent reposer sur les avancées significatives des quatre domaines principaux de la technologie de l'information, à savoir la microélectronique, l'informatique, les télécommunications et la fabrication d'ordinateurs intégrés. Ce qui nécessite des similitudes entre les programmes nationaux et une coordination internationale pour établir un minimum d'infrastructures techniques. Néanmoins, au-delà de cette technologie de base que chacun doit acquérir, différents degrés d'autonomie et de spécialisation peuvent être exploités pour essayer de conquérir des marchés spécifiques de portée variable.

MICROÉLECTRONIQUE

La microélectronique est un bon exemple de cette double réalité. Actuellement, tous les programmes ont en commun trois caractéristiques essentielles : des puces sans cesse plus petites et par conséquent plus denses qui deviennent moins onéreuses, mais dont le coût de fabrication est plus élevé, en raison de l'augmentation constante du capital d'investissement requis. Les objectifs visés, tels que l'obtention de circuits intégrés plus étendus, des améliorations technologiques dans la conception et la fabrication des semi-conducteurs ainsi que les applications de silicium et d'arséniure de gallium restent identiques, mais les moyens attribués peuvent être différents.

Dans ce contexte, les différents pays ont une certaine flexibilité concernant le type de produit qu'ils désirent mettre au point. Le Japon, dont la stratégie est orientée vers la conquête des marchés extérieurs, a opté pour la production massive et la commercialisation de composants normalisés. Tout en essayant de défier la position de leader des Japonais, les États-Unis occupent la première place dans le domaine des composés sophistiqués avec des applications particulières (armement, espace, etc.) Le vaste éventail d'objectifs fixés pour les programmes européens — depuis la microélectronique jusqu'au traitement de données et l'intelligence artificielle — fournit bien la preuve que l'Europe fait des efforts considérables pour être compétitive dans tous les domaines.

INFORMATIQUE

Les méthodes d'organisation, les réglementations, tout comme les logiciels de traitement des données évoluent quotidiennement. On essaie d'augmenter la performance géné-

consisté dès lors à encourager les activités industrielles de base pour acquérir ou renforcer des capacités technologiques « génériques » dans divers domaines des TI comme la microélectronique ou le génie du logiciel qui semblaient jouer un rôle stratégique dans le maintien de la compétence et de la compétitivité nationales. De manière plus

générale, on a surtout assisté à un rééquilibrage en faveur de mesures indirectes telles que la déréglementation et le renforcement des mécanismes du marché aux niveaux national et international. Mais plusieurs aspects de la situation actuelle restreignent l'efficacité des politiques axées sur l'offre de TI.

rale des ordinateurs grâce à l'amélioration des composants et à des architectures informatiques novatrices comme le traitement parallèle. On recherche également des applications possibles à l'intelligence artificielle, en dépit des déceptions de ces dernières années. En conséquence, les applications possibles du traitement des données prendront peut-être une direction complètement nouvelle avec les systèmes experts, les robots intelligents et la reconnaissance du langage. Toute personne désirant, dans l'avenir, rester dans la course devra maîtriser chacune de ces applications, ne serait-ce que pour être en mesure de pouvoir profiter pleinement de la diffusion de nouveaux produits dès leur arrivée sur le marché.

Parallèlement à ces perspectives impressionnantes, un travail moins prestigieux mais peut-être plus important est en cours pour mettre au point des systèmes d'exploitation et des outils de communication tels que l'échange de données informatisées qui servira de base pour lancer de nouveaux services planétaires et établir les instruments nécessaires à la gestion du commerce électronique sur les nouvelles autoroutes de l'information.

TÉLÉCOMMUNICATIONS

Ici les efforts se sont centrés sur la numérisation des systèmes de transmission (c'est en fait le point de rencontre entre les technologies informatiques et celles de la communication), la commutation temporelle et le développement de l'électronique optique comme nouveau processus de transmission. Partout dans le monde industriel, le principal objectif à atteindre depuis longtemps reste l'établissement de réseaux numériques de services intégrés qui devraient dans l'avenir

combler les besoins de tous les utilisateurs (sociétés, services, administrations ou consommateurs) en transportant des sons, des images et des textes à une vitesse record pour un montant modique. Nombreux sont ceux qui croient aujourd'hui que ces vitesses ne sont pas encore satisfaisantes et qu'il est désormais nécessaire de disposer de réseaux à large bande passante beaucoup plus performants. C'est là l'origine de la campagne menée par l'administration Clinton-Gore pour déployer des infrastructures d'information mondiales, mieux connues sous l'appellation « autoroutes de l'information ».

FABRICATION D'ORDINATEURS INTÉGRÉS

L'automatisation et l'informatique industrielle préparent à un double changement : une augmentation manifeste de la capacité de production et une gamme plus large de produits. Elles s'appuient sur des machines à contrôle numérique, sur des robots industriels, sur la conception et la fabrication assistées par ordinateur ainsi que sur des dispositifs de reconnaissance visuelle et tactile. En bref, elles sont d'importance vitale pour l'avenir de l'industrie et les ajustements structurels de l'économie.

La majeure partie de la recherche dans ce domaine vise à améliorer la diffusion de nouvelles applications, tout en mettant en valeur un atout de compétition spécifique. La position de leader des États-Unis et du Japon est en train d'être égalee par l'Europe dont la stratégie consiste à former des alliances et des groupements en vue d'empêcher la dépendance technologique. Dans la plupart des pays européens (Allemagne, France et Royaume-Uni spécialement), des programmes visant à promouvoir la diffusion de la nouvelle technologie viennent s'ajouter à la recherche.

L'industrie du matériel de TI a, par exemple, été confrontée à un marché en stagnation ou en très faible croissance depuis la fin des années 80, comme en témoignent les grandes restructurations dans des entreprises géantes comme IBM. Cette situation résulte de facteurs conjoncturels et des conditions économiques générales,

mais peut aussi être due à des problèmes d'ajustement structurel plus profonds. De l'avis général, la diffusion des TI reste très inégale dans le tissu industriel (efforts insuffisants ou mal adaptés de certaines grandes firmes, intégration aux réseaux déficiente pour les petites et moyennes entreprises — PME) et médiocre dans de nombreux sec-

Enjeux de la normalisation des TI

La mondialisation de l'économie se traduit par l'interdépendance croissante des firmes et des pays. L'infrastructure d'information et de communication a joué, et continuera à jouer, un rôle déterminant dans le renforcement de ce processus, et engendre déjà de nouvelles possibilités de réseaux de tous ordres. Ces perspectives exercent une influence grandissante sur les demandes et les priorités de la normalisation dans les domaines concernés. Il se pourrait que le poids croissant des considérations internationales devienne désormais le moteur des politiques nationales mises en œuvre et des ajustements opérés dans les domaines concernés. En particulier, on peut s'attendre à ce que les grands utilisateurs exercent une influence croissante en faveur de la normalisation des TI.

L'exemple du « code-barre », qui a connu un succès fulgurant dans le domaine de la distribution, illustre l'importance du rôle que peuvent jouer les utilisateurs : le système est né d'une démarche des grandes firmes de distribution aux États-Unis, et il a conduit à l'élaboration de normes en coopération avec les fabricants de matériels, puis au développement d'équipements de plus en plus sophistiqués, et enfin à la mise en œuvre de mesures de protection des consommateurs contre les abus éventuels. Toutes ces étapes sont nécessaires pour une diffusion satisfaisante de la nouvelle technologie, mais la phase de la normalisation est particulièrement importante, car il ne suffit pas de codifier, il faut encore que le code puisse être lu et s'insérer dans la chaîne de la production, de la distribution et de la consommation.

Les inquiétudes relatives à l'efficacité du système de normalisation et à ses impacts sur la diffusion des nouvelles technologies ont en effet conduit nombre de participants et d'observateurs à s'interroger sur le rôle dévolu aux utilisateurs des technologies concernées. Peut-on rendre la normalisation dans les technologies de l'information plus efficace, éviter les

impasses technologiques et faciliter la diffusion des technologies nouvelles en renforçant la participation des utilisateurs à l'élaboration des normes ? L'idée est séduisante. Mais est-elle réaliste ?

Les enjeux de la normalisation en matière de TI — soit la mise en cohérence des systèmes informatiques — sont énormes. Un socle commun de solutions cohérentes, bien articulées les unes avec les autres et permettant de communiquer aisément d'ordinateur à ordinateur est essentiel pour l'avenir de l'infrastructure industrielle et commerciale de la planète. Il s'agit de libérer les utilisateurs de TI de toute dépendance exclusive envers un seul fabricant et de leur permettre d'employer indifféremment des systèmes hétérogènes, faisant appel à des fournisseurs de matériels et de logiciels différents — IBM, DEC, Apple... — mais compatibles. Faute de quoi le système mondial de traitement, de transfert et d'accès aux données restera fragmenté et ne permettra pas le développement de nouvelles industries et de nouveaux services.

Du même coup, la normalisation mobilise un grand nombre d'acteurs et des ressources considérables. Par exemple, on évalue le coût total du développement du système de normes d'interconnexion des systèmes ouverts (OSI) depuis une quinzaine d'années à plus de 4 milliards de dollars des États-Unis. Le budget de démarrage en 1984 d'une des organisations concernées (X-Open, un consortium de grandes entreprises) s'élevait à quelque 90 millions de dollars.

Le processus de mondialisation économique en cours favorise une meilleure perception de ces enjeux par tous les utilisateurs, grands ou petits : les petites entreprises elles-mêmes sont désormais concernées par les marchés mondiaux. Si les mécanismes actuels de la normalisation engendrent des fragmentations multiples et difficiles à surmonter, comme dans le cas des normes relatives à l'échange de don-

teurs (transports, environnement urbain). Dans certains cas, la diffusion des TI se heurte à des problèmes structurels et politiques (comme en témoignent les difficultés de mise en place de systèmes de gestion intégrée des différents modes de transport routiers, ferroviaires, aériens et maritimes). Dans d'autres (notamment dans les PME), il est

possible que le minimum de compétence technique requis pour maîtriser les nouvelles technologies fasse défaut. Mais il est aussi possible que des progrès soient encore nécessaires pour mieux adapter la technologie elle-même (qu'il s'agisse d'un micro-ordinateur ou de l'accès à un réseau) à une utilisation facile, agréable et naturelle — ce qu'on

nées informatisées, la logique de la globalisation veut qu'on les surmonte.

Or ce ne sont pas les producteurs de technologies de l'information, qui souhaitent tenir leurs parts de marché sous la protection des technologies qu'ils détiennent, qui vont instaurer spontanément un niveau élevé de cohérence et de compatibilité avec pour conséquence une concurrence de plus en plus nourrie. Seule la pression des utilisateurs peut les y inciter.

En 1991, un premier frémissement s'est fait sentir : un groupe de grandes firmes utilisatrices des TI (au départ composé de American Airlines, Boeing, Du Pont de Nemours, General Motors, Kodak, McDonell Douglas et Merck) a dressé un « cahier » de demandes, présenté comme une sorte de cadre général pour les travaux futurs de normalisation des TI. De nombreux groupements d'utilisateurs se sont aussi constitués aux États-Unis, en Europe et au Japon. Plus récemment, un groupe d'experts industriels sur la normalisation des TI a été constitué par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) pour préparer un rapport sur les mécanismes, les procédures et les produits de la normalisation en ce domaine, notamment du point de vue des utilisateurs. Bien que de très grandes firmes multinationales soient plus visiblement actives à ce stade, le mouvement ne peut sans doute que gagner de proche en proche, notamment par le jeu des relations entre ces firmes et leurs fournisseurs — relations qui s'établissent d'emblée dans une dimension planétaire.

Les récentes conclusions de l'Uruguay Round, en décembre 1993, témoignent de l'importance croissante attachée aux normes sur le plan international en tant qu'élément essentiel dans la mise en place de l'infrastructure de la nouvelle économie globale — importance que ces accords tendent d'ailleurs à accroître puisqu'ils concernent 115 pays alors

que les précédents accords relatifs à la normalisation conclus dans le cadre du GATT (General Agreement on Tariffs and Trade — Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce) ne comportaient qu'une quarantaine de signatures. En outre, les nouveaux accords :

- encouragent les pays à participer activement aux travaux de normalisation des organisations internationales ;
- appellent les pays à se référer aux normes internationales disponibles ;
- instituent un nouveau mécanisme de résolution des conflits, pour combattre l'utilisation des normes comme barrières aux échanges.

Ces développements sont d'autant plus significatifs que l'industrie cherche de plus en plus à s'appuyer sur des normes internationales, en évitant autant que possible de passer par les étapes intermédiaires de la normalisation nationale qui est souvent source de divergences. La mondialisation joue ici un rôle essentiel, puisqu'elle contraint des firmes multinationales, même celles qui ont traditionnellement été très décentralisées et diversifiées, à renforcer la coordination de certaines activités et à s'allier à d'autres. La demande de normes internationales ne peut donc que se renforcer.

Il ne fait guère de doute aujourd'hui que les nouvelles technologies — aujourd'hui technologies de l'information, demain nouveaux matériaux et biotechnologies — appellent de nouvelles approches pour affronter directement tous ces problèmes qui ne peuvent être durablement surmontés que par la concertation internationale. Celle-ci devra nécessairement impliquer les principales régions, les producteurs et prestataires de services autant que les utilisateurs dont la participation contribue à définir les horizons planétaires de la normalisation d'aujourd'hui, à en modérer les coûts et à mieux contrôler les gaspillages du progrès technique.

appelle « l'interface homme-machine ». Par ailleurs, la rapidité du changement technique dans le domaine des TI fait hésiter les investisseurs qui craignent de ne pas pouvoir amortir les nouveaux équipements avant d'être contraints d'en changer.

LES PERSPECTIVES FUTURES

Un certain nombre de faits récents dans le domaine des technologies de l'information montrent que ce secteur est entré dans une période de changements et d'ajustements. Depuis la fin de la dernière décennie, le marché des matériels de TI n'a connu qu'une croissance très ralentie, tandis que se poursuivait l'expansion du marché des logiciels. Dans le même temps, l'accent était mis sur le développement de normes « ouvertes » pour faciliter l'intégration en réseau de matériels informatiques jusqu'ici totalement incompatibles (afin d'aménager leurs interfaces) et permettre la mise en œuvre des mêmes applications sur des matériels différents (ce qu'on appelle la « portabilité ») (OCDE, 1991). On a vu dans différents pays se mettre en place des cadres législatifs ou réglementaires visant à régir l'utilisation des TI et à protéger la vie privée et la sécurité des utilisateurs. En même temps, et de façon toujours plus affirmée, s'est exprimée une demande de participation des utilisateurs à la définition des futurs produits de TI (soit pour obtenir des applications qui leur conviennent mieux, soit pour élaborer des normes plus faciles à utiliser).

Un certain nombre d'avancées sont sur le point d'ouvrir de nouveaux marchés aux applications multimédias et aux architectures informatiques novatrices. Il est probable que les futurs postes de travail seront totalement différents de ceux que nous connaissons aujourd'hui : ils offriront d'énormes possibilités de traitement d'images et de sons, de dialogue et de travail conjoint entre des postes très éloignés, et de transfert d'énormes paquets d'informations à des vitesses aujourd'hui inimaginables.

L'évolution vers la numérisation totale du traitement de l'information ouvrira du reste une multitude de perspectives nouvelles pour l'établissement de réseaux interna-

tionaux. L'intelligence artificielle, les systèmes experts et même le logiciel dans son ensemble sont loin d'avoir atteint un plein développement. On en attend des applications qui transformeront profondément, par exemple, les professions libérales (juridiques ou médicales en particulier) ou les modes de gestion. Le développement de la « spécialisation flexible » dans l'industrie n'en est qu'à ses premiers pas et ouvre d'immenses possibilités de moduler les modes de fabrication et la nature des produits, par l'intermédiaire des logiciels et sans transformations des matériels.

La croissance rapide des réseaux TI, fondée sur la messagerie électronique et les outils tels que l'échange de données informatisées pour les échanges commerciaux et administratifs, doit aussi être prise en considération : ces nouveaux instruments permettront d'effectuer électroniquement des tâches administratives et juridiques allant des formalités de douane à la collecte des impôts, en passant par l'émission de commandes ou de factures. Ces réseaux connaissent une rapide extension aussi bien verticale (faisant intervenir les constructeurs et les fournisseurs de services, les utilisateurs et les services administratifs) qu'horizontale (à l'échelle mondiale). On peut s'attendre à ce qu'il en résulte de nouvelles synergies et des défis technologiques inattendus.

On espère augmenter la gamme des fonctions des TI ainsi que leur attrait pour les utilisateurs grâce à de nouveaux concepts tels que celui de « logique floue » (qui fournit à une machine une « intelligence » qui lui permet de choisir un programme approprié sans intervention de l'utilisateur) ou de programmation parallèle pour les réseaux à grande vitesse qui pourront traiter et transmettre d'énormes masses d'informations. On commence à peine à en exploiter les immenses potentialités industrielles. Ces progrès conduiraient à généraliser l'introduction d'« intelligence intégrée » dans tous les produits, depuis les appareils ménagers jusqu'aux systèmes de CFAO (conception et fabrication assistées par ordinateur) évolués, et auraient des répercussions directes sur des domaines aussi variés que les transports, la protection de l'environnement, les économies d'énergie, les services

publics, la santé et l'éducation, la gestion des espaces urbains et ruraux, l'agriculture, etc.

Depuis peu, le secteur des TI s'oriente vers l'électronique grand public, où les firmes cherchent à s'implanter, et va de toute façon subir une modification radicale avec l'introduction de la télévision à haute définition entièrement numérique (TVHD). Pour beaucoup, la TVHD représente une nouvelle technologie générique qui aura de vastes implications dans de nombreux domaines militaires et civils. S'ajoutant à celui des « autoroutes de l'information », cet exemple montre que le secteur des TI est loin d'avoir fini de subir les transformations et mutations profondes qui l'amèneront un jour à maturité. Mais son influence s'étend à ce point sur tous les pans de la société que chacune de ces mutations technologiques aura des répercussions importantes sur l'ensemble du tissu socio-économique.

Tout cela indique non pas une industrie ayant atteint son plein développement mais au contraire une technologie qui gagne en cohérence et en efficacité. Un grand bond en avant peut sans doute être fait en appui sur des innovations aux applications manifestement multiples et protéiformes — mais d'autant plus imprévisibles que la dynamique du progrès technologique viendra surtout de la progression constante du flot des attentes et des demandes. Les arbitrages du marché ne suffiront sans doute pas à garantir la cohérence des applications des TI dans le tissu économique et social, ni à limiter les bouleversements qui peuvent en résulter au plan national comme au plan international. La gamme des possibilités technologiques s'enrichira constamment tandis que les besoins se diversifieront. Il faudra donc développer de nouvelles formes de relations entre producteurs et utilisateurs pour choisir les solutions matérielles ou logicielles qui répondront le mieux aux besoins. Des politiques sont nécessaires, à ces deux niveaux, pour formuler les nouvelles règles d'un jeu dont les aboutissements restent encore imprécis. A l'échelle du monde, ces nouveaux rapports se traduiront par de nouvelles formes de relations entre pays.

Maîtriser le progrès technique pour renforcer ses virtualités bénéfiques et en limiter les nuisances éventuelles ;

limiter les sources de déséquilibres (et donc de conflits) internationaux en assurant aux nouveaux entrants, et en particulier aux pays en développement, des possibilités réelles d'accès aux réseaux en voie de constitution ; renforcer la solidarité entre économies nationales tout en préservant une hétérogénéité qui est source d'innovation : autant de défis politiques majeurs lancés par les TI à la fin de ce millénaire. C'est dire la complexité de la tâche.

Georges Ferné est spécialiste des technologies de l'information à la Direction de la science, de la technologie et de l'industrie de l'OCDE. Après des études de droit et de sciences politiques, il a rejoint l'OCDE à la fin des années 60. Il y a travaillé sur un grand nombre de projets relatifs à la science et à la technologie, notamment les politiques de développement des technologies de l'information et les politiques de recherche sur les liens université/industrie. Il était en particulier chargé de la préparation et de la publication de nombreuses études sur les politiques scientifiques et technologiques nationales. Ses travaux les plus récents ont porté sur les aspects économiques des technologies de l'information et des communications, y compris des études sur l'impact de ces technologies sur l'emploi et, plus généralement, sur les implications de l'émergence de la société d'information dans le monde.

Les opinions exprimées dans cet article sont celles de l'auteur et n'engagent pas l'organisation dans laquelle il travaille.

BIBLIOGRAPHIE

- Ayres, R. 1987. *Future trends in factory automation*, Laxenburg, IIASA.
- Dosi, G. 1982. Technological paradigms and technological trajectories : a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change, *Research Policy*, vol. 11, n° 4.
- Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G. et Soete, L.L.G. (dir. publ.). 1988. *Technical change and economic theory*, Londres, Frances Pinter.
- Freeman, C. 1987. *Technology policy and economic performance : lessons from Japan*, Londres, Frances Pinter.
- Jacobsson, S. 1986. Technical change and industrial policy : the case of computer numerically controlled lathes in Argentina, Korea and Taiwan, *World Development*, vol. 13, n° 3, mars.
- James, J. 1986. *Microelectronics and the Third World : an integrated survey of literature*, Maastricht, The United Nations University, New Technologies Center Feasibility Study, Rijksuniversiteit Limburg.
- Kaplinsky, R. (dir. publ.). 1989. Restructuring industrial strategies, *Bulletin of the Institute of Development Studies*, Brighton, IDS, University of Sussex.
- Katz, R. L. 1986. Explaining information sector growth in developing countries, *Telecommunications Policy*, septembre.
- Miles, I., Rush, H., Turner, K. et Bessant, J. 1988. *Information horizons : the long-term social implications of new information technologies*, Hampshire, Edward Elgar Publishing Ltd.
- OCDE. 1989. *Grands programmes de R-D pour les technologies de l'information*, Paris, OCDE.
- . 1989. *Technologies de l'information et nouveaux domaines de croissance*, Paris, OCDE.
- . 1991. *La dimension économique des normes en matière de technologies de l'information*, Paris, OCDE.
- . 1994. *Technologies de l'information et perspectives économiques*, Paris, OCDE.
- Pereira, P. R. 1994. Opportunités et menaces technologiques, dans J.-J. Salomon et al. (dir. publ.), *La quête incertaine*, Paris, Economica.
- Perez, C. 1986. Microelectronics, long waves and world structural change : new perspectives of developing countries, *World Development*, vol. 13, n° 3, mars.
- Piore, M. J. et Sabel, C. F. 1984. *The second industrial divide : possibilities for prosperity*, New York, Basic Books.
- Rada, J. 1985. Information technology and the Third World, dans T. Forester (dir. publ.), *The information technology revolution*, Oxford, Basil Blackwell Ltd.
- Rosenberg, N. 1976. *Perspectives on technology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- . 1982. *Inside the black box : technology and economics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Salomon, J.-J., Sagasti, F. et Sachs-Jeantet, C. 1994. *La quête incertaine*, Paris, Economica.

Science et génie des matériaux

LAKIS C. KAOUNIDES

Les quinze dernières années ont vu éclore presque simultanément trois types de technologies dont les incidences, d'une grande portée, se sont fait sentir aussi bien sur la division du travail dans le monde que sur les investissements à l'étranger, la localisation des installations de production et de recherche-développement (R-D), les alliances stratégiques nouées par les entreprises dans le domaine technologique, la configuration des échanges intra et interrégionaux et l'emploi. Si les technologies de l'information et les biotechnologies sont actuellement au cœur des discussions, la révolution des matériaux, moins connue, est loin d'avoir reçu la même attention. Les matériaux nouveaux et avancés sont pourtant appelés à devenir des déterminants cruciaux de la compétitivité des entreprises et des branches industrielles sur le marché mondial et à apporter des solutions décisives aux problèmes pressants d'environnement, d'énergie, de transport et de santé auxquels nous sommes confrontés à l'aube du *xxi*^e siècle. Il est admis généralement aujourd'hui que les progrès à venir des techniques dans toute une gamme de secteurs de pointe — informatique et télécommunications, multimédia, aérospatiale, exploration des grands fonds marins, transports de surface, conditionnement et construction, pour n'en citer que quelques-uns — dépendent presque entièrement des solutions hautement performantes et respectueuses de l'environnement que peuvent offrir la science et le génie des matériaux.

Les chercheurs et les ingénieurs possèdent maintenant des connaissances fondamentales suffisantes pour quantifier et maîtriser la relation existant entre la microstructure atomique et moléculaire d'un matériau, son mode de traitement ou de fabrication, les propriétés qui en résulteront et son comportement à l'usage. D'où une capacité croissante d'améliorer pas à pas les matériaux classiques et d'en créer de nouveaux qui puissent faire preuve des performances toujours plus grandes exigées au niveau de leurs applications. Il est également devenu possible de partir d'une série de propriétés requises pour concevoir et fabriquer un matériau approprié. Des matériaux entièrement nouveaux peuvent par ailleurs être créés qui serviront peut-être de base à des avancées technologiques fondamentales

ou encore à des applications ou activités industrielles inattendues. Ces tendances amènent inéluctablement à tenter de percer les secrets de la matière au niveau atomique et moléculaire et d'acquérir la capacité de la construire atome par atome et molécule par molécule. Ce souhait devrait devenir réalité dès la deuxième décennie du prochain siècle, si ce n'est avant.

Les recherches en sciences physiques comme en sciences de la vie sont principalement orientées vers l'étude des constituants élémentaires de la matière. L'explication des propriétés mesurables d'un matériau est ainsi recherchée dans la microstructure et la composition chimique qui leur donnent naissance. Et c'est en agissant au stade de la conception même d'un matériau et par le biais du procédé raisonné utilisé pour le fabriquer que le concepteur le dote des propriétés qu'il souhaite lui conférer ou donner à la pièce qui en sera faite. L'élucidation toujours plus poussée des rapports entre la synthèse atomique et moléculaire d'un matériau, son mode de traitement et de fabrication, sa microstructure et sa composition finales, ses propriétés observées et ses performances à l'usage a ainsi ouvert un champ illimité à l'invention et à l'application orientée de matériaux fonctionnels et structuraux, mais aussi à des progrès en médecine, en pharmacologie, en agriculture, en génie génétique et dans les domaines de l'exploitation minière et des sources d'énergie, ainsi que de la protection de l'environnement.

Dans ce chapitre, nous examinerons tout d'abord les origines et les caractéristiques de la révolution des matériaux puis nous passerons en revue les évolutions relatives à certaines catégories précises de matériaux. Nous nous pencherons ensuite sur quelques-unes de leurs incidences cruciales pour les pays et les régions dans un monde axé sur la production industrielle et régi par la science, la technologie et la concurrence. L'idée fondamentale qui ressort de cette analyse est que les stratégies technologiques et industrielles doivent être aujourd'hui étroitement et indissolublement liées à une stratégie relative aux matériaux, et réciproquement.

ORIGINES HISTORIQUES DE LA RÉVOLUTION DES MATÉRIAUX

Les perspectives ouvertes par la physique quantique au début du siècle ont considérablement amélioré notre compréhension des relations existant entre la structure de la matière et ses propriétés. Au cours des décennies suivantes, l'analyse, la synthèse et le traitement des matériaux ont bénéficié d'apports théoriques plus fondamentaux qui ont débouché sur l'élaboration de matériaux avancés utilisés, notamment, dans la production de l'énergie atomique, l'électronique et les programmes spatiaux. Ces progrès de la théorie ne pouvaient cependant fournir que des indications qualitatives pour la modélisation et la prévision.

Les découvertes de la physique quantique n'ont pu être plus pleinement exploitées que tout dernièrement. Depuis le début des années 80, une pléiade de nouveaux instruments puissants, tels que le microscope électronique à balayage à effet tunnel, ont apporté aux scientifiques une vision beaucoup plus précise de la structure électronique, atomique et moléculaire des matériaux. En outre, la croissance exponentielle de la puissance des ordinateurs leur a permis d'élaborer, au moyen de superordinateurs à grande vitesse, des modèles mathématiques du comportement physique, chimique et mécanique très complexe de matériaux tant monolithiques que composites. En s'aidant d'une instrumentation de pointe assistée par ordinateur, de la modélisation mathématique et de techniques expérimentales, les chercheurs commencent à être en mesure de caractériser des microstructures de manière quantitative pour décrire aussi bien la structure d'un matériau alors même qu'elle évolue au cours d'un traitement que son rapport avec les propriétés résultant du traitement. Déjà des études — il est vrai encore au tout premier stade — sont entreprises qui visent, en faisant appel aux lois de la mécanique quantique et statistique, à établir une description quantitative du comportement des matériaux au niveau de l'interaction entre des groupes importants d'atomes et d'électrons, puis à l'utiliser dans la mise au point des matériaux.

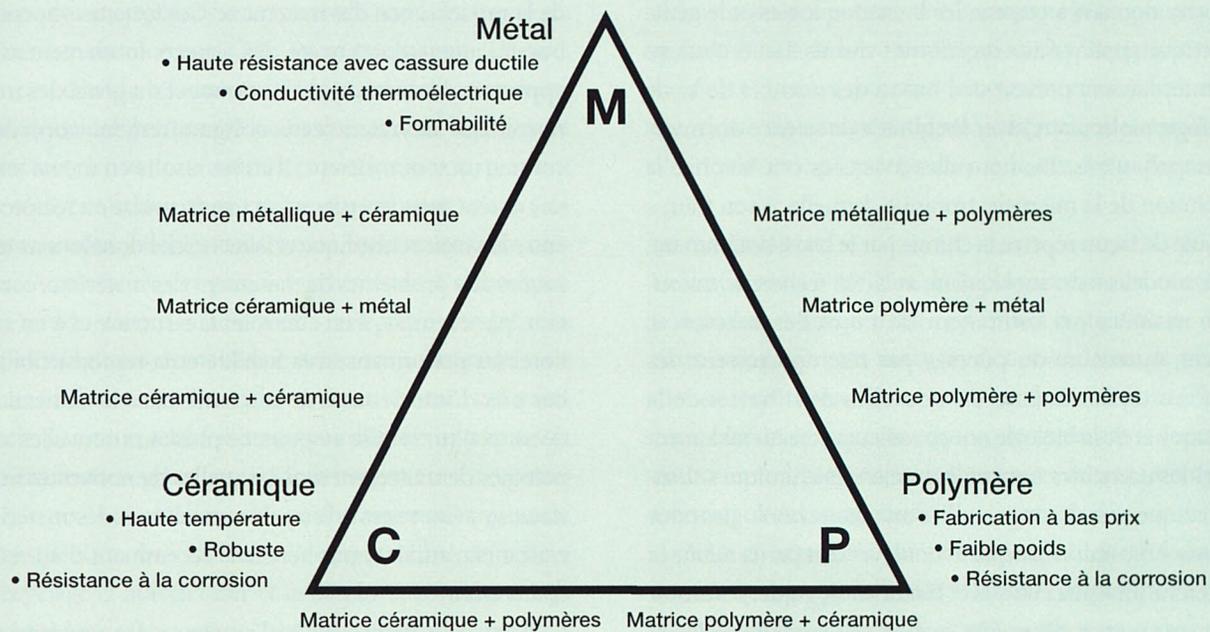
SCIENCE ET GÉNIE MODERNES DES MATÉRIAUX

La science et le génie des matériaux (SGM) modernes se sont dégagés des divers domaines dont ils tirent leurs fondements scientifiques — la physique de la matière condensée, la chimie des solides et la chimie synthétique, conjuguées à l'expérience concrète des ingénieurs ainsi qu'à la R-D et à la pratique industrielles — pour offrir une approche globale des matériaux. Celle-ci est précisément articulée autour des interactions et relations étroites existant entre la structure/composition d'un matériau, ses propriétés, ses performances à l'emploi et son procédé de synthèse/fabrication. Cette approche de la mise au point des matériaux est actuellement à la fois indispensable et applicable à toutes les catégories de matériaux, rendant de ce fait obsolètes toutes les autres méthodes empiriques et artisanales. Les améliorations des matériaux existants et l'introduction de nouveaux matériaux s'appuient ainsi sur les méthodes et les outils de SGM modernes, forts d'une solide composante « science pure », couplée à une très large compétence en matière de traitement, fabrication et ingénierie. Les SGM modernes étant appliqués à l'ensemble des catégories de matériaux, tous les matériaux deviennent en un sens de « nouveaux » matériaux. A la fin des années 80, la science des matériaux et la recherche appliquée dans ce domaine avaient amélioré, dans une mesure encore inconcevable au début de la décennie, les moyens de manipulation et d'élaboration des matériaux, par exemple au niveau de l'atome.

Les années 80 et 90 : comprendre et maîtriser la structure et les propriétés de la matière

C'est cette capacité presque incroyable et toujours plus poussée que possèdent les spécialistes des matériaux d'intervenir aux niveaux de l'électron, de l'atome, de la molécule et de la macrostructure, de caractériser quantitativement, modéliser, prévoir et maîtriser l'évolution d'une microstructure tout au long d'un procédé de traitement et d'en manipuler et améliorer les propriétés afin de mettre en œuvre les applications industrielles et militaires recher-

FIGURE 1
CATÉGORIES DE MATÉRIAUX AVANCÉS



Source : ALCOA, exposé présenté à la 10^e Conférence biennale sur la politique nationale relative aux matériaux.

chées qui est au cœur de la révolution des matériaux. Elle est à l'origine des améliorations majeures apportées aux propriétés et techniques de fabrication des matériaux classiques et de la prolifération de matériaux hautement évolués et performants comme les céramiques avancées, les polymères d'ingénierie, les métaux avancés et les matériaux composites (figure 1). Bien que les années 60 et 70 aient vu apparaître de nouveaux matériaux importants qui pouvaient être considérés comme avancés, les années 80 retiennent ici l'attention en ce qu'elles ont marqué une rupture structurelle dans le mode de mise au point et l'utilisation des matériaux dans l'industrie. Cette révolution des SGM et le développement fulgurant de leur capacité de comprendre les états et le comportement de la matière et d'en prévoir et maîtriser la forme et les emplois tendent à bouleverser tant les entreprises et industries qui produisent des matériaux que celles qui en utilisent.

Multidisciplinarité de la science et du génie des matériaux

La nécessité d'étudier les multiples aspects de la structure des matériaux, de leur composition, de leur caractérisation, de leur synthèse et de leurs techniques de traitement et de fabrication amène à intégrer et faire interagir de nombreux domaines et disciplines jusque-là spécialisés, qui se voient de plus en plus souvent réunis en vue d'une collaboration synergique. La science des matériaux est maintenant une science multidisciplinaire qui a besoin des apports de la physique des solides, de la chimie, de la métallurgie, des sciences des céramiques, des matériaux composites, des surfaces et des interfaces, des mathématiques, de l'informatique, de la métrologie et des sciences de l'ingénieur. En fait, la séparation rigide des différentes disciplines n'est plus de mise car les barrières ou frontières qui les séparaient commencent à s'estomper. L'orientation de la science

moderne vers l'étude des particules élémentaires, des atomes et des molécules concerne tous les matériaux, quelle qu'en soit l'origine, et touche et englobe en fait d'autres domaines comme les biotechnologies et le génie génétique appliqué aux organismes vivants. Les évolutions récentes laissent prévoir une fusion des sciences de la vie (biologie moléculaire) avec la chimie et la science des matériaux polymères. De nouvelles avancées ont favorisé la révolution de la microélectronique, laquelle, à son tour, a stimulé de façon répétée la chimie par le biais, notamment, de la modélisation moléculaire et de la recherche rationnelle assistées par ordinateur de nouvelles substances actives, ou encore du pilotage par microprocesseur des procédés de fabrication. De nouvelles découvertes de la physique et de la biologie ont par ailleurs considérablement élargi les domaines ouverts aux sciences chimiques. L'informatique s'est désormais alliée aux biotechnologies pour créer la « bio-informatique », bouleversant par là même la recherche pharmaceutique et biotechnologique. Il s'ensuit que pour mener à bien des recherches fondamentales, il est maintenant essentiel et même indispensable de pouvoir mobiliser une gamme étendue de connaissances et instaurer une collaboration synergique. Il est clair, en tout cas, que la synthèse et le traitement des matériaux posent des problèmes d'une nature et d'une complexité telles qu'ils exigent désormais l'union des forces de multiples disciplines, de différents spécialistes et d'équipes de chercheurs qui travaillaient jusque-là séparément. Il devient donc crucial, aux niveaux des entreprises, des branches industrielles, des universités, des laboratoires de recherche et même des économies nationales, de pouvoir organiser de manière transdisciplinaire la conception ainsi que la mise au point et la fabrication de matériaux ; ces activités tendent en outre par nécessité à s'internationaliser.

IMPORTANCE DES ACTIVITÉS DE SYNTHÈSE ET DE FABRICATION

Intervention de la science dans la fabrication

Des chercheurs appartenant à toutes les disciplines et spécialités sont associés de plus en plus aux opérations de

traitement et de fabrication des matériaux. En retour, les ingénieurs des matériaux doivent se tenir très au fait des dimensions scientifiques et théoriques de la conception et de la modélisation des matériaux. Ces facteurs ont contribué à l'intégration étroite des aspects fondamentaux et appliqués du domaine de la science et du génie des matériaux, qui devraient être obligatoirement considérés comme un tout cohérent. Il en est résulté en même temps des rétroactions fructueuses et une fécondation réciproque entre le savoir scientifique et la recherche de solutions techniques aux problèmes de traitement des matériaux consistant, par exemple, à en contrôler la structure et à en améliorer les performances, la fiabilité et la reproductibilité à bas prix. L'intervention de la science dans la fabrication a débouché sur la mise au point de plusieurs nouvelles technologies de traitement sans lesquelles de nouveaux matériaux seraient restés à l'état de curiosités et des matériaux existants n'auraient pas bénéficié récemment d'un regain d'attention.

Il est quasiment inutile d'améliorer les propriétés de matériaux existants ou de créer des matériaux entièrement nouveaux si l'on ne met pas au point les technologies indispensables à leur production, ainsi que le matériel et les machines nécessaires pour en tirer des composants, pièces profilées et sous-ensembles destinés à entrer dans des systèmes techniques complexes et pour effectuer le montage de ces systèmes. Dans le cas des matériaux métalliques, les connaissances de la science et du génie des matériaux ont été mises à profit pour améliorer radicalement les propriétés, la tenue et les coûts de fabrication des produits et offrir ainsi une nouvelle génération de métaux et composites à matrice métallique hautement performants si on les compare aux métaux présents sur le marché il y a dix ans. De nouveaux procédés de traitement comme la solidification rapide, le moulage par injection et bien d'autres viennent accroître considérablement la qualité des métaux. En même temps, différents types d'alliages, les aciers très résistants, les composites à matrice métallique et les structures laminaires peuvent se prévaloir, sur les plans de leur comportement, de leur coût et de la facilité de leur mise en œuvre, de fantastiques progrès qui les protègent de la

concurrence des céramiques et des polymères tout en ouvrant aux métaux de nouveaux domaines d'utilisation.

Si les aciers ont été perfectionnés au cours des dernières années, par exemple, c'est en raison du recul des frontières de la connaissance en SGM. Toute une gamme d'aciers avancés, dont la résistance — à la corrosion notamment — et la formabilité ont été améliorées et dont la chimie et la microstructure sont contrôlées avec précision, peuvent être réalisés à la demande en vue d'applications dans l'industrie automobile, les constructions de haute technologie et l'exploration des grands fonds marins. L'élaboration et la production des aciers ont enregistré des percées méthodologiques ayant donné naissance à toute une série d'aciers faiblement alliés et hautement résistants, d'aciers durcis par traitement thermique, d'aciers ultrapurs et d'aciers revêtus grâce auxquels les ingénieurs de l'automobile peuvent améliorer les performances des voitures, leur esthétique, leur confort et leur rentabilité, en faciliter le recyclage et automatiser et assouplir encore davantage les procédés de fabrication. Près de la moitié des nouveaux aciers actuellement utilisés dans ce secteur n'étaient pas encore sur le marché il y a seulement six ans. Or aujourd'hui, une nouvelle génération de technologies et systèmes avancés de revêtement multicouche donne aux ingénieurs la possibilité de concevoir « sur mesure » la protection de la surface et du dessous des carrosseries. Il y a dix ans, seulement 10 % des carrosseries contenaient des aciers à revêtement métallique résistant à la corrosion. Au milieu des années 90, on prévoit que ces matériaux vont entrer pour 60 à 100 % du total dans la construction de la plupart des nouvelles voitures aux États-Unis d'Amérique, en Europe et au Japon.

La synthèse de matériaux entièrement nouveaux et de matériaux classiques grandement améliorés — plastiques, résines synthétiques, fibres, matériaux en feuilles minces (films), verres purs, céramiques structurales et pour l'électronique, matériaux composites à matrice polymère ou métallique, alliages avancés d'aluminium et d'acier — permet de créer des produits encore plus évolués techniquement, telles les nouvelles générations de réacteurs et structures d'aéronefs, automobiles, robots, téléviseurs couleurs,

magnétoscopes, etc. L'orientation des industries utilisatrices vers des produits de haute technologie et d'une complexité croissante les conduit à exiger des matériaux une technicité et des performances toujours plus grandes, stimulant ainsi à la fois l'amélioration des matériaux traditionnels et la mise au point de nouveaux matériaux avancés, dotés de caractéristiques entièrement nouvelles et d'ensembles de propriétés encore inouïs il y a dix ans.

La synthèse

La synthèse est à l'origine de la plupart des avancées dans le domaine des matériaux : invention de matériaux originaux aux propriétés novatrices et révélateurs de phénomènes inédits, meilleure maîtrise de la structure, de la composition et, par conséquent, des propriétés des matériaux connus, progrès des technologies de traitement et de fabrication des matériaux.

Tout en restant largement dépendant de la recherche scientifique, la synthèse des SGM n'en est pas moins organiquement liée au traitement et à la fabrication des matériaux solides. Le choix des réactions de synthèse influe en effet sur les procédés de traitement qui leur font suite ; en outre, les techniques de fabrication modernes, le moulage des plastiques par injection par exemple, fondent en un unique processus les étapes de synthèse et de traitement qui deviennent dès lors simultanées. Les activités de synthèse, de traitement, de fabrication et de mise en œuvre industrielle des matériaux fusionnent ainsi sous les effets conjugués de forces internes aux SGM et de pressions nées de l'élaboration de nouvelles technologies de production, ainsi que du besoin toujours croissant d'appliquer les résultats de la recherche fondamentale aux activités industrielles et militaires.

A l'heure actuelle, une entrave majeure à la diffusion des matériaux avancés dans une large gamme de domaines technologiques et d'applications industrielles tient à la difficulté de transformer les substances brutes ou de synthèse pour les produire sous des formes fiables, utiles et bon marché, conditionnées par grands volumes, telles que des films, fils, composants, dispositifs ou pièces propres à entrer dans des systèmes techniques complexes. Cette

entrave est particulièrement flagrante dans le cas des céramiques structurales avancées, des composites et des nouveaux supraconducteurs à haute température. En outre et surtout, il devient évident que la compétence technologique en matière de traitement et de fabrication des matériaux est le déterminant crucial de la compétitivité internationale des infrastructures et branches industrielles nationales, que leurs activités soient d'ordre traditionnel ou fassent appel à la haute technologie.

DÉFINITION DES MATÉRIAUX AVANCÉS

Dans son annuaire de 1992 (rédigé en 1994), le Bureau des Mines des États-Unis concentre son attention sur quatre grandes technologies qui représentent l'essentiel de l'industrie américaine des matériaux avancés, à savoir les céramiques avancées, les composites polymères avancés, les composites à matrice métallique et les composites carbone-carbone. Les matériaux avancés sont définis comme étant les « polymères, métaux, céramiques composées de plusieurs matériaux, alliages ou composites. Les éléments qui en sont faits présentent des rapports résistance mécanique-densité plus élevés que ceux des objets en matériaux classiques, une dureté et une résistance à la chaleur plus grandes et une ou plusieurs propriétés thermiques, électriques ou optiques supérieures. Les matériaux avancés sont à la base de nombre de technologies d'avenir ; ils permettent de réaliser des économies générales d'énergie, d'obtenir de meilleures performances à un coût raisonnable et d'être moins tributaire de l'importation de ressources minérales sensibles et à caractère stratégique ».

LES MÉTAUX AVANCÉS

Les métaux et alliages de hautes performances, tant monolithiques qu'associés à des éléments non métalliques dans des composites, sont au premier plan de la recherche sur les matériaux avancés. Ils occupent une place importante dans beaucoup d'applications aérospatiales de pointe — de l'aéronautique militaire aux transports aériens civils

subsoniques ou supersoniques et à la construction d'engins et systèmes de défense stratégique spatiaux. Leur coût élevé s'est jusqu'à présent opposé à ce qu'ils pénètrent profondément d'autres marchés que celui de l'aérospatiale. Cependant, nombre de sociétés japonaises diversifient leurs activités en direction des nouveaux matériaux, y compris métalliques. Quelques-unes mettent au point des composites à matrice métallique (CMM) en vue d'applications industrielles en dehors de l'aérospatiale et, en fait, occupent déjà une place dominante pour celles qui concernent la fabrication d'articles de sport et de pièces de moteurs. Le Japon et l'Europe disputent aujourd'hui vigoureusement aux États-Unis la prépondérance dans le secteur des métaux avancés et en particulier des alliages aluminium-lithium, des CMM et des composites intermétalliques : l'Europe s'appuie sur l'expertise qu'elle a acquise dans le domaine aérospatial tandis que le Japon a pour atout ses hautes capacités sidérurgiques. Dans ce secteur, les entreprises américaines sont surtout actives sur les marchés de l'aérospatiale et de la défense. Étant donné les pouvoirs cruciaux que confère la technologie des métaux et alliages avancés, tout pays désireux d'acquérir et de garder une position forte dans l'aérospatiale (comme c'est le cas, par exemple, de la République de Corée, du Japon, de l'Europe et du Brésil) doit disposer de puissants moyens dans tout un éventail de technologies des métaux avancés. De même, si les États-Unis veulent maintenir leur suprématie dans le domaine aérospatial, ils doivent la conserver dans celui des métaux avancés.

LES CÉRAMIQUES AVANCÉES

Les céramiques avancées sont des matériaux tirés des oxydes, nitrures et carbures de silicium, aluminium, titane et zirconium qui sont traités ou renforcés à haute température. Ces types de matériaux avancés non organiques et non métalliques sont apparus au cours des dix à quinze dernières années pour répondre à des besoins précis de l'industrie et de la haute technologie.

Les céramiques avancées trouvent des applications croissantes en fibro-optique et dans la fabrication de sub-

strats électroniques et circuits d'ordinateurs, de nouveaux matériaux électroniques actifs et passifs, de certaines pièces d'automobiles (les garnitures intérieures de pistons par exemple), d'outils de coupe, des turbines à gaz perfectionnées, des blindages et des réacteurs d'avions, entre autres nombreux domaines. D'intenses recherches sont menées pour améliorer la compréhension des principes de la synthèse et du traitement des céramiques structurales et à usage électronique et optiques considérées comme des plus prometteuses en vue de futures applications.

La production des céramiques fait appel aux procédés de formage des poudres, de dépôt en phase vapeur, de traitement chimique et de fusion. Un effort systématique d'amélioration des propriétés des céramiques et de la commande de leurs processus de fabrication est en cours.

La large diffusion à venir des céramiques avancées passe par la baisse du prix des poudres, une automatisation plus poussée de la production, une réduction du taux de rebuts et des coûts de finition et la mise au point de nouvelles technologies de traitement.

C'est actuellement l'électronique qui offre aux céramiques avancées leurs principaux débouchés car les applications structurales n'ont pas encore répondu aux espoirs qu'elles avaient suscités. En 1992, la production mondiale de céramiques pour l'électronique a été de 428 000 tonnes, contre 125 000 tonnes pour les enduits céramiques et seulement 29 000 tonnes pour les céramiques structurales. Selon les projections faites par le Bureau des Mines des États-Unis jusqu'en 2002, la production mondiale des céramiques va augmenter au taux annuel moyen de 4,6 % pour les produits à usage électronique, 1,7 % pour les enduits et 3,8 % pour les céramiques structurales.

LES POLYMÈRES AVANCÉS

Pour construire la structure moléculaire des polymères de manière à obtenir une microstructure bien déterminée, présentant les propriétés désirées, il est indispensable d'élaborer de nouvelles technologies de fabrication. Non contente de continuer à perfectionner les polymères, résines, fibres et films synthétiques et les plastiques tech-

niques, l'industrie chimique s'est aussi lancée dans la mise au point d'alliages de polymères donnant des matériaux aux propriétés entièrement nouvelles. La combinaison de différents polymères ouvre en effet des possibilités totalement inédites car alors les propriétés de ces produits s'additionnent ; il n'est pas surprenant que cela ait conduit de nombreux laboratoires industriels, dans le monde entier, à appliquer aux fibres, films et peintures le principe de l'alliage initialement associé à la métallurgie. Les polymères hautes performances représentent un autre domaine de recherche majeur, où l'on vise à satisfaire la demande des industries automobile, aérospatiale, électrotechnique et électronique.

LES COMPOSITES AVANCÉS

Les matériaux composites avancés présentent deux atouts majeurs : d'une part, leur choix s'impose lorsque les performances très poussées exigées ne peuvent être obtenues au moyen de matériaux monolithiques. D'autre part, du fait qu'ils peuvent être adaptés à des besoins précis, à une distribution déterminée des contraintes-déformations et à des températures et autres conditions d'utilisation particulières, ils sont appelés à devenir les principaux matériaux industriels du futur et à écarter les matériaux monolithiques de nombreuses applications. Les nouvelles techniques exigent de plus en plus des matériaux combinant des propriétés qu'un seul matériau ne peut présenter. Un mélange associant un matériau matriciel à un agent de renfort bien défini peut conférer au composite obtenu des propriétés qu'aucun des deux matériaux de départ ne possède en propre.

Le matériau matriciel est sélectionné en fonction de la température que le composite devra supporter à l'usage. Les matrices polymères sont faites de plastiques thermodurcis qui ne peuvent pas fondre ou d'époxydes qui sont des matériaux thermodurcissables. Il est évident que le choix de la matrice détermine la manière dont le matériau sera traité et mis en œuvre. Dans le cas des composites à matrice polymère (CMP), il s'agit d'un long processus. Des fibres, qui se présentent sous la forme de fils ou de faisceaux,

sont imprégnées de la résine matricielle puis assemblées, le plus souvent à la main ou par empilage automatisé de multiples couches, pour former une structure laminaire. Si la résine utilisée est thermodurcie, la structure doit être cuite en autoclave selon un procédé coûteux qui suppose souvent de la maintenir à haute température pendant plusieurs heures. Les CMP se caractérisent par leur légèreté et le fait qu'ils présentent une grande rigidité et une forte résistance aux contraintes dans le sens des fibres de renfort ; c'est pourquoi ils sont utilisés dans la construction des avions, voitures et autres engins mobiles. Cependant, ils se décomposent aux hautes températures. En outre, leur procédé de fabrication, quoique de plus en plus automatisé, demande une main-d'œuvre importante et ne se prête donc pas à la production industrielle de masse à faible coût. Pour pouvoir commercialiser ces composites avec succès, il faudra d'abord en réduire le prix de revient et en améliorer les procédés de fabrication. En 1989, les ventes mondiales de CMP ont atteint, selon l'Aerospace Industries Association des États-Unis, quatre milliards de dollars. L'Office of Technology Assessment du même pays évalue par ailleurs à 20 milliards de dollars le montant annuel des ventes de composites avancés vers l'an 2000. Ces matériaux sont d'une importance vitale pour l'aérospatiale mais leur emploi va également se répandre de plus en plus dans l'aéronautique civile et peut-être aussi dans l'industrie automobile. Pour les CMP, le Bureau des Mines des États-Unis prévoit un taux moyen de croissance mondiale de plus de 6 % par an jusqu'en 2002.

Lorsque les températures d'exploitation prévues sont si hautes qu'elles peuvent dégrader les CMP, l'option envisagée est celle des matériaux composites à matrice métallique (CMM). Cependant, les métaux ont une densité élevée comparée à celle des polymères (c'est pourquoi les « métaux légers », aluminium, magnésium et titane, sont les plus communément utilisés comme matrices) et leur traitement est particulièrement délicat. Les CMM présentant le plus grand potentiel sont ceux qui comportent une matrice d'aluminium obtenue par métallurgie des poudres et renforcée par des particules, whiskers et paillettes de carbure de silicium, et les systèmes à base d'aluminium liquide

renforcé par des fibres d'alumine semi-continues préformées. L'avenir des CMM est problématique à plusieurs égards. Fabriqués à partir de matières premières coûteuses au moyen de technologies complexes, ils présentent un prix de revient sensiblement plus élevé que celui des matériaux concurrents. En outre, la liaison entre le matériau matriciel et l'agent de renfort a tendance à se rompre à la suite de cycles de montée en température répétés, et l'interface est susceptible de se dégrader sous l'effet de réactions entre la matrice métallique et son renfort. Là encore, les améliorations apportées aux technologies de fabrication seront d'une importance cruciale pour la large diffusion à venir des CMM. Estimée à 9,3 % en moyenne, la croissance annuelle mondiale des ventes de CMM concerne principalement leurs applications dans l'industrie automobile.

Dans les cas où la matrice doit être aussi résistante à la chaleur, légère, rigide et solide que le matériau de renfort, c'est la céramique qui est utilisée. Alors que dans les CMP et les CMM, les fibres ont pour fonction de rendre le matériau résistant aux contraintes, dans les composites à matrice céramique (CMC), elles arrêtent la propagation des fissures, autrement dit assurent la ténacité du composite, qui tire sa rigidité et sa résistance de la nature même de sa matrice. Beaucoup de CMC deviennent plus tenaces et donc plus résistants lorsque la température à laquelle ils sont soumis augmente. Mais c'est précisément cette propriété qui en rend la fabrication difficile.

De tous les composites connus, les composites carbone-carbone (CCC) sont ceux qui supportent les températures les plus élevées. Leur matrice comme leur renfort sont faits de carbone élémentaire. Les CCC conservent l'essentiel de leur résistance à 2 500 °C et sont utilisés de ce fait pour renforcer la coiffe des véhicules spatiaux de rentrée dans l'atmosphère. Cependant, de sérieux obstacles s'opposent encore à leur commercialisation rapide : il est notamment difficile de reproduire de manière fiable les éléments en CCC et de les rendre résistants à l'oxydation aux hautes températures. La croissance annuelle mondiale des ventes de CCC jusqu'en 2002 devrait être très légèrement inférieure à 5 %. La fabrication des freins d'avions leur offre un important domaine d'application.

OPTOÉLECTRONIQUE

Il est beaucoup question depuis quelques années de la société de l'information. Mais la révolution de l'information, où interviennent l'informatique, les technologies de la communication et, maintenant, le multimedia, est inséparable de la révolution des matériaux. Les matériaux électroniques et photoniques sont à la base des systèmes d'information et de communication comme des capacités fonctionnelles croissantes qu'ils ne cessent d'acquérir. Pour doter les systèmes microélectroniques et de télécommunication de leurs fonctions actuelles, il a fallu d'abord pouvoir créer et transmettre des signaux électriques, puis les contrôler, les amplifier et les commuter. Ces progrès ont chaque fois été réalisés grâce à l'utilisation de matériaux entièrement nouveaux ou à l'amélioration des technologies de traitement des matériaux existants.

L'explosion de l'information et le besoin de communiquer de vastes quantités de données ont conduit au développement de la photonique, technologie qui fait véhiculer l'information par des impulsions lumineuses. Dans son principe, elle consiste à utiliser un guide de lumière en fibres de verre de silice pour transmettre les impulsions lumineuses générées. C'est là un moyen de transmission de l'information plus efficient que celui qui consiste à envoyer des signaux électriques le long d'un câble coaxial. Les matériaux utilisés sont des semi-conducteurs à jonction tels que le phosphore-arséniure d'indium-gallium pour le laser émettant la lumière et du verre de silice ultrapur pour le guide. Les fibres de verre ont déjà largement pénétré le secteur de la téléphonie interurbaine et locale et même la technologie des connexions entre les machines et à l'intérieur de celles-ci. Les très rapides progrès de la photonique depuis l'avènement du laser en 1958 sont en grande partie dus à la science et au génie des matériaux car ceux-ci les ont rendus possibles par la mise au point des semi-conducteurs à jonction et du verre de silice ultrapur.

La science de l'optoélectronique exploite certaines avancées de la physique des solides ayant permis de nouvelles utilisations des électrons et des photons. Elle a connu un développement rapide dans les années 70 avec l'apparition

de fibres optiques peu coûteuses en quartz, puis du laser à semi-conducteur à double hétérostructure qui facilite l'entretien des oscillations à la température ambiante. Ces percées ont donné naissance à d'importantes activités de R-D dans le domaine des télécommunications optiques, l'une des principales applications de l'optoélectronique. Ces activités se sont quelque peu ralenties depuis que les réseaux optiques se sont généralisés dans les infrastructures de télécommunication des pays développés. Le coût d'éléments cruciaux des dispositifs optoélectroniques reste cependant élevé et des efforts ont été entrepris pour tenter de produire des composants de hautes performances à bas prix.

Pour le xxi^e siècle, on s'attend à ce que les dispositifs optoélectroniques (par exemple les mémoires optiques, les écrans de visualisation, les circuits intégrés optiques et les hologrammes) soient à la base de nombreuses avancées technologiques. On pense que les percées réalisées en optoélectronique en feront l'une des technologies clés de ce prochain siècle, à côté de l'électronique.

L'optoélectronique constitue l'épine dorsale des infrastructures de l'information aux niveaux national et mondial ; c'est jusqu'à présent sur les télécommunications qu'elle a eu l'impact le plus important. La rapide expansion des moyens de communication à grande vitesse et à bas prix se combine ainsi au stockage massif de signaux sonores numérisés et à la vidéo pour poser les fondements de la communication multimédia et des super-autoroutes de l'information.

A l'heure actuelle, les marchés des composants optoélectroniques sont relativement peu développés et concernent surtout les écrans plats pour ordinateurs portatifs. Ces composants présentent cependant une importance cruciale pour des gammes entières de produits (les lecteurs de disques compacts par exemple) qui ne pourraient être fabriqués sans eux. En 1994, l'optoélectronique représentait donc un marché évalué à environ 50 milliards de dollars et appelé à atteindre en dix ans plus de 200 milliards de dollars. Rien qu'aux États-Unis, les ventes annuelles de composants optoélectroniques (principalement pour la fabrication d'écrans de visualisation) pourraient approcher les 50 milliards de dollars dans les pre-

mières années du prochain siècle et les 100 milliards de dollars d'ici à 2013.

Le multimédia

Le multimédia, qui repose sur des produits comme la télévision interactive, les CD-ROM et les systèmes client-serveur, poursuit son ascension, non sans influencer fortement sur l'informatique, les télécommunications, les médias, la domotique et l'industrie du spectacle. Le Ministère des postes et télécommunications du Japon prévoit que, vers 2010, les industries du multimédia auront créé, dans ce seul pays, 2,7 millions de nouveaux emplois et qu'elles généreront alors des revenus chiffrés à 1 230 milliards de dollars, soit environ 6 % du produit national brut (PNB) contre 1,9 % en 1990. Elles auront ainsi acquis une taille triple de celle de l'industrie automobile aujourd'hui.

Les futurs systèmes photoélectroniques intégrés

Certains chercheurs estiment qu'au XXI^e siècle, la microélectronique va s'allier à l'optoélectronique pour produire des systèmes intégrés photoélectroniques sans doute appelés à devenir les principaux systèmes de traitement de l'information. Ces systèmes photoélectroniques ouvriront vraisemblablement à l'optoélectronique son plus vaste marché commercial. Dans ces systèmes, l'utilisation de la lumière permettra d'atteindre des vitesses de traitement élevées avec une faible consommation d'énergie et un bruit réduit et d'envisager une expansion en trois dimensions. On pourra ainsi mettre au point des systèmes tridimensionnels massivement parallèles pour les utiliser dans des ordinateurs ultrarapides, des systèmes neuronaux et des systèmes optiques.

Les photons se déplacent à grande vitesse (celle de la lumière), ils ont une faible énergie et se prêtent idéalement aux interconnexions entrante/sortante. Ce sont des porteurs de signaux parfaits. Les électrons ont une charge spécifique plus élevée et sont les meilleurs porteurs qui soient pour la réalisation d'opérations logiques dans des circuits intégrés à semi-conducteurs de haute densité. C'est sur ces propriétés que sont actuellement fondés les progrès des télécommunications optiques et de la microélectronique.

A l'avenir, photons et électrons seront cependant combinés pour fournir le principe de toute une gamme de nouveaux dispositifs utilisant des circuits optoélectroniques intégrés à ultragrande échelle, éléments matériels clés des systèmes photoélectroniques du prochain siècle. Ces dispositifs pourront être fabriqués dès que l'on aura mis au point la technologie permettant de combiner les composants optoélectroniques aux composants électroniques qui conviendront.

La nanoélectronique

La miniaturisation croissante laisse prévoir, trois générations à peine après l'actuelle technologie des puces électroniques, une ère où les transistors seront trop petits pour être imprimés sur du silicium. Les dispositifs se mesureront en nanomètres (milliardièmes de mètre) et il s'agira de les faire croître sur les matériaux sous la forme d'amas d'atomes. Les chercheurs étudient depuis peu des matériaux et dispositifs construits par couches d'un atome seulement d'épaisseur. Dès lors que l'on saura maîtriser très précisément la structure et la composition de couches de matériaux épaisses de un ou de deux atomes, on sera capable de modéliser les propriétés et caractéristiques électroniques en fonction des besoins. En assemblant de manière encore plus dense des transistors encore plus minuscules, les chercheurs seront à même d'accroître la puissance et la vitesse des circuits intégrés et d'améliorer ainsi de façon spectaculaire les performances de n'importe quel appareil utilisant ces circuits.

Une percée dans la miniaturisation électronique

Le 25 octobre 1994, des chercheurs du Cambridge Toshiba Centre et de l'Université de Cambridge ont annoncé qu'ils avaient mis au point, pour la première fois au monde, un procédé permettant de fabriquer des circuits intégrés à effet quantique. Cette percée est comparable en importance à l'invention, en 1958, des circuits intégrés qui devait déboucher sur la microélectronique et une révolution de l'information qui ne cesse de s'accroître depuis le début des années 70. Le procédé de Toshiba permettrait de produire des systèmes rassemblant sur une

unique microplaquette des millions de composants excessivement petits puisque ne dépassant pas au total 10 atomes de section. Les composants des circuits seraient si petits que les électrons qui s'y trouveraient auraient, comme le prédit la théorie quantique, un comportement à la fois particulière et ondulatoire, permettant ainsi aux circuits de commuter beaucoup plus rapidement que sur les puces classiques. Une miniaturisation aussi poussée des dispositifs électroniques devrait aboutir à la construction de mémoires d'ordinateurs et de microprocesseurs 500 fois plus rapides que les puces de silicium actuelles, pour une taille 500 fois moindre. Plusieurs laboratoires avaient déjà réussi à fabriquer des composants aussi microscopiques mais selon des méthodes très coûteuses et lentes. Le procédé de Toshiba rend possible la production de ces composants en grande série.

SUPRACONDUCTEURS

Le phénomène de la supraconductivité est lié à la disparition de toute résistance électrique dans un matériau, lorsque celui-ci est refroidi au-dessous d'une certaine température critique (T_c). Jusqu'à la fin de 1986, la supraconductivité était principalement rattachée aux propriétés de métaux comme le niobium et ses alliages, dont la température était ramenée à un niveau proche du zéro absolu, c'est-à-dire zéro sur l'échelle Kelvin ($0\text{ K} = -273\text{ °C}$). Mais à ces très basses températures, seul l'hélium, dont le point d'ébullition est de 4,2 K, est liquide et peut être utilisé dans des systèmes cryogéniques. Mais une installation cryogénique à l'hélium liquide doit elle-même être refroidie au moyen d'azote liquide (point d'ébullition : 77 K), ce qui en fait un système coûteux, encombrant et d'un emploi compliqué dans les machines. La plus haute température critique connue, qui était de 23 K pour un alliage métallique de niobium-germanium, a été améliorée par une équipe d'IBM, qui a réussi à gagner 7 K en utilisant pour la première fois des céramiques, réussite qui à l'époque lui valut un prix Nobel. On a par la suite développé de nouvelles céramiques parvenant à la supraconductivité à des températures beaucoup plus élevées, par

exemple, en mai 1993, un semi-conducteur mercure-oxyde de cuivre dont la température critique était de 133 K. En décembre de la même année, on a appris la mise au point en France d'un supraconducteur composé de bismuth-oxyde de cuivre d'une température critique de 250 K, très proche de la température ambiante. La nouvelle n'a pas été confirmée à ce jour, mais a suscité un regain d'intérêt partout dans le monde.

Pourquoi la supraconductivité est-elle si importante ? En premier lieu, le fait que les matériaux supraconducteurs refroidis au-dessous de leur température critique permettent au courant électrique de circuler sans rencontrer de résistance signifie qu'il n'y a ni dissipation d'énergie ni dégagement de chaleur sur son parcours. En second lieu, un matériau à l'état supraconducteur peut produire d'intenses lignes de flux magnétique et repousser les aimants, effet connu sous le nom d'effet Meissner. Ces forces magnétiques sont si puissantes qu'elles sont capables de soulever un train au-dessus de ses rails et de le propulser à 550 km/h. En troisième lieu, les matériaux supraconducteurs ont des propriétés électroniques qui permettent aux électrons de sauter entre les composants : c'est l'effet Josephson, sur lequel on pourrait s'appuyer pour développer une nouvelle génération de superordinateurs portables des millions de fois plus puissants que les modèles actuels. Ces propriétés permettent en outre de détecter de minuscules modifications des champs magnétiques externes, comme celles qu'engendrent les ondes cérébrales, et sont exploitées dans les SQUID (superconducting quantum interference devices — dispositif supraconducteur à interférences quantiques) pour les besoins du diagnostic médical. Ces dispositifs ont déjà cours, mais ils font appel à la supraconductivité à basse température (SBT), ce qui revient cher. Mais on peut espérer qu'avec la supraconductivité à haute température (SHT), ils deviendront accessibles à tous les médecins d'ici à quelques années.

Les nouveaux supraconducteurs opérant au-dessus de la température critique de l'azote liquide sont déjà eux-mêmes capables de transformer la technologie, mais il faudrait, pour que l'on effectue une véritable percée, que l'on parvienne à la supraconductivité à température ambiante.

Une telle découverte révolutionnerait vraiment la technologie et les modes de vie, car elle permettrait de produire de l'électricité sans perte d'énergie et de fabriquer, par exemple, des minimateurs et des minicommandes susceptibles d'être utilisés dans les appareils électroménagers, les voitures, les entraînements de machines-outils, des blocs d'alimentation capables de remplacer les systèmes hydrauliques des avions et d'autres applications imprévisibles. Mais étant donné l'insuffisance de nos connaissances théoriques sur la supraconductivité des métaux et, plus encore, des nouveaux matériaux, nous ne pouvons prévoir quand la supraconductivité à température ambiante fera son apparition.

A moyen terme, les plus grands avantages économiques nous viendront des applications de la SHT à petite échelle, principalement dans les machines industrielles et les dispositifs électroniques. A long terme, on estime que la supraconductivité aura des retombées majeures dans le domaine de la production d'énergie et d'électricité, le transport et la distribution de courant, y compris en ce qui concerne les générateurs, les transformateurs, le stockage de l'énergie, les câbles de transport de l'énergie et les dispositifs pour la fusion nucléaire. Elle jouera également un rôle majeur dans les systèmes de transport à grande vitesse, non seulement les trains express à sustentation magnétique, mais aussi les systèmes de propulsion des navires et des sous-marins, les vaisseaux spatiaux et les stations spatiales, les lanceurs électromagnétiques, et autres applications intéressant l'aéronautique et l'automobile. Au siècle prochain, la supraconductivité et ses applications joueront un rôle crucial dans les solutions apportées aux problèmes urgents qui se posent dans les domaines de l'énergie, de l'environnement et de la médecine. Ces perspectives nécessitent un effort tenace et de longue haleine de la part des pouvoirs publics et de l'industrie, mais les avantages qui en seront retirés seront immenses.

MATÉRIAUX INTELLIGENTS

Les matériaux intelligents sont des matériaux avancés qui s'adaptent ou réagissent à l'environnement dans lequel ils

opèrent. Il faut, pour ce faire, qu'ils soient capables de recevoir une information, de la traiter, de prendre une décision et d'y donner suite. Un verre photosensible est un exemple de matériau intelligent capable de réagir et de s'adapter à un stimulus externe donné. Mais des matériaux susceptibles d'apprendre à répondre et à s'adapter à toute une série de stimuli complexes et multiples, à la manière des systèmes naturels, sont à l'étude. Ils offrent de riches potentialités et font l'objet de recherches poussées au Japon et aussi, mais dans une moindre mesure, aux États-Unis et, depuis plus récemment, en Europe.

Les propriétés et les capacités fonctionnelles d'un matériau intelligent sont déterminées au niveau de sa structure atomique et moléculaire. Différentes disciplines collaborent au développement des matériaux intelligents, telles la chimie des solides, la chimie des polymères et la biomimétique (littéralement, ce qui imite ou reproduit la capacité qu'ont les systèmes biologiques de percevoir les changements qui surviennent dans leur propre état ou dans celui de l'environnement et de s'y adapter). Il faut, pour que les matériaux intelligents à propriétés multifonctionnelles et de longue durée de service puissent dépasser le stade de la curiosité de laboratoire, que les techniques de synthèse, de fabrication et de traitement des matériaux progressent encore. Pour leur part, les structures intelligentes sont des assemblages d'éléments et de matériaux hétérogènes. Elles n'ont pas besoin d'être faites de matériaux intrinsèquement intelligents pour être elles-mêmes intelligentes.

La recherche consacrée aux matériaux intelligents dans le monde s'est engagée dans deux directions. Aux États-Unis et en Europe, on s'applique à doter des matériaux existants de propriétés et de fonctions nouvelles et à les intégrer à des structures intelligentes. Aux États-Unis, l'effort de recherche et les crédits qui lui sont affectés sont en grande partie consacrés aux applications militaires. Mais on cherche à présent à privilégier les applications civiles, par exemple la mise au point d'infrastructures plus sûres et plus durables pour les routes, les immeubles, les ponts et les canalisations. Au Japon, on a suivi une tout autre voie. Les chercheurs sont revenus en arrière et tra-

vallent actuellement à créer des matériaux intelligents en partant des principes fondamentaux, étudiant les fonctions des matériaux en général et les moyens de les améliorer. En se demandant quelle partie d'une machine accomplit une fonction humaine, la recherche axe ses efforts sur l'introduction de l'élément humain dans le système. Les matériaux intelligents développés actuellement au Japon deviennent capables de percevoir leur environnement, de faire la différence entre les stimuli d'y répondre sélectivement.

LA BIOMIMÉTIQUE

A l'origine de maints matériaux nouveaux à la fois intéressants et révolutionnaires, il y a l'observation de la nature. Ainsi, l'architecture moléculaire découverte dans la coquille de l'haliotide et dans la carapace des insectes est à la base de nouveaux matériaux destinés à des applications de haute technologie. La coquille de l'haliotide est un composite céramique à base de craie doté d'une organisation moléculaire unique qui lui confère une extrême résistance. En s'inspirant de ce modèle et en se servant de matériaux de haute technologie, les chercheurs ont mis au point un blindage antichoc deux fois plus résistant que les céramiques fabriquées aujourd'hui. La carapace des scarabées à cornes, légère mais robuste, a donné l'idée des composites avancés qui ont servi pour la navette spatiale. Cette carapace naturelle est un composite complexe fait de fibres entrelacées qui sont elles-mêmes souvent des composites. Elle permet à l'animal de respirer, elle l'isole, elle est élastique et comporte des organes détecteurs qui signalent les dommages. Ces propriétés sont particulièrement appréciées dans les vaisseaux spatiaux.

LES NANOTECHNOLOGIES

Avec l'inexorable tendance à la miniaturisation, nous allons vers des temps où les dispositifs à l'échelle atomique deviendront à la fois nécessaires et réalisables. A l'heure actuelle, toutes les techniques utilisent d'importantes agrégations d'atomes. Cependant, notre génération a été la pre-

mière capable non seulement de distinguer les atomes grâce aux microscopes à balayage à effet tunnel et aux microscopes atomiques, mais aussi d'entreprendre la construction de minustructures dans lesquelles chaque atome est une pierre de l'édifice. Les nanotechnologies sont la conséquence logique de notre quête de la maîtrise et de la manipulation de la matière. Elles rendront possible un jour la création de microprocesseurs bon marché, capables, sous un volume de 1 cm^3 , de traiter 10^{14} millions d'instructions par seconde (MIPS) avec autoreproductibilité, ou la fabrication de robots industriels submicrométriques. Elles recèlent en fait un immense potentiel commercial, médical, aérospatial et militaire, qui permet d'espérer parvenir à une maîtrise totale, précise et, le moment venu, financièrement accessible, de la structure de la matière. Les produits obtenus pourraient être hautement performants, étonnamment bon marché, d'un bon rendement énergétique et fiables.

Nous sommes encore loin de dominer les nanotechnologies à l'échelle moléculaire et de disposer des moyens voulus de fabrication. Le temps jugé nécessaire à leur développement pratique est de l'ordre de deux à trois décennies, les premiers résultats concernant les microprocesseurs et les machines à l'échelle moléculaire étant attendus aux alentours de 2010-2020, lorsque le potentiel des puces actuelles sera épuisé. La nanotechnologie sera à la base de toutes les technologies du siècle prochain. Elle produira sur les modes de vie, l'industrie et l'économie des effets aussi grands que ceux causés en son temps par la révolution industrielle, mais sur une échelle de temps plus courte.

NOUVEAUX MATÉRIAUX ET STRATÉGIES INDUSTRIELLES

De plus en plus, les entreprises et les secteurs industriels (et les nations) qui produisent et utilisent des matériaux doivent élaborer des réponses stratégiques à long terme face aux développements de première importance qui sont en cours dans ce domaine. Nous donnons ci-après un bref aperçu de ces développements.

Recherche fondamentale sur les matériaux

Il faut en priorité poursuivre la recherche, fondamentale et appliquée, sur le comportement des matériaux, afin de s'adapter d'ici à la fin des années 90 et au début du siècle prochain à la situation qui se dessine dans le domaine des matériaux. Les entreprises qui produisent de l'aluminium, de l'acier, du nickel, du manganèse, des produits chimiques, des céramiques, du verre et autres doivent, en collaboration avec des organismes de recherche publics et universitaires, nationaux et étrangers, développer les moyens dont elles disposent pour élucider, définir quantitativement et maîtriser la microstructure d'un matériau ainsi que sa relation avec ses méthodes de traitement et sa performance. Ces moyens doivent aussi s'appliquer à l'étude intégrée d'un matériau, des produits ou composants et du processus de fabrication. D'où l'importance capitale, dans l'entreprise et dans l'ensemble de l'infrastructure technologique, des compétences en matière de *modélisation* et de *simulation* mathématiques aussi bien que d'essais, d'évaluation et de caractérisation.

Être proche de l'utilisateur

Il importe, et c'est la seconde priorité, que les producteurs se rapprochent des clients pour leur fournir les matériaux en applications fonctionnelles et structurales sans danger pour l'environnement, écologiquement durables, d'un bon rapport coût-avantages et qui répondent à leurs besoins eu égard au produit qu'eux-mêmes fabriquent et à son mode de fabrication. En d'autres termes, les producteurs de matériaux doivent comprendre les besoins des industries clientes (du secteur de l'automobile, de l'aérospatiale, des machines, de la microélectronique et de l'optoélectronique, etc.) en termes de performance et de fabrication (procédés d'assemblage, de façonnage, de montage, etc.).

Construire la matière à l'échelle atomique et moléculaire

L'étude des matériaux tend progressivement vers l'échelle atomique. Dans les vingt années à venir, les fabricants vont parvenir de mieux en mieux à concevoir et à créer des

matériaux « à la carte » en manipulant et en organisant les atomes et des groupes d'atomes. La connaissance fondamentale ainsi que les techniques de calcul et de simulation continuant de faire de rapides progrès, les performances des matériaux connus vont s'améliorer considérablement, tandis que le temps nécessaire à la R-D va considérablement diminuer. En outre, de nouveaux matériaux verront le jour à partir de démarches quantitatives faisant appel à la physique. Les années 2010-2020 seront l'ère de la « nanophase » pour les matériaux comme pour les procédés.

SCIENCE, TECHNOLOGIE ET INDUSTRIE DES MATÉRIAUX : DES STRATÉGIES NATIONALES POUR LE XXI^e SIÈCLE

Dans presque tous les grands domaines, les changements techniques sont aujourd'hui essentiellement tributaires des progrès des matériaux. Les matériaux classiques ne peuvent pas répondre aux exigences nouvelles des technologies de pointe. Les progrès futurs de l'information et des communications, des transports de surface, de l'aérospatiale, des opérations en haute mer, de la conversion et de la conservation de l'énergie, des matériaux biocompatibles et du diagnostic médical, des produits non nuisibles pour l'environnement et des technologies « propres », de la biotechnologie et des sciences de la vie, sont donc assujettis à ceux des matériaux.

Les sciences fondamentales, pilier des nouvelles technologies

Aujourd'hui, plus que jamais, les sciences fondamentales sont à l'origine des grandes percées de la technologie et de l'assise de connaissances sur laquelle s'appuie le progrès technique. Le soutien à la recherche scientifique fondamentale est donc devenu un paramètre politique crucial dans les débats sur les stratégies à mener pour préserver sa suprématie technologique et définir des politiques industrielles appropriées. Nous remarquerons cependant que la science et la technologie entretiennent actuellement

des relations complexes, où interviennent des mécanismes de rétroaction et les interactions de la science et du marché. Par ailleurs, les pouvoirs publics et l'industrie interagissent à tous les stades de la recherche, du développement technologique et de la commercialisation.

Aux États-Unis, l'Administration Clinton a orienté la recherche fondamentale vers les besoins de l'industrie et les applications commerciales. Elle a en outre dévoilé des plans ambitieux en matière de technologie, visant à améliorer la compétitivité industrielle du pays et à développer une nouvelle génération de technologies dans le cadre d'alliances entre les pouvoirs publics, l'université et l'industrie. Cela concernera, par exemple, le secteur de l'automobile à l'horizon 2003, les systèmes d'affichage à cristaux liquides, les autoroutes de l'information et d'autres domaines actuellement à l'étude à l'Office of Science and Technology, qui dépend directement du Président.

On sait les difficultés que le Japon rencontre en matière de recherche fondamentale. Mais, pour grandes qu'elles soient, celles-ci ne sont pas insurmontables et ce serait une grave erreur que de sous-estimer l'effort et les ressources massivement engagées, depuis quelques années, au service d'une recherche scientifique créative. Des dizaines de laboratoires modernes de R-D ont été aménagés par nombre de sociétés japonaises, auxquelles l'internationalisation et l'implantation de centres de recherche à l'étranger permettent par ailleurs de puiser dans le corpus mondial de connaissances scientifiques et de recruter les meilleurs chercheurs sur le plan local.

Récemment, le Japon a décidé de doubler d'urgence ses dépenses publiques de R-D, portant celles-ci à 1 % de son PNB, et de restructurer à nouveau son système de R-D, de manière à rendre justice à l'importance croissante de la recherche fondamentale dans les technologies de pointe et à tenir compte du fait qu'il est maintenant parvenu à l'avant-garde du progrès technologique. Les seize laboratoires de l'AIST/MITI ont été réorganisés et de nouveaux centres d'excellence sont en cours de création. De son côté, le MITI a réaménagé son système de R-D, qui depuis 1993 est devenu le programme ISTF (Industrial Science and Technology Frontier).

Les nouvelles technologies :

une arme décisive dans la compétition mondiale

Les efforts, nécessairement vastes, de recherche scientifique et les déploiements de créativité ne se justifient guère que s'ils débouchent sur des techniques utiles.

D'où que viennent les nouvelles inventions dans le domaine de la technologie, les entreprises et les industries qui réussissent le mieux sont celles qui sont capables de les intégrer vite et bien à des produits ou à des procédés innovants et commercialement rentables, et de les proposer sur le marché avant leurs concurrents. Sur un marché mondial où règne une concurrence acharnée, le fait de pouvoir mettre en œuvre concurremment différents outils techniques permet aux entreprises d'aborder simultanément et selon une approche intégrée la mise au point et la fabrication d'un produit, d'où un renouvellement plus rapide des produits et de constantes innovations. Par ailleurs, la rapidité d'innovation au niveau des produits les met à même d'introduire les dernières inventions et nouveautés techniques dans des biens de consommation durables ou des machines et des équipements industriels plus élaborés qui parviennent sur le marché en un temps record. C'est pourquoi, sur le plan commercial et industriel, le succès tient aux mécanismes institutionnels et aux moyens de conception et de fabrication mettant les entreprises en mesure de traduire les progrès de la technologie en applications commerciales. Nul doute que la technologie est une arme décisive pour la conquête d'avantages sur le marché mondial.

Les technologies critiques des années 90

Dans une importante étude soumise au président Bush en mars 1991 et mise à jour en 1993 et en 1995, le National Critical Technologies Panel (USNCTP) des États-Unis a retenu vingt-deux technologies estimées critiques pour la compétitivité militaire et économique, auxquelles il faut donc consacrer davantage d'efforts. Ce groupe a souligné en particulier la nécessité pour l'industrie américaine d'adopter une approche intégrée à l'égard du développement des produits et des processus de fabrication correspondants, et noté qu'il fallait parallèlement, vu l'importance

de la somme existante de connaissances scientifiques, se préoccuper de traduire plus efficacement les progrès technologiques qui en sont le fruit en produits commerciaux et systèmes militaires de qualité, hautement performants et peu coûteux.

Les listes de technologies critiques établies par le USNCTP en 1991 et en 1993 sont semblables à celles que les Départements américains du commerce et de la défense ont publiées en 1990 et en 1991. Par ailleurs, ces dernières années, des pays aussi divers que l'Allemagne, l'Australie et le Japon ont eux aussi publié des listes de technologies critiques de pointe. Entre 1991 et 1993, en collaboration avec le Japon, l'Allemagne s'est lancée dans une entreprise de prévision technologique par la méthode Delphi dans 1 500 domaines technologiques importants. En 1994, le Royaume-Uni a entamé à son tour un programme de prévision technologique, après avoir étudié la méthode japonaise. Plusieurs rapports sectoriels ont été publiés au printemps de 1995 et le premier rapport du Technology Foresight Panel, qui reflète l'opinion de milliers d'experts britanniques, est paru en mai 1995. Le développement des technologies critiques identifiées dans ces listes exige bien sûr des efforts de R-D, mais on peut être sûr que d'ici au début du XXI^e siècle, la suprématie industrielle reviendra aux entreprises et aux pays qui auront acquis la supériorité dans ces technologies d'avant-garde, qui sont les technologies de la prochaine génération.

Alliances entre le secteur public et le secteur privé
Récemment, les États-Unis ont revu leurs méthodes de R-D suivant le modèle japonais. Taiwan et la République de Corée en ont fait autant. Pour leur part, les nouveaux programmes-cadres de l'Union européenne mettent nettement l'accent sur les applications commerciales. Aujourd'hui, la situation dans les domaines scientifiques et techniques est telle qu'il est absolument indispensable de recourir à une démarche stratégique à long terme. Bien souvent, la complexité, le coût, les risques et la longueur des opérations font que le secteur privé ne s'y aventure pas. Le développement des technologies de la prochaine génération, au marché potentiel important et nécessaires pour

répondre à des besoins sociaux, médicaux, environnementaux et énergétiques, nécessite un travail systématique à long terme de la part des entreprises, ainsi que des alliances entre entreprises et des programmes de collaboration associant l'industrie privée, les institutions de recherche publiques et les universités.

Le secteur privé peut, lorsqu'il s'agit d'opérations à risques, participer à des programmes mixtes public-privé à long terme de R-D sur les matériaux, mais rien ne l'empêche de poursuivre ses propres objectifs de R-D à long terme. De plus, les entreprises privées peuvent et doivent avoir des programmes de R-D et d'application technologique à court et moyen terme répondant à des objectifs commerciaux. Ces deux démarches sont complémentaires, elles ne s'excluent pas mutuellement et ne doivent pas être confondues.

**Le Japon dans les années 90 :
pionnier dans les sciences et technologies
de pointe**

La promotion des nouveaux matériaux, qu'il s'agisse de leur développement ou de leur utilisation, fait partie intégrante d'une stratégie à long terme visant à réorienter l'industrie japonaise vers les technologies de pointe et un type de production à forte intensité de connaissances. Le rôle des nouveaux matériaux en tant que pilier de l'évolution technique dans l'ensemble des secteurs d'avant-garde et facteur de supériorité sur les marchés pour les industries de transformation est très clairement perçu par le secteur privé comme par le secteur public. Les matériaux avancés sont donc considérés comme ayant une part déterminante à prendre à la réorientation de l'industrie vers les technologies de pointe et à la conquête d'avantages sur le marché mondial. Des centaines de sociétés japonaises se sont lancées dans les nouveaux matériaux vers le milieu des années 80 et, depuis quelques années, leurs efforts portent surtout sur la commercialisation de matériaux déjà mis au point et dont elles maîtrisent la production. Cela étant, les grandes sociétés japonaises poursuivent en les intensifiant leurs programmes de R-D à long terme sur les technologies des matériaux de base dans la perspective du

xxi^e siècle. C'est le cas, par exemple, de Toshiba, NEC, Sharp et Nippon Steel. Les entreprises de plus petite taille concentrent leurs efforts sur un petit nombre de matériaux, voire sur un seul, dont les perspectives sur le marché sont identifiables et plus immédiates.

Une redistribution mondiale et régionale de l'activité

Depuis quelques années, une redistribution complexe du travail se dessine à l'échelle internationale et régionale. C'est ainsi que l'on voit des économies plus ou moins développées sur le plan industriel et économique se tourner vers des produits et des procédés plus élaborés et à plus grande valeur ajoutée. Les pays industriellement avancés d'Europe, le Japon et l'Amérique du Nord tendent vers une production à plus forte valeur ajoutée faisant appel aux technologies avancées. Ils sont suivis de près par des économies récemment industrialisées comme le Brésil, le Mexique, Taiwan, la République de Corée et Singapour. Ces trois dernières ont annoncé leur intention d'orienter leur économie vers les technologies de pointe et d'atteindre le stade de l'industrialisation complète d'ici à l'an 2000, ou 2030 en ce qui concerne Singapour.

Ces économies sont à leur tour suivies de près par une deuxième vague de pays émergents où l'industrialisation est plus récente, parmi lesquels l'Inde, la Thaïlande et la Malaisie. Plusieurs autres pays s'apprentent à occuper les places laissées vacantes par ces derniers, à savoir l'Indonésie, les Philippines, la Chine et le Viet Nam. Les faits montrent qu'au fur et à mesure qu'ils restructurent leur économie et passent à des niveaux de perfectionnement technologique plus élevés, ces pays rencontrent des contraintes liées à la difficulté de trouver chez eux les matériaux, pièces, composants et dispositifs avancés dont ils ont besoin. Dans bien des cas, ils ne peuvent se procurer de composants avancés auprès de sources étrangères qui sont des concurrents, ou bien ceux qu'ils trouvent sont à des prix prohibitifs, de qualité inférieure ou indisponibles au moment voulu. Un certain degré d'autonomie, d'indépendance et de compétence nationales dans la technologie des matériaux est donc indispensable. Il faut en

outre qu'ils aient chez eux des fournisseurs ainsi que des sociétés de services et de maintenance pour assurer les arrières de la production locale et lui permettre d'être compétitive ou pour attirer dans certains domaines des investissements directs de l'étranger. L'importance que la Malaisie et la Thaïlande attachent à la production nationale de pièces et de composants s'explique donc par le souci de consolider le tissu industriel, de soutenir les industries utilisatrices et d'attirer des investissements étrangers portant sur des produits toujours plus sophistiqués. La rapide croissance de l'industrie électronique en Malaisie illustre bien cette tendance.

Les stratégies émergentes aux États-Unis

Plusieurs rapports récents ont mis l'accent sur les matériaux avancés, présentés comme déterminants pour la compétitivité des États-Unis et leur aptitude à accéder et se maintenir au premier rang dans le secteur des technologies de pointe. Par exemple, le Panel on National Critical Technologies (1991, 1993, 1995) a insisté tout particulièrement sur l'acquisition des techniques de synthèse et de traitement des matériaux. Il a insisté de même sur la nécessité pour l'industrie américaine d'adopter une approche intégrée, génératrice d'un processus de perfectionnement permanent, à l'égard du développement des produits et des procédés de fabrication correspondants. Étant donné l'important acquis scientifique des États-Unis, le rapport plaide pour une meilleure conversion des progrès technologiques en produits commerciaux et systèmes militaires de haute qualité, performants et bon marché.

L'importance capitale de la synthèse et du traitement des matériaux est également mise en lumière dans l'important rapport du National Research Council publié en 1989 sous le titre *Materials science and engineering for the 1990s*. Ce thème réapparaît dans le rapport d'évaluation de la Materials Research Society sur la mise en œuvre des recommandations du National Research Council et ses exigences. Ce rapport prend soin de préciser, et c'est surprenant dans le contexte américain, que les États-Unis doivent, en matière de planification, « adopter à l'égard de la R-D sur les matériaux une démarche stratégique ciblée

et faire intervenir l'industrie, les universités et les laboratoires publics ».

Ces deux documents ont apporté les éléments clés qui ont servi à l'établissement du programme fédéral relatif à la science et à la technologie des matériaux, connu sous le nom de Advanced Materials and Processing Programme (AMPP).

Un programme pluriannuel et multiinstitutionnel a été mis en route pendant l'exercice 1993 afin de saisir les possibilités et répondre aux besoins identifiés, et d'accroître l'efficacité du programme de R-D en science et technologie des matériaux. Le programme AMPP vise à améliorer la fabrication et la performance des matériaux, à augmenter la qualité de vie de la nation et à encourager la croissance économique. Il accordera une attention particulière aux interfaces entre les universités, les laboratoires publics et l'industrie ainsi qu'au processus de transfert des acquis de la recherche fondamentale vers la recherche appliquée. L'AMPP devrait contribuer à accélérer l'évolution de la R-D sur les matériaux aux États-Unis. Après avoir eu pour but de transformer les produits naturels pour créer des technologies utiles, cette dernière s'emploie de plus en plus désormais à fabriquer « sur mesure » des matériaux présentant des caractéristiques déterminées.

Les stratégies de l'Union européenne

Au sein de l'Union européenne, les efforts d'amélioration des procédés industriels et des technologies des matériaux se poursuivent et vont en s'intensifiant depuis une dizaine d'années au moins. Actuellement, on s'emploie à identifier les tendances et les besoins dans ce domaine à l'échelle de l'Union ainsi qu'à créer un cadre approprié pour permettre au secteur privé d'entreprendre des programmes de recherche-développement axés sur le marché. Une étude complète et approfondie, faite pour le compte de la Commission de l'Union européenne a été récemment consacrée à l'état actuel des procédés industriels et des technologies des matériaux, aux besoins technologiques fondamentaux qui y sont associés et à leur évolution au sein de l'Union européenne. Ses résultats révèlent que ces procédés et technologies sont, du point de vue technique et écono-

mique, de première importance pour l'Union européenne et peuvent favoriser la compétitivité industrielle grâce à l'utilisation de matériaux nouveaux, de méthodes avancées de conception et de fabrication et de stratégies finement définies. Des programmes de R-D menés en collaboration à l'échelle de l'Europe (BRITE/EURAM) sont en cours depuis 1986, avec d'importantes retombées pour l'industrie européenne.

Des occasions pour les économies riches en ressources minérales

Il faut savoir que plus de soixante éléments utilisés dans les nouveaux matériaux sont d'origine minérale — terres rares, zirconium, hafnium, bismuth, arsenic, cadmium, germanium, gallium, indium, thallium, sélénium, tellurium et autres. Certains d'entre eux, dans les économies développées, proviennent de réserves nationales limitées ou sont les sous-produits d'une production métallurgique en perte de vitesse. Pour cette raison, des pays comme les États-Unis rencontrent des difficultés dans le développement des matériaux avancés et de leurs applications, car certaines ressources minérales et les installations de traitement correspondantes leur font dans une certaine mesure défaut. Les États-Unis sont par ailleurs exposés à des problèmes considérables d'approvisionnement s'agissant de minéraux comme le césium, l'osmium, le rhodium, le rubidium et le ruthénium, qui entrent dans les matériaux avancés pour l'électronique, le secteur de l'énergie et les applications biomédicales, et dont ils ne possèdent aucune réserve. Les nouveaux matériaux offrent d'intéressantes perspectives à des pays riches en ressources minérales, comme l'Australie, le Canada, la Chine, l'Afrique du Sud et le Brésil.

La voie suivie par l'Australie, qui a décidé de développer la fabrication de matériaux avancés en faisant appel à ses propres ressources et de s'intéresser plus particulièrement aux matériaux destinés à la production de masse, comme celle des composants au magnésium pour l'industrie automobile, tout en renforçant son infrastructure industrielle et en la rattachant à l'infrastructure de la recherche fondamentale, est riche d'enseignements pour

les autres pays riches en minéraux. Par ailleurs, la levée des sanctions a incité les producteurs de métaux japonais à investir dans le secteur minier et métallurgique en Afrique du Sud. Depuis les élections de 1994 et l'arrivée de l'ANC au pouvoir, le développement du potentiel scientifique et technologique de l'Afrique du Sud, de ses secteurs minier et métallurgique en particulier, fait l'objet d'une attention considérable. Entre 1983 et 1993, le Canada a mis en place une stratégie pour les matériaux avancés, le gouvernement jouant le rôle de catalyseur dans une démarche axée sur le marché. Actuellement, les aides sont suspendues, le gouvernement étant en train de réévaluer sa stratégie en faveur d'une R-D plus efficace. Mais les matériaux avancés sont toujours considérés comme déterminants pour permettre à l'industrie canadienne de connaître une croissance adaptée aux exigences du siècle prochain. Beaucoup d'entreprises canadiennes se sont lancées dans la R-D et utilisent des métaux, des céramiques et des composites polymères avancés.

Les nouveaux matériaux et les objectifs socio-économiques des pays en développement
Il est possible aux pays en développement de satisfaire leurs besoins essentiels en matière de logement, de transports, d'emballages alimentaires, de distribution d'eau et d'énergie et de soins de santé, s'ils font appel à la connaissance scientifique et à des technologies nouvelles plus perfectionnées pour exploiter de manière plus rationnelle les ressources dont ils disposent à l'échelle nationale et régionale. La révolution des matériaux leur fournit l'occasion de mieux utiliser leurs ressources, tout en limitant au maximum leur consommation d'énergie et les atteintes à l'environnement. Elle doit aussi permettre la mise au point de matériaux avancés adaptés à leurs besoins et aux conditions qui règnent chez eux. En d'autres termes, il faut que des matériaux avancés soient spécifiquement conçus en fonction des exigences de l'industrie et de l'infrastructure des pays en développement. Il faut mobiliser, à l'échelle internationale et du monde en développement, le capital de connaissances nouvelles accumulé par la science et le génie des matériaux pour répondre aux exigences du dévelop-

pement dans les décennies à venir. Car s'il est vrai que les connaissances servant à l'élaboration des nouveaux matériaux sont répandues dans le monde entier, il reste qu'il est impossible d'assigner des objectifs aux applications et à une R-D axée sur la résolution des problèmes sans tenir compte des besoins pressants des pays en développement et des ressources dont ils disposent.

CONCLUSION

Les matériaux nous apparaissent aujourd'hui comme une technologie à fondement scientifique, à forte intensité de connaissances et à caractère générique, qui est en outre un instrument dont dépendent de plus en plus les progrès dans la plupart des autres domaines. Il faut que les entreprises, les industries et les nations constituent une masse critique de compétences scientifiques et techniques et d'infrastructures dans ce domaine et poursuivent systématiquement les objectifs prioritaires de R-D qu'elles se sont choisis pour conduire à bien de nouvelles stratégies à long terme, coordonnées et intégrées, avec pour les appuyer des infrastructures scientifiques, technologiques et d'information ainsi que des programmes d'enseignement et de formation appropriés.

Des recherches récentes révèlent que pouvoirs publics, universités et entreprises interagissent à différents stades du processus d'innovation. En fait, les liens au niveau des infrastructures nationales entre la recherche et l'industrie, ainsi que les réseaux interpersonnels et interentreprises, peuvent contribuer de manière décisive à assurer la compétitivité des entreprises et des industries nationales sur le marché mondial. Les entreprises enracinées dans une infrastructure scientifique et informative nationale ou régionale peuvent acquérir quantité d'avantages dans tel ou tel type de technologie ou d'activité. Ce chapitre appelle l'attention sur le fait que l'infrastructure nationale d'étude, de mesure et d'expérimentation des matériaux est en train d'acquiescer un rôle déterminant dans la conduite de la R-D et la diffusion des technologies de pointe dans l'industrie. Inversement, le développement d'infrastructures scientifiques et techniques nationales de haut niveau et de flux

rapides d'information qui facilitent la recherche et l'innovation, peut favoriser les investissements directs de l'étranger, l'implantation d'activités de production, de centres de R-D et de bureaux d'études sur le territoire national, assurant ainsi au pays en question des avantages économiques considérables.

Parmi les grands problèmes qui vont se poser au siècle prochain, figure la place que les économies nouvellement industrialisées et les nombreux pays qui en sont à un stade plus ou moins avancé de développement occuperont dans la division internationale du travail. Les nouveaux progrès de la science et de la technologie tendent à passer à côté de certaines nations, voire de continents ou de régions, et il est probable que ce phénomène ira en s'accroissant, à moins que la priorité ne soit donnée à l'acquisition de compétences éducatives, scientifiques et techniques ainsi qu'à la création d'infrastructures technologiques et de communication appropriées dans les nombreux pays qui risquent d'être plus marginalisés encore dans l'économie mondiale du siècle prochain. Beaucoup de décideurs, que ce soit au niveau national ou international, jugeront peut-être les considérations exposées dans le présent chapitre forcées, trop éloignées des exigences du développement ou sans rapport avec elles. Mais ce serait une dangereuse erreur d'appréciation. Il importe que les pays en développement participent, pour en partager les fruits, aux extraordinaires progrès de la science des matériaux, des sciences de la vie, de l'agriculture et des technologies de l'information, qui peuvent être orientés en fonction de leurs besoins essentiels et de leurs objectifs de croissance.

Lakis Kaounides a fait des études de sciences de l'ingénieur et reçu une formation commerciale et économique aux universités de Birmingham et d'Essex (Royaume-Uni). Après une période consacrée à la recherche à Oxford et à l'Institute of Development Studies (IDS) de l'Université du Sussex, il a enseigné dans divers établissements londoniens. Il donne actuellement des cours d'économie à la City University Business School.

Lakis Kaounides est un expert de renommée internationale, spécialisé en économie des minéraux et dans le rôle des matériaux avancés dans les stratégies économiques, le commerce et la croissance, et comme atout sur le marché mondial pour les industries de transformation et les secteurs de pointe. Il est conseiller principal auprès de l'ONUDI (Vienne) pour la science et les nouvelles technologies, ainsi que pour les stratégies technologiques et industrielles des pays en développement ou en voie d'industrialisation. Il a aussi été conseiller auprès de l'Economist Intelligence Unit, à Londres, et d'autres organisations internationales. Il a été chargé de recherche à l'Université de Sienna et chercheur invité à l'IDS, Université du Sussex. Il travaille actuellement sur les stratégies nationales et les stratégies d'entreprise en matière de matériaux avancés pour le compte de *Financial Times* de Londres.

BIBLIOGRAPHIE

- Kaounides, L. C. 1995a. Advanced materials in high technology and world class manufacturing. *Advanced Materials Technology*, série1, Vienne, ONUDI.
- Kaounides, L. C. 1995b. *Advanced materials : corporate strategies for competitive advantage*, Londres, *Financial Times*, Newsletters & Management Reports.
- Kaounides, L. C. et Muchie, M. (dir. publ.). 1996. *The materials revolution and developing economies* (en préparation).
- US National Research Council. 1989. *Materials science and engineering for the 1990s*, Washington, D.C., National Academy Press.
- US Bureau of Mines. 1990-1991. *The new materials society*, 3 vol., Washington, D.C.



3

LA PLACE DES FEMMES DANS LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE

SANDRA HARDING ET ELIZABETH MCGREGOR

Le cadre conceptuel

SANDRA HARDING ET ELIZABETH MCGREGOR

La « sexospécificité » désigne la manière dont les différences d'origine culturelle entre hommes et femmes entrent en interaction avec des pratiques scientifiques et technologiques historiquement et socialement différenciées, et les conséquences qui en résultent. Les cultures et les pratiques scientifiques et technologiques conditionnent les relations sociales entre les sexes et sont, en retour, conditionnées par elles (Collins, 1991* ; Connell, 1985 ; Cook et Fonow, 1991 ; Harding, 1986, 1987 et 1991 ; Harding et O'Barr, 1987, Lorber et Farrell, 1991, Zuckerman *et al.*, 1991). Ainsi à travers leur évolution, la répartition des rôles entre les sexes, la science et la technologie influent mutuellement sur leurs devenir historiques respectifs.

Dans la mesure où femmes et hommes n'ont pas des centres d'intérêt identiques et ne cherchent pas à connaître les mêmes aspects du fonctionnement de la nature, ils ont tendance à poser des questions différentes et à générer des projets scientifiques différents — projets qui, comme tous les autres, peuvent être menés par des femmes aussi bien que par des hommes. Notre cadre conceptuel s'appuie sur les résultats de deux décennies d'étude des relations entre les sexes et d'au moins trois décennies d'histoire et de sociologie des sciences et des techniques, dans le Nord comme dans le Sud. Nous allons brièvement résumer deux thèmes centraux de ces recherches qui aident à mieux comprendre comment les relations entre les sexes influent sur les institutions et les projets scientifiques et sont influencées par eux.

LES DIFFÉRENCES ENTRE LES SEXES

Hommes et femmes diffèrent biologiquement l'un de l'autre comme le mâle et la femelle de bien des espèces animales, encore qu'ils se ressemblent beaucoup plus que ne le prétend souvent la culture populaire. Mais la manière dont les humains pensent leurs différences biologiques et se répartissent les tâches sociales sur la base de ce qu'ils perçoivent comme relevant de telles différences, et les incidences différentes des projets scientifiques et technolo-

* Les références citées dans les textes qui suivent se trouvent dans la bibliographie, p. 366.

giques sur les femmes et sur les hommes varient selon les cultures. Cet aspect des relations entre hommes et femmes est d'ordre social. Trop souvent, lorsqu'il est question des « relations entre les sexes » (*gender*), on pense qu'il s'agit des femmes, ou de la place relative faite aux femmes et aux hommes, dans les universités par exemple, ou dans une communauté scientifique ou d'autres entités sociales. Toutefois, cette conception traditionnelle occulte d'autres aspects importants, comme les significations sociales de la masculinité et de la féminité et, ce qui est plus important, la manière dont les intérêts et les valeurs culturellement différenciés des hommes ou des femmes structurent des activités, des organisations ou entreprises sociales — y compris dans le domaine de la science et de la technologie.

Femmes et hommes tendent, à certains égards au moins, à entretenir des relations spécifiques avec la nature en raison des caractères biologiques qui leur sont propres, mais aussi parce que la société leur assigne des rôles et des activités différents et qu'ils n'ont pas, de ce fait, les mêmes curiosités, les mêmes besoins et les mêmes espoirs concernant les lois de la nature et les ressources et les dangers qui en résultent. De plus, il semble que les femmes aient tendance à organiser leurs laboratoires et leurs travaux de manière quelque peu différente de leurs collègues masculins ; or la manière dont est organisé un projet scientifique a naturellement des incidences sur la connaissance des processus naturels qu'il nous permet d'acquérir. Nous renvoyons sur ce point le lecteur aux nombreuses études consacrées à la répartition des rôles entre les sexes au sein des organisations (Acker, 1992 ; Kanter, 1977 ; Mills et Tancred, 1991).

Par conséquent, les interactions avec la nature propres à chaque sexe sont confortées par les différences existant sur le plan biologique et sur le plan des présupposés et des intérêts sociaux, ainsi que de l'organisation de la production du savoir. Il en résulte que les progrès scientifiques et technologiques ont des incidences différentes pour les femmes et pour les hommes dans n'importe quelle culture ou sous-culture. De surcroît, dans la mesure où les femmes sont exclues de la définition des grands objectifs scientifiques et technologiques, la connaissance qu'une culture

possède de la nature reflète de façon disproportionnée les centres d'intérêt, les besoins et les espoirs de la fraction masculine de la population.

Il peut être fort éclairant de se poser la question suivante : si les rôles assignés à chaque sexe dans les projets scientifiques et technologiques se trouvaient inversés, en quoi notre connaissance de la nature serait différente de ce qu'elle est ? Dans bon nombre de branches de la recherche, cela ne changerait sans doute rien, mais dans beaucoup d'autres, il est probable que si. Il serait bon de réfléchir à la manière dont les priorités scientifiques et technologiques et les représentations de la nature pourraient se trouver modifiées si des femmes dirigeaient les instituts nationaux de santé publique, les organismes réglementant la gestion de l'environnement, les politiques agricoles régionales et les projets visant à éliminer la pauvreté, et si, d'une manière générale, elles étaient davantage représentées dans les gouvernements, les organes chargés d'arrêter la politique scientifique et les sociétés multinationales.

LA SCIENCE DANS LA TECHNOLOGIE ; LA TECHNOLOGIE DANS LES SCIENCES

S'il est parfois aisé de distinguer les aspects purement scientifiques d'une question de ses aspects technologiques, cette dichotomie est souvent stérile. Il est fréquent que des projets scientifiques aient pour origine des besoins sociaux définis sous l'angle technologique avant de l'être sous l'angle scientifique — que cela soit ou non la meilleure façon de les envisager. C'est ainsi que, tant dans les pays développés que dans les pays en développement, on a souvent décrit la pauvreté comme liée (notamment) à la surpopulation. On en conclut que son élimination appelle des stratégies telles que la stérilisation et de meilleures méthodes contraceptives, ce qui nécessite au départ des recherches scientifiques.

Il existe naturellement de nombreuses autres explications plausibles de la pauvreté qui conduisent à des solutions différentes exigeant ou non des recherches scientifiques. Comme le reconnaît par exemple le rapport de la Conférence des Nations Unies sur la population et le déve-

loppement qui s'est tenue au Caire en 1994, il apparaît aujourd'hui probable que c'est la pauvreté qui est la cause de la surpopulation et non l'inverse, car les familles démunies considèrent les enfants comme une ressource économique potentielle : ils contribueront aux revenus familiaux et subviendront aux besoins des parents quand ceux-ci seront malades ou âgés. En outre, la manière de loin la plus efficace de faire baisser les taux de natalité semble être de relever le niveau d'instruction des femmes.

Le progrès scientifique dépend et/ou découle souvent de la mise au point de techniques inédites permettant de recueillir des données sur la nature. La technologie joue un rôle tout à fait central dans la science moderne, dont la méthode expérimentale repose sur des manipulations de la nature. De plus, les connaissances scientifiques acquises débouchent régulièrement sur des avancées techniques, objectif initial des recherches. C'est par exemple le cas, bien sûr, de la médecine et de l'écologie. De manière plus générale, la recherche fondamentale ne bénéficie que d'une infime fraction des crédits de la recherche, et même le choix des aspects de la nature sur lesquels elle portera est indissociable des traditions culturelles ou des enjeux sociaux contemporains. Différentes cultures peuvent fort bien faire des choix différents.

Mieux vaut donc étudier les disciplines scientifiques et technologiques par rapport aux cultures et aux pratiques dans lesquelles elles s'inscrivent. On ne saurait comprendre ni la nature des sciences et des techniques ni leur histoire et leurs méthodes actuelles si l'on n'a pas identifié les pratiques et les cultures élaborées au cours de l'histoire par différentes sociétés pour élargir leur connaissance des aspects de la nature qui les intéressaient. C'est ainsi que les métaphores et les modèles mécanistes de la nature chers aux premiers savants de l'Europe moderne étaient chargés pour eux et pour la culture à laquelle ils appartenaient d'une signification qui privilégiait un sexe et une classe. En conséquence de quoi ils ont aidé à façonner les formes d'expansion auxquelles ces sciences modernes ont contribué. Dans la mesure où ils lient des conceptions idéales culturellement localisées de la « civilisation » et de la masculinité à la capacité de dominer la nature (et la « nature »

humaine), ils demeurent encore aujourd'hui un obstacle à l'adoption de politiques de gestion de l'environnement et des sciences de l'environnement plus rationnelles (Lloyd, 1984 ; Merchant, 1980 ; Seager, 1993 ; Shiva, 1988). Si, à bien des égards, la nature est en effet semblable à une machine, à d'autres égards, elle est tout autre chose. On pourra donc se demander avec profit quelles sont les lois de la nature et leurs causes fondamentales que l'on a méconnues ou occultées pour s'être longtemps appuyé sur ce modèle unique.

Cette vision plus lucide des rapports entre les rôles dévolus à chaque sexe et la science au sein d'une société permet de rendre compte de manière plus exacte et plus approfondie de la sexospécificité dans les sciences et la technologie.

La science par qui ?

ELIZABETH MCGREGOR ET SANDRA HARDING

Quelle est la place des femmes dans la science et la technologie en 1995 ? Les femmes ont-elles accès dans ces disciplines à des formations, à des diplômes, à des postes et à des promotions dans les mêmes conditions que les hommes ? Les informations qui permettraient de répondre à ces questions sont rares, fragmentaires et difficiles à évaluer, mais il est clair que dans la plupart des pays les femmes sont désavantagées dans tous ces domaines. Des femmes scientifiques ou techniciennes siègent-elles dans les organes décisionnels et consultatifs régionaux, nationaux et internationaux ? Sur ce point, même un observateur peu averti confirmera aisément que leur présence est négligeable dans la quasi-totalité des instances qui arrêtent les politiques scientifiques et technologiques.

La véritable ampleur de cette sous-représentation demeure méconnue faute de données complètes et comparables. Tant que l'on ne s'emploiera pas à collecter systématiquement des données ventilées par sexe dans chaque institution et aux niveaux national et international, les disparités entre les sexes au sein des communautés scientifiques et technologiques demeureront invisibles.

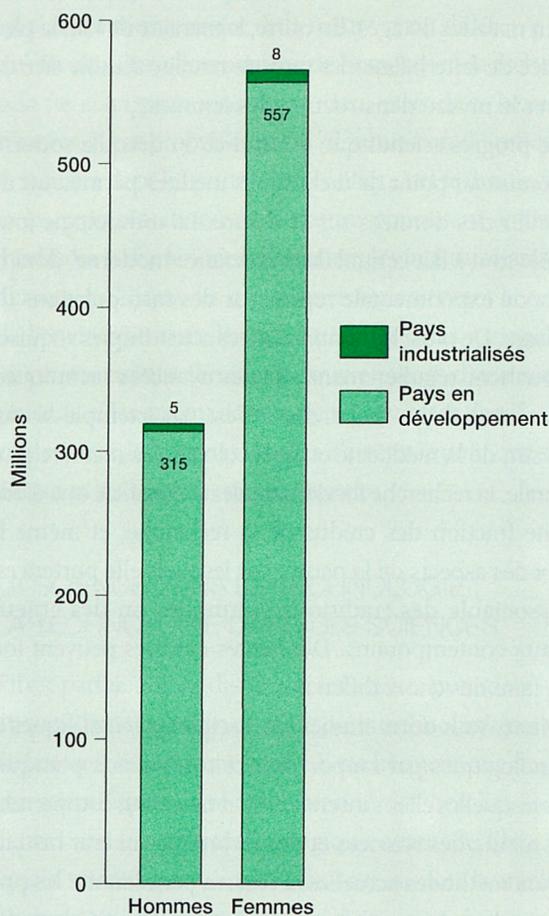
HORS DU SYSTÈME FORMEL : ALPHABÉTISATION ET ACCÈS AU SYSTÈME SCOLAIRE

Dès leurs premiers pas dans la vie, les fillettes se heurtent fréquemment à des obstacles d'ordre socio-économique et culturel qui les empêchent de bénéficier de chances égales en matière d'éducation. Seules celles qui seront capables de surmonter ces barrières initiales parviendront à franchir les portes de l'école et feront partie du vivier de jeunes talents dans lequel se recrutent les scientifiques.

Selon les rapports de l'UNICEF, quelque 30 à 50 % des enfants n'intègrent jamais le système scolaire dans les pays en développement, et une majorité d'entre eux sont des filles. Plus de cent millions d'enfants d'âge scolaire ne sont jamais allés à l'école, dont 60 millions de filles. Actuellement, près des deux tiers des analphabètes dans le monde sont des femmes, comme l'indique la figure 1, et, comme le montre la figure 2, les garçons sont scolarisés en plus

FIGURE 1
ESTIMATION DU NOMBRE D'ANALPHABÈTES
ÂGÉS DE 15 ANS ET PLUS EN 1995

Total mondial 885



Source : UNESCO, Notes statistiques, octobre 1994, STE-16, tableau 3.

grandes proportions que les filles dans beaucoup de régions du monde.

Les femmes exclues de l'alphabétisation et de l'initiation générale à la science dispensées à l'école n'ont qu'un accès limité à l'information et aux connaissances nécessaires pour prendre des décisions éclairées concernant la science et la

technologie, dans le cadre de l'élaboration des politiques publiques ou dans la vie quotidienne.

Il est urgent, on le voit, que les responsables politiques mettent en place des programmes d'alphabétisation spécifiques qui visent à éliminer les disparités entre les sexes.

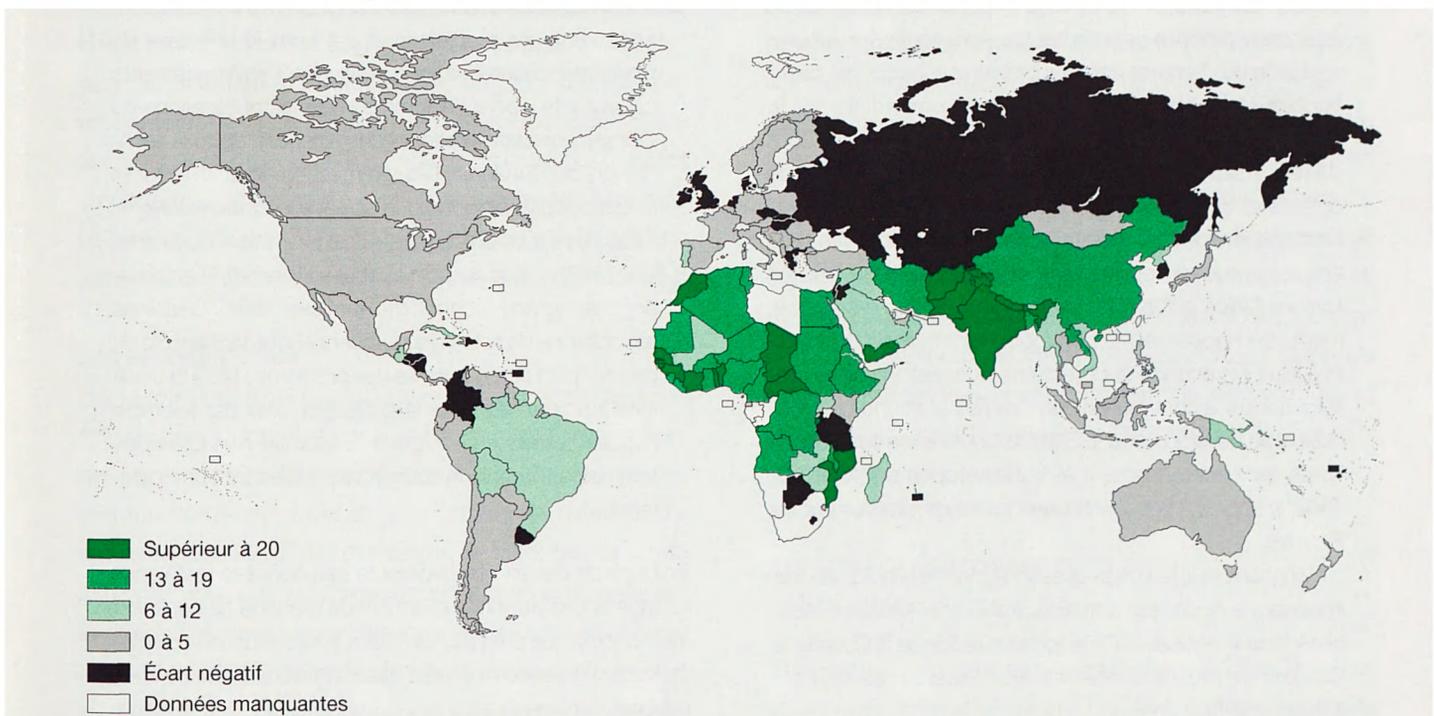
Promouvoir l'acquisition d'une culture scientifique et technique par l'éducation non formelle

Si les gouvernements sont tenus d'assurer l'éducation de tous, des efforts devront être faits parallèlement pour toucher les laissés-pour-compte en soutenant les programmes extrascolaires d'initiation à la S et T, destinés en particulier aux femmes et aux filles, des organisations tant gouvernementales que non gouvernementales. Par exemple, la Déclaration du Forum international sur la culture scientifique et technologique pour tous réuni par l'UNESCO et

ses partenaires (en particulier le Conseil international des associations pour l'enseignement scientifique) dans le cadre du Projet 2000+ a appelé à la mise en place d'un programme conçu pour développer la coopération régionale et sous-régionale entre pays en mettant l'accent sur la culture scientifique et technologique pour tous et en privilégiant les mesures en faveur des filles (UNESCO, 1993). En 1993, la Réunion du groupe d'experts organisée par UNIFEM (Fonds de développement des Nations Unies pour la femme) a publié un rapport intitulé *Women, science and technology: new visions for the 21st century* dans lequel elle pressait les gouvernements de promouvoir des programmes visant à réorganiser la présentation des connaissances scientifiques et technologiques et à les diffuser à l'intention des femmes à tous les niveaux de la société (UNIFEM, 1993a).

FIGURE 2
L'ÉCART ENTRE LES SEXES DANS L'ENSEIGNEMENT PRIMAIRE

Écart en points de pourcentage entre les taux de scolarisation, 1990 (l'écart entre les sexes est défini comme le taux de scolarisation brut des garçons dans l'enseignement primaire diminué de celui des filles)



Source : UNICEF, UNESCO et OMS dans World Resources Institute, *World Resources 1994-95*, New York/Oxford, Oxford University Press.

Pas de statistiques, pas de visibilité Pas de visibilité, pas de priorité

La manière dont sont le plus souvent collectées les données relatives à la science et à la technologie laisse relativement dans l'ombre les femmes et les questions les concernant. Les décideurs doivent absolument disposer de deux types d'informations : les taux de représentation des femmes dans les formations scientifiques (par discipline), les carrières scientifiques et techniques et les mécanismes décisionnels, et des données sur les incidences différentes de la S et T dans la vie des femmes et dans celle des hommes. Par ailleurs, on ne compte plus les recommandations qui, au cours des deux dernières décennies, ont appelé à procéder à la collecte systématique de données ventilées. Le Plan d'action mondial en vue de la réalisation des objectifs de l'Année internationale de la femme adopté en 1975 et les trois Conférences des Nations Unies sur les femmes et le développement (Mexico, 1975 ; Copenhague, 1980 ; et Nairobi, 1985) ont recommandé de renforcer aux niveaux national et international la coordination et la cohérence de la collecte de statistiques sur les femmes. A sa vingt-septième session en 1978, la Conférence générale de l'UNESCO a également proposé de collecter des statistiques sur la représentation des femmes dans les projets et le personnel scientifiques et techniques. La Conférence mondiale sur la réforme agraire et le développement rural (FAO, 1979) a demandé aux gouvernements de réviser les procédures de collecte et de présentation des données statistiques sur la participation des femmes aux activités productives. Les enquêtes mondiales menées en 1986 et 1989 par les Nations Unies sur le rôle des femmes dans le développement et le *Rapport sur le développement humain* (1990) du PNUD ont préconisé la collecte de données ventilées renseignant sur la contribution des femmes à l'économie mondiale et au développement. Enfin, la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED, 1992) a appelé à la quantification du travail effectué par les femmes.

Vingt ans plus tard, ces questions n'ont rien perdu de leur importance ni de leur actualité, aussi sont-elles mentionnées dans le texte de la Plate-forme d'action de la Quatrième Conférence mondiale des Nations Unies sur les femmes (Beijing, 1995).

En dépit de ces appels réitérés à l'action, les données ventilées par sexe demeurent rares. Certains efforts méritent cependant d'être mentionnés :

- **A l'échelon international**, l'*Annuaire statistique de l'UNESCO* demeure la source la plus complète de données sur les taux de scolarisation des filles par pays. En 1986, le *Compendium of Statistics and Indicators on the Situation of Women* publié par Bureau de statistique de l'ONU contenait des données sur la science et la technologie. Ce même Bureau consacre en 1995 une section de sa publication intitulée *World's Women* à la place des femmes dans la science et la technologie.
- **A l'échelon régional**, trois ateliers tenus récemment en Asie (*Mainstreaming Women in Science and Technology*, 1993), en Afrique (*Science in Africa : Women Leading from Strength*, 1993) et en Europe (*Women in Science*, European Community, 1993) ont apporté quelques indications sur les taux de participation des femmes aux activités scientifiques et technologiques.
- **A l'échelon national**, plusieurs gouvernements se sont attaqués à ces problèmes et ont formulé une série de recommandations visant à créer des « environnements capacitants » pour les femmes (voir les publications du Conseil consultatif national des sciences et de la technologie du Canada, « Les femmes, un atout », 1993, et « Participation of women in science and technology », 1988 ; le rapport britannique « The rising tide », Royaume-Uni 1993b ; et le rapport australien *Women in science, engineering and technology*, Australie, 1994). Certaines associations de scientifiques jouent également un rôle de premier plan dans l'analyse des problèmes liés à la place faite aux femmes dans la profession (voir par exemple l'étude publiée en 1992 par le Comité canadien des femmes en ingénierie sous le titre « Elles font une différence »).

En dépit de ces efforts, la collecte des données reste sporadique et désordonnée et souffre du manque de cohésion méthodologique d'un pays à l'autre. Cette situation doit être corrigée d'urgence au niveau des institutions et aux niveaux national et international.

Une importante stratégie consisterait à offrir aux femmes une formation technique pratique, ainsi que l'ont indiqué les représentants de pays en développement qui participaient à un atelier organisé en 1994 à Washington par le National Research Council Board of Science and Technology in International Development (BOSTID) sur le thème « Les obstacles rencontrés par les femmes des pays en développement embrassant des professions scientifiques et technologiques ». Cet atelier a souligné la nécessité d'axer davantage l'éducation non formelle sur l'acquisition des compétences techniques indispensables dans les activités à base de science génératrices de revenus pour les femmes (BOSTID, 1994).

Parmi les initiatives originales lancées en dehors des structures formelles, citons le Science and Technology Roadshow, spectacle itinérant organisé au Botswana avec l'appui du Programme d'éducation du Secrétariat des pays du Commonwealth et l'UNESCO et sous le parrainage de diverses ambassades, entreprises locales, écoles et collectivités. Des camions visitaient villes et villages pour proposer de la documentation et des vidéos présentant des modèles d'identification. Un logo et un slogan avaient été élaborés pour mieux capter l'attention du public, et des ateliers permettaient aux habitantes d'acquérir des compétences techniques, en particulier en mécanique. Autre exemple : en Chine, la Fédération panchinoise des femmes a coordonné pendant cinq ans une campagne nationale visant à alphabétiser des millions de femmes rurales et à leur offrir une formation technique (GWG-UNCSTD, 1995b).

Les savoirs locaux

Les savoirs locaux ou autochtones et leur caractère sexospécifique sont un élément important qui se situe « hors des appareils scientifiques officiels ». Ces savoirs, que les communautés produisent et se transmettent au fil du temps en fonction de leur situation, de leurs besoins et de leurs priorités, sont la somme de techniques et de connaissances qui diffèrent pour chacun des deux sexes (Appleton et Hill, 1994). En particulier, les femmes détiennent et se transmettent de génération en génération la connaissance de l'agriculture et de la sylviculture, de la diversité

de la flore et de la faune, de l'élevage, des soins curatifs, des techniques de récolte et de traitement des aliments, ainsi que des méthodes de gestion intégrée des ressources. Pourtant, dans la majorité des cas, ce sont essentiellement les approches et les techniques de la science « moderne » que l'on s'est efforcé d'intégrer dans les politiques et les programmes de développement (GWG-UNCSTD, 1995a).

La réunion du Groupe d'experts d'UNIFEM a réfléchi à l'intérêt que présentaient les savoirs locaux et appelé l'attention des responsables politiques sur la nécessité de reconnaître et de protéger de manière appropriée ces savoirs et leur caractère sexospécifique. « Alors que la plupart des femmes utilisent la science et la technologie dans leur vie quotidienne, on les considère (et elles se considèrent elles-mêmes) comme dépourvues de connaissances techniques. Lorsque la valeur de leur savoir technique est reconnue, il manque aux communautés locales, et en particulier aux femmes, la maîtrise des méthodes de négociation qui leur éviterait de se faire exploiter. » (UNIFEM, 1993a.)

Les cultures qui ne tiennent aucun compte de ces autres savoirs et de la contribution des femmes au progrès scientifique et technologique ou en sous-estiment la valeur se privent d'une riche source d'expérience et de connaissances et entretiennent inutilement une ignorance systématique qui est préjudiciable à l'ensemble de leurs membres. Le Groupe d'experts d'UNIFEM a recommandé de mettre en lumière le rôle des techniques féminines de gestion du cycle des ressources alimentaires et d'étudier la manière de combiner les savoirs scientifiques traditionnels et modernes dans des contextes commerciaux. Dans son rapport, il a également recommandé de mettre en place des mécanismes de liaison entre les femmes scientifiques et les femmes rurales (à l'image de l'Association des femmes scientifiques du Ghana).

AU SEIN DU SYSTÈME FORMEL : UN CLIMAT HOSTILE

Au sein des communautés scientifiques et technologiques, les femmes se heurtent à toute une série d'obstacles avoués ou dissimulés qui concourent à créer un climat hostile et

un environnement peu accueillant. Ces barrières empêchent les femmes de participer pleinement, sur un pied d'égalité, aux activités scientifiques et technologiques et les dissuadent de s'y intéresser ou les poussent à s'en détourner en nombre croissant dans l'enseignement supérieur comme dans le monde du travail. Des discriminations d'ordre social, racial ou ethnique sont des obstacles supplémentaires à leur entrée, leur maintien et leur promotion dans des carrières scientifiques.

Tout commence au foyer

Au foyer, les attitudes des parents peuvent influencer sur les choix des enfants et saper involontairement l'assurance, l'image de soi et les aspirations des fillettes. Les stéréotypes sociaux transmis par les parents incitent puissamment celles-ci à se désintéresser des matières techniques ou scientifiques, présentées comme ne convenant pas aux femmes, ce qui a pour effet de les tenir à l'écart de la science.

De plus, la décision des parents de n'envoyer que leurs garçons à l'école ou de pousser leurs filles à se marier et à avoir des enfants précocement peut gravement compromettre les chances de ces dernières d'entreprendre ou de poursuivre des études.

Dans le système éducatif

En classe, les préjugés et le comportement des enseignants risquent d'avoir des effets négatifs sur la confiance en soi et les performances ultérieures des écolières. Ces préjugés amènent parfois l'enseignant à se montrer moins exigeant à l'égard des filles.

Pamela Fraser-Abder décrit sous le nom de « syndrome de Pygmalion » ces différences de traitement fondées sur certaines attentes et leurs répercussions sur les résultats scolaires dans l'ouvrage intitulé *Missing links : gender in science and technology* (GWG-UNCSTD, 1995a).

En outre, il a été démontré que les notes varient selon que le prénom de l'élève figurant en tête de la copie est masculin ou féminin. Dans des études similaires, où il était demandé à des professeurs de faculté de classer par ordre de mérite des candidats à un poste de professeur adjoint,

on a constaté qu'une même candidature était nettement moins bien notée lorsque le nom masculin était remplacé par un nom féminin (Hall, 1982).

Le vocabulaire discriminatoire des manuels et des cours, renforcé par des illustrations mettant presque exclusivement en valeur le rôle des hommes dans la science, a pour effet d'inculquer des images stéréotypées et des comportements partiaux. Une étude de la Banque mondiale intitulée *Women's access to higher education* note que le caractère et les modalités des pratiques scientifiques et technologiques en projettent une image masculine, non seulement parce que les hommes jouent un rôle prépondérant dans ces disciplines, mais aussi parce qu'ils dominent le vocabulaire et l'iconographie de la littérature scientifique (DePietro-Jurand, 1994).

Les programmes d'enseignement des matières scientifiques trahissent les mêmes préjugés par leur contenu comme par leur orientation. Il importe que les cours de sciences et de technologie reflètent également l'expérience et les préoccupations quotidiennes des écolières, en particulier dans les zones rurales des pays en développement où les rôles et les responsabilités des filles et des femmes diffèrent de façon marquée de ceux des garçons et des hommes. Les femmes jouent un rôle central en matière d'agroforesterie et de gestion des ressources naturelles et ce sont elles le plus souvent qui assument l'entière responsabilité de la production des aliments nécessaires à la subsistance du ménage et à la sécurité alimentaire de la famille. Il leur incombe en outre habituellement de veiller à la santé de trois générations. Leur point de vue, leurs préoccupations et leurs problèmes de santé sont souvent différents de ceux des hommes. Faut-il s'étonner que les filles et les femmes montrent moins d'enthousiasme à entamer et poursuivre des études ou une carrière dans des disciplines où les questions qui les intéressent et se rapportent à leur expérience de la vie demeurent relativement dans l'ombre ?

La recherche sur la place des femmes dans la science n'a acquis droit de cité dans les milieux scientifiques et universitaires que depuis peu. Dans les universités, les comités qui décident des titularisations dénigrent souvent les

travaux consacrés aux préoccupations des femmes, les publications dans les revues savantes féminines, les réalisations saluées par les organisations scientifiques féminines ou les bourses accordées pour des travaux utilisant une méthodologie et des paradigmes peu orthodoxes. Les

femmes scientifiques ne reçoivent pas encore une juste compensation pour les efforts importants qu'elles doivent fournir en tant que modèles d'identification et conseillères de leurs collègues moins expérimentées. De plus, elles sont souvent appelées à exprimer le point de vue des femmes,

« Sur le terrain »

Recherche sur les innovations techniques réalisées par les femmes et les systèmes de savoirs locaux

À l'échelle internationale, une série d'études sur le terrain a souligné la dimension féminine des systèmes de savoirs locaux.

- Une édition spéciale de *Indigenous Knowledge & Development Monitor* (décembre 1994) a été consacrée aux femmes et aux systèmes de savoirs autochtones (fax : 31 70 4260329, Pays-Bas).
- **Do it Herself**, projet coordonné par l'Intermediate Technology Development Group (ITDG), a mené des recherches sur quatre continents pour identifier et renforcer la participation des femmes dans les innovations techniques au niveau communautaire (fax : 44 1788 540270, Royaume-Uni).
- **Wednet**, qui reçoit le soutien du Centre de recherche pour le développement international (CRDI) du Canada, a effectué des recherches approfondies sur la connaissance locale des femmes dans la gestion des ressources naturelles en Afrique et étend ses recherches à l'Asie (fax : 254 2 562175, Kenya).
- **From the Ground Up**, étude sur l'Afrique subsaharienne et l'Amérique latine, part de l'hypothèse que, alors que les pays en développement sont confrontés à des dilemmes considérables en matière d'environnement, on trouve parallèlement de nombreuses illustrations d'efforts réels dans les systèmes de gestion des ressources fondés sur des connaissances rurales et locales. Le projet cherche à identifier des communautés impliquées dans un développement respectueux de l'environnement

et se fixe pour objectif d'analyser ces succès pour les faire partager à d'autres communautés. Le World Resources Institute examine la place des femmes dans ces savoirs dans une série d'études de cas (fax : 1 202 638 0036, États-Unis d'Amérique).

- **ECOGEN**, en coordination avec l'Université Clark et le World Resources Institute en Asie, en Afrique et en Amérique latine, s'efforce également de comprendre les rôles attribués aux hommes et aux femmes dans la gestion des ressources naturelles (fax : 1 508 793 7201, États-Unis d'Amérique).
- **Our hands - Our history** est une étude de terrain globale dans laquelle l'Association mondiale des femmes vétérinaires, conjointement avec l'Institut interaméricain pour la coopération en matière agricole (IICA), la FAO et l'UNIFEM, explore les systèmes de savoirs des femmes en ce qui concerne la santé des animaux et la récolte en Afrique, en Asie et en Amérique latine. Un manuel d'accompagnement, *Indigenous and local community knowledge systems in animal health and production systems : gender perspectives*, renferme les questions clés en matière de politiques, et un résumé des documents officiels des Nations Unies ainsi qu'un annuaire des réseaux mondiaux (fax : 1 613 594 5946, Canada).
- **Bean Breeders in Rwanda** : ce projet du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR) rompt avec les schémas traditionnels de relations entre les centres de recherche agronomique et les agriculteurs grâce à une collaboration spécifique avec les femmes et au contrôle de variétés améliorées de haricots en collaboration avec les femmes en tant qu'experts locaux de plantes cultivées (fax : 1 202 334 8750, États-Unis d'Amérique).

ou de femmes appartenant à une minorité, plutôt que leur propre point de vue professionnel. Et lorsqu'elles le font, on accorde souvent moins de poids à leurs idées. Tout cela aboutit à cette situation paradoxale que, tout en étant sur la sellette, elles ne sont pas suffisamment écoutées (AAC, 1986).

Dans le domaine de l'avancement et du transfert des connaissances de S et T

Les mêmes préjugés sexistes qui conduisent à privilégier les thèmes intéressant les hommes lors de l'allocation des ressources influent également dans bien des cas sur la définition des priorités en matière de recherche publique et sur le développement de la S et T. Le problème de la place des femmes dans la science et la technologie ne fait pas encore l'objet d'une attention systématique de la part des gouvernements et des instituts de recherche. Les priorités sont arrêtées et les ressources allouées sans qu'il en soit suffisamment tenu compte. C'est ce qu'a constaté le Groupe de travail sur la sexospécificité de la Commission de la science et de la technique au service du développement, qui a conclu qu'en matière de développement la plupart des innovations techniques semblent correspondre aux tâches, aux intérêts et aux besoins de l'homme. Les organisations communautaires mettent de même l'accent sur le décalage entre les besoins et les intérêts des femmes et les priorités de la science et de la technologie.

Sur les lieux de travail

Dans le monde du travail, toutes sortes de barrières et de comportements visibles ou invisibles empêchent les femmes d'entreprendre et de poursuivre une carrière et d'y exceller. Des travaux ont analysé sous le nom de « micro-inégalités » les comportements discriminatoires qui, bien que souvent si insignifiants qu'ils passent inaperçus, finissent pourtant par créer un climat hostile, décourageant les jeunes filles et les femmes d'opter pour la S et T et de persévérer dans cette voie.

« On entend par micro-inégalités tous les comportements qui ont pour effet de traiter différemment, ou de tenir à l'écart, d'ignorer ou de disqualifier de quelque autre

façon que ce soit des individus en raison de caractères immuables tels que le sexe, la race ou l'âge... Les micro-inégalités créent souvent une ambiance de travail et d'apprentissage qui aboutit à un gaspillage des ressources féminines, du fait du temps et de l'énergie perdus à contourner ou combattre ces comportements. » (AAC, 1986.)

A la différence des barrières institutionnelles, ces traditions et ces pratiques sont moins apparentes et plus difficiles à déceler. Ainsi, les femmes sont nommées dans des comités moins influents, se voient allouer un budget moins important, ont plus de difficultés à s'assurer les services du personnel auxiliaire, sont placées dans des bureaux moins centraux, n'ont pas accès aux réseaux d'anciens élèves à travers lesquels circule l'information administrative et ne disposent pas comme les hommes de guides ou de modèles auprès de qui trouver conseils et appuis. Ce type d'attitudes nuit aussi parfois à l'objectivité et à l'impartialité des entretiens d'embauche. Il arrive que l'on interroge les postulantes sur leur situation ou leurs perspectives matrimoniales et/ou familiales, alors que l'on demande rarement aux hommes quelles répercussions leur carrière pourrait avoir sur leur vie familiale. Plusieurs études ont également été consacrées aux différences dans la manière de communiquer et le style de travail des femmes et des hommes. Les hommes ont tendance à se lancer dans des discours péremptaires, impersonnels et abstraits, en évitant tout contact physique. Ils préfèrent en général les rapports de rivalité, coupent la parole à leurs interlocuteurs (et plus encore à leurs interlocutrices) et aiment dominer la conversation en faisant de grands gestes par lesquels ils prennent possession de l'espace. Les femmes, au contraire, recourent à des styles de communication plus personnels et où l'écoute a une plus grande place. Elles ont tendance à regarder leurs interlocuteurs dans les yeux plus longuement et à faire des gestes exprimant l'attention et l'encouragement (AAC, 1986). Des chercheurs commencent à s'intéresser à l'hypothèse selon laquelle certains traits du « discours » et du comportement féminins pourraient se révéler bénéfiques en créant des relations de travail plus équilibrées, où chacun participe au développement des idées (Hall, 1982).

L'un des obstacles les plus souvent cités qui barrent aux femmes l'accès à la science et à la technologie est sans doute la difficulté de concilier travaux de recherche et responsabilités familiales. Les femmes qui décident de se consacrer à la maternité et à l'éducation de leurs enfants dans des périodes décisives pour leur carrière et leur avancement en paient le prix dans le système de promotions actuel. Lorsque mari et femme ne se partagent pas de manière égale l'éducation des enfants et les tâches ménagères, c'est en général la femme qui sacrifie ses études et ses perspectives de carrière sur l'autel du foyer et de la famille. Ces choix, tant qu'ils ne seront pas reconnus à leur juste valeur par la société et les instituts de recherche, priveront les femmes de la possibilité d'obtenir une promotion, une titularisation ou une bourse d'études à l'étranger, et la société d'un potentiel scientifique et technologique.

La disparité des salaires à travail égal défavorise également les femmes dans les disciplines scientifiques. Plusieurs études confirment l'écart des salaires entre les deux sexes (BOSTID, 1994 ; Australie, 1994). L'absence d'aide à la recherche d'un nouvel emploi pour le conjoint est un handicap supplémentaire pour les femmes hautement qualifiées, dont le conjoint a en général un niveau de qualification universitaire équivalent et peut donc trouver moins facilement un nouveau poste. De plus, il ne semble pas que les promotions et les titularisations augmentent au même rythme que les inscriptions à l'université, ce qui a pour effet d'étouffer les aspirations et les ambitions féminines.

Enfin, un facteur central contribuant à décourager les femmes scientifiques est leur « isolement » dans un domaine dominé par les hommes. Les efforts déployés pour rompre cet isolement et créer des liens de solidarité entre consœurs ont abouti au cours des deux dernières décennies à la constitution de plusieurs réseaux régionaux et mondiaux (voir l'encadré sur les ONG à la fin de cette partie). Dans le domaine de l'enseignement technique et professionnel, seize pays africains ont fondé en 1978 l'Association des instituts polytechniques africains du Commonwealth (CAPA) afin d'étudier les questions liées à l'intégration des femmes dans le processus du développement

par l'enseignement et la formation techniques. Au Canada, le Women in Trades and Technology National Network, fondé en 1994, se propose de promouvoir et de favoriser le recrutement, la formation et la carrière des femmes dans le domaine des métiers manuels, de la technologie, de la production et des emplois dans l'industrie. Autre utilisation novatrice des réseaux de femmes scientifiques et techniciennes : les conseils prodigués par voie électronique à celles qui débutent par des femmes ayant une longue expérience. Le réseau Systems Network propose ainsi des services d'orientation, des conseils et une messagerie aux étudiantes et professeurs d'informatique (voir aussi l'encadré sur les femmes et Internet à la fin de cette partie).

Le prix à payer quand on est une pionnière

Les femmes changeraient-elles quelque chose aux décisions intéressant la science et la technologie si elles y étaient associées en nombre suffisant ? Une étude (Etzkowitz, 1994) portant sur plus de 200 cas a récemment analysé cet apparent paradoxe : dans certaines disciplines où la proportion de femmes dans le personnel enseignant atteint une « masse critique » (fixée à 15 %), les effets et les changements qualitatifs que l'on pouvait escompter ne se sont pas produits. Des entretiens avec des femmes qui « ont réussi » dans le secteur de la science révèlent que certaines d'entre elles nient l'existence de toute barrière discriminatoire. Les auteurs analysent ce phénomène et l'expliquent par ce qu'ils appellent une « fracture entre les générations et les sexes ».

A l'évidence, les pressions des pairs poussant au conformisme s'exercent avec une force particulière sur les premiers membres d'un groupe social fraîchement admis dans le monde du travail. Pour beaucoup de femmes occupant des postes élevés aujourd'hui, l'accès à une carrière scientifique n'a été possible qu'au prix de l'adoption des valeurs et du style de travail de leurs collègues masculins. Cela ne signifie pas que les modèles acceptés soient nécessairement mauvais, mais que ceux qui permettraient à de jeunes femmes (ou à de jeunes hommes) de contribuer de manière optimale à la recherche n'en font pas toujours partie. Dans l'étude susmentionnée, la crainte

Les disparités et les tendances dans le monde

Malgré le manque de données complètes et comparables et la complexité des comparaisons entre cultures, les statistiques disponibles font apparaître quelques disparités et tendances générales qui suscitent la réflexion.

DANS LE DOMAINE DE L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE ET DANS LES CARRIÈRES UNIVERSITAIRES

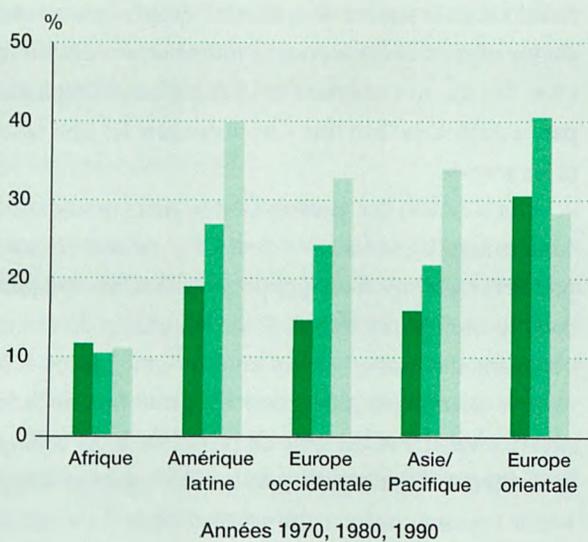
■ On constate une disparité en matière d'accès à l'école et d'inscription dans les filières scientifiques et technologiques, en particulier dans les universités et les établissements de formation professionnelle. Cette situation est loin de s'améliorer avec le temps dans toutes les disciplines ou dans toutes les régions du monde. Les pays industrialisés ne sont pas toujours ceux où les taux d'inscription sont les plus élevés, et il semble que la participation des femmes aux activités scientifiques est en train de décliner dans les pays en phase de transition.

■ Dans les pays où la science est une matière obligatoire à l'école, et non pas optionnelle, une plus grande proportion de jeunes femmes choisissent une carrière scientifique.

■ On constate que les étudiants sont poussés dans des voies différentes selon leur sexe ou qu'il y a une concentration des jeunes filles dans certaines disciplines, et les différences entre les pays industrialisés et en développement sont relativement faibles.

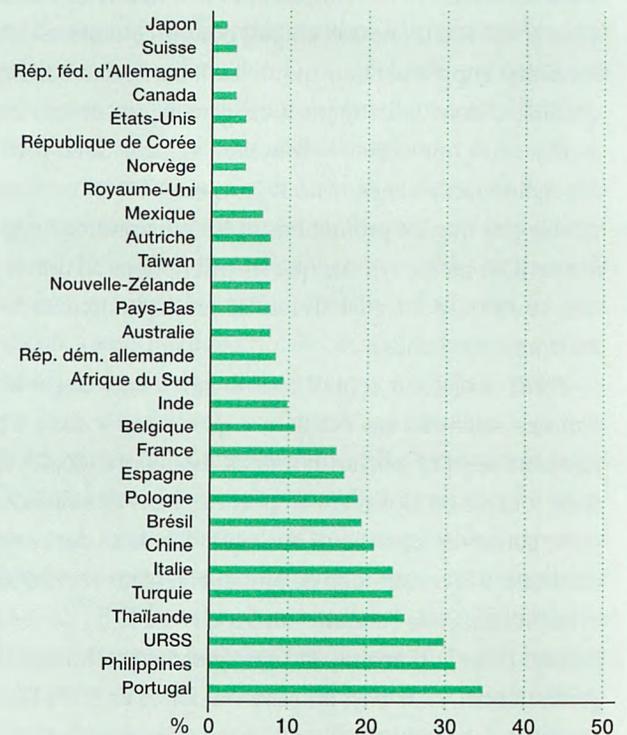
■ Dans les carrières universitaires, les hommes sont de loin plus nombreux que les femmes, et cet écart est plus prononcé dans les pays qui ont été les premiers à s'industrialiser ; la filière universitaire est une voie ardue pour les femmes, une proportion anormalement faible d'entre elles parvenant à la titularisation.

POURCENTAGE DE FEMMES FAISANT DES ÉTUDES SUPÉRIEURES SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES



Source: GWG-UNCSTD.

POURCENTAGE DE FEMMES FAISANT DES ÉTUDES SUPÉRIEURES DE PHYSIQUE, 1990



Source : Jim Megaw (1990) dans Barinaga, *Science*, 263, 1994.

DANS LES PROFESSIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

- La proportion de femmes est plus élevée dans la haute administration et les organismes publics de recherche-développement que dans le secteur privé, mais les femmes sont dans les deux cas sous-représentées.
- Les femmes hautement qualifiées en science ou en technologie qui occupent des postes au sein des administrations nationales, ou à l'ONU ou dans tout autre organisme régional ou intergouvernemental, n'y atteignent pas un nombre (« masse critique ») ou un niveau suffisant pour exercer une véritable influence.
- L'accès à des professions traditionnellement considérées comme féminines devient plus difficile pour les femmes à mesure que le statut, la rémunération et la reconnaissance qui s'y attachent deviennent plus attractifs, et les hommes y affluent en nombre croissant. Inversement, ils abandonnent les secteurs qui se dévalorisent pour des professions plus lucratives et plus prestigieuses.
- Le nombre de femmes recrutées, promues ou nommées dans le secteur de la S et T augmente moins vite que le nombre de femmes faisant des études et ayant un niveau de qualification professionnelle ; à travail égal, les femmes sont moins rémunérées que les hommes.

DANS LA PRISE DE DÉCISION DANS LE DOMAINE DE LA S ET T

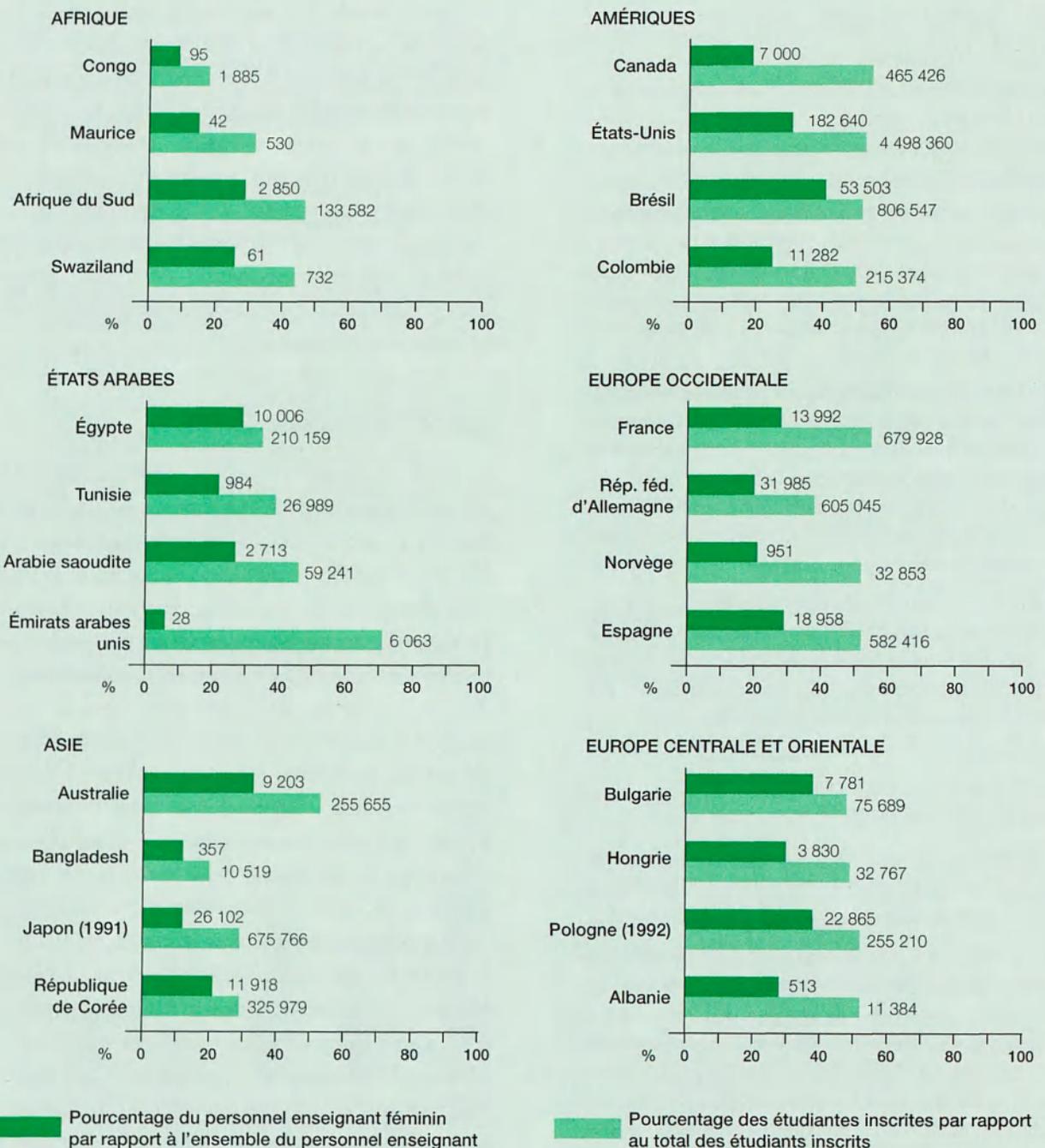
- Les femmes ne sont présentes qu'en nombre négligeable dans les organes décisionnels, les conseils consultatifs de haut niveau et les universités nationales.
- Il y a, semble-t-il, dans les organismes qui décident des politiques scientifiques et technologiques une sorte de « plafond invisible » qui fait que plus on s'élève dans la hiérarchie, plus les femmes sont rares. Ce phénomène ne peut être entièrement expliqué par le fait que le réservoir de talents est plus restreint chez les femmes que chez les hommes. Le nombre de femmes nommées dans ces organismes ne progresse pas en proportion de celui des candidates possédant l'expérience professionnelle requise.

d'être stigmatisées a conduit certaines de ces femmes en fin de carrière à nier l'existence d'obstacles sexistes, même lorsqu'on leur montrait des statistiques en apportant la preuve irréfutable. Les scientifiques moins âgées exprimaient une conception du style de travail et des valeurs sensiblement différente de leurs consœurs qui avaient été les premières admises dans une discipline ou un métier. De telles études incitent à se garder de généraliser à partir des réponses d'un petit nombre de personnes, voire d'une seule cohorte d'âge, quant aux préférences des femmes en général dans le domaine scientifique : les obstacles qui empêchent les femmes de mettre pleinement leurs potentialités au service de la science diffèrent selon les cohortes professionnelles.

DES RECRUES QUI DÉSERTEMENT

Les efforts visant à « injecter des femmes dans la filière scientifique et technique » se sont heurtés au fait qu'une fois entrées dans le circuit institutionnel de la S et T, une proportion notable d'entre elles choisissent de le quitter. Cette diminution des effectifs et cette sous-utilisation de personnes hautement qualifiées sont un phénomène extrêmement coûteux et préjudiciable à la société. Que l'on considère, par exemple, la différence frappante entre la proportion d'étudiantes inscrites dans les universités et la proportion de femmes dans leur personnel enseignant toutes disciplines confondues (voir figure 3). Même dans les pays ayant une bonne réputation dans ces domaines, la participation des femmes reste très faible. En Norvège, par exemple, seules 9 % des enseignants de l'enseignement supérieur sont des femmes. Cette situation s'aggrave lorsqu'on considère les domaines scientifiques. Pourquoi la science et la technologie ne parviennent-elles pas à attirer et retenir les femmes hautement qualifiées ? Des études réalisées dans les pays en développement attribuent ces défections à un conditionnement socioculturel. Les mariages et les grossesses précoces, ou les coutumes économiques favorisant les garçons en matière de transmission des terres font que la volonté et les ressources manquent pour encourager les filles à faire des études. Les

FIGURE 3
UNIVERSITÉS ET ÉTABLISSEMENTS ÉQUIVALENTS : PERSONNEL ENSEIGNANT ET ÉTUDIANTS DANS CERTAINS PAYS, 1990



Note : Les chiffres à la fin des barres indiquent le nombre de femmes.

Source : *Annuaire statistique de l'UNESCO 1994*.

lourdes responsabilités familiales et la part disproportionnée des tâches ménagères qui leur incombent consomment l'énergie des jeunes filles et limitent le temps dont elles disposent pour étudier ou exercer une activité reconnue et rémunératrice. Tous ces facteurs empêchent les jeunes filles de faire des études dans leur pays ou à l'étranger.

Ce phénomène d'aliénation des jeunes filles à l'égard de la science n'est nullement limité aux pays en développement. Aux États-Unis d'Amérique, une étude récente a mis en lumière les différents « paliers » des filières scientifiques où se produisent les défections (figure 4). A chaque palier, les femmes désertent en nombre nettement plus élevé que les hommes.

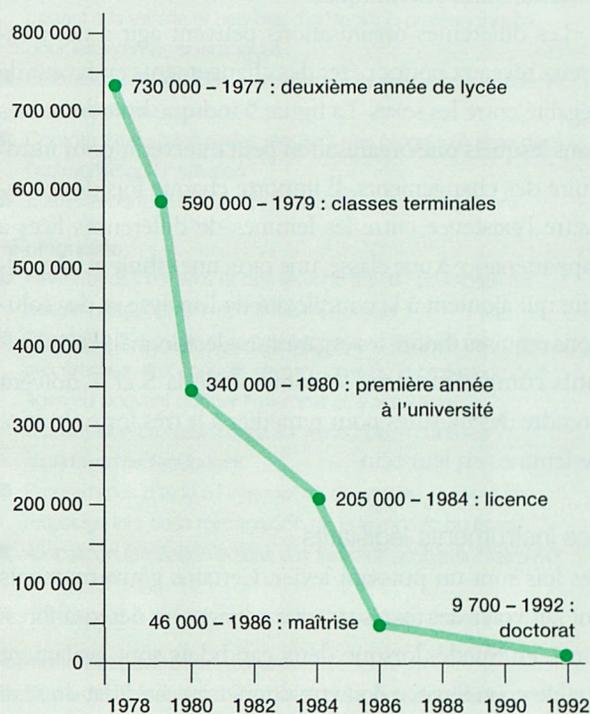
Des études récentes ont exploré ce phénomène de déperdition d'effectifs dans l'enseignement supérieur et les universités. Selon l'une d'elles, qui portait sur les étudiantes américaines en neurologie, les jeunes filles représentaient 45 % des effectifs à l'entrée en deuxième cycle. Mais si elles sont en nombre remarquablement élevé, proche même de la parité, en début de cursus, leurs rangs s'amenuisent rapidement. Seulement 38 % des étudiants obtenant un doctorat sont des femmes ; un tiers poursuivent des études postdoctorales et moins de 18 % entreprennent une carrière universitaire (Barinaga, 1992). Aux États-Unis, la National Science Foundation a étudié ce phénomène au fil du temps et constaté qu'en dépit des efforts croissants consentis entre 1979 et 1989 pour attirer les jeunes filles dans les filières scientifiques, le pourcentage d'étudiantes obtenant un diplôme de doctorat n'avait progressé que de 21 à 28 %.

En d'autres termes, les « stratégies de l'offre » ne sont pas suffisantes. Se contenter d'accroître le nombre des inscriptions ne sert à rien si les étudiantes continuent d'abandonner leurs études tout au long du cursus. Il est clair qu'il faut réformer les politiques et les programmes des structures institutionnelles où se fait la science.

L'un des deux principes adoptés dans le Rapport australien (Australie, 1994) comme étant essentiels à la prise en compte des femmes dans la science et la technologie est « la nécessité de changer de paradigme, en cessant de se demander quel est le problème avec les jeunes filles et les

FIGURE 4
LES PALIERS DE LA DÉPERDITION D'EFFECTIFS

Évolution d'une cohorte d'étudiantes en sciences exactes et naturelles et en sciences de l'ingénieur (États-Unis)



Source : National Science Foundation.

femmes, pour chercher à comprendre pourquoi la science, les disciplines de l'ingénieur et la technologie ne suscitent ni ne retiennent leur intérêt ».

Un tel changement de modèle conceptuel imputant les défaillances non plus aux jeunes filles et aux femmes, mais à la science et à l'enseignement de la science apparaît de plus en plus indispensable si l'on veut que les femmes soient traitées sur un pied d'égalité dans les disciplines scientifiques, et que ces disciplines tirent parti du potentiel que représentent les femmes.

CRÉER UN ENVIRONNEMENT FAVORABLE

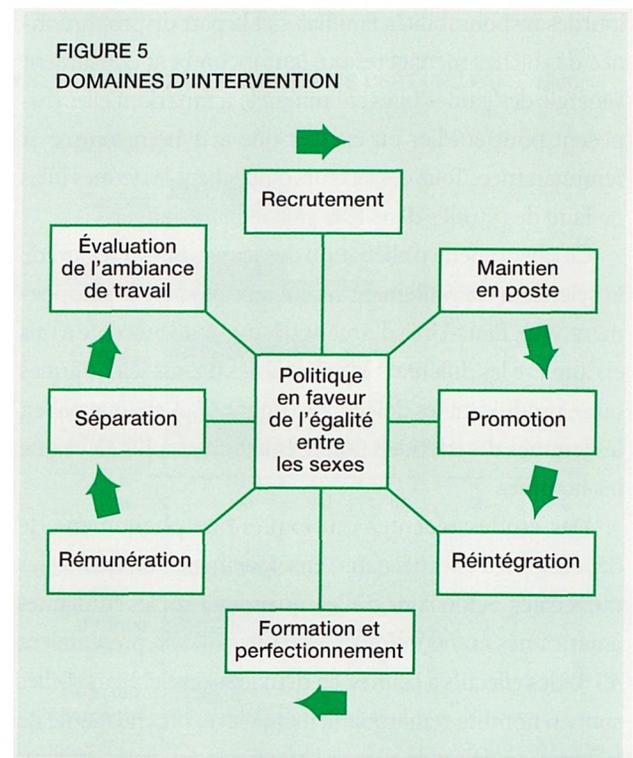
Tout un éventail d'instruments politiques et de stratégies novatrices existe qui permettrait de corriger les déséquilibres historiques et de mettre un terme aux pratiques discriminatoires qui ont maintenu les femmes en marge des communautés scientifiques.

Les différentes organisations peuvent agir à de nombreux niveaux pour opérer des changements en faveur de l'égalité entre les sexes. La figure 5 indique huit domaines dans lesquels une organisation peut intervenir pour introduire des changements. Il importe chaque fois de reconnaître l'existence entre les femmes de différences liées à l'appartenance à une classe, une race, une ethnie et une culture qui ajoutent à la complexité de l'analyse et des solutions requises. Enfin, les organismes décisionnels et consultatifs compétents dans le domaine de la S et T doivent prendre des mesures pour remédier à la très forte absence de femmes en leur sein.

Les instruments législatifs

Les lois sont un puissant levier. Certains gouvernements ont fait voter des textes visant à corriger les déséquilibres. Ainsi, en Suède, lorsque deux candidats sont également qualifiés, préférence doit être donnée au candidat du sexe le moins représenté. D'autres dispositions ont été adoptées ailleurs, comme la Loi sur l'égalité des chances dans la science et la technologie (Science and Technology Equal Opportunities Act) aux États-Unis. En 1988, l'Angleterre et le Pays de Galles ont voté une Loi de réforme de l'éducation (Education Reform Act) faisant de la science une matière obligatoire pour les écoliers âgés de 5 à 16 ans. Les lois sur l'égalité des salaires, les mesures de répression du harcèlement sexuel, les politiques progressistes en matière de congés parentaux et les programmes d'aide au conjoint sont autant d'outils efficaces permettant de faire évoluer les structures organisationnelles et les comportements et de créer un environnement favorable pour les femmes comme pour les hommes dans le secteur de la science et de la technologie (Science, 1994 ; Canada, 1993 ; Royaume-Uni, 1993b).

FIGURE 5
DOMAINES D'INTERVENTION



Les gouvernements peuvent faire obligation de procéder à des « évaluations d'impact » des priorités, des programmes et des produits de la science et de la technologie sur l'un et l'autre sexe afin que l'on sache clairement aux besoins et aux intérêts de qui ils répondent. Ils ont également la possibilité de mettre en œuvre des politiques en faveur de l'égalité en matière d'emploi et de lier les subventions accordées aux organismes publics de S et T à l'application efficace de politiques et de programmes allant dans ce sens. L'adoption de telles politiques à l'échelle nationale est sans doute ce qui explique, en partie, pourquoi le secteur public réussit beaucoup mieux que le secteur privé à attirer et retenir les femmes scientifiques. Les organismes nationaux et non gouvernementaux peuvent appuyer la collecte systématique, à l'intention des décideurs, de données ventilées sur la place des femmes dans la science et sur l'impact de la science sur les femmes. Les autorités peuvent aussi faire adopter des lois tendant à promouvoir la reconnaissance et la protection des savoirs locaux.

TABLEAU 1
MESURES ET STRATÉGIES POSSIBLES

Évaluation de l'environnement de travail

- Questionnaires d'auto-évaluation de l'institution
- Évaluation de l'ambiance de travail et enquêtes de suivi
- Centres de responsabilité chargés des évaluations, du suivi et de l'établissement de rapports sur l'égalité entre les sexes
- Groupes d'examen de la situation à l'étranger

Recrutement

- Publication des postes à pourvoir et examen transparent des candidatures
- Techniques de recherche prospective de candidates qualifiées par le canal des réseaux professionnels féminins et d'Internet
- Proportion équilibrée d'hommes et de femmes au sein des jurys menant les entretiens d'embauche et des comités de recrutement
- Techniques et modalités d'entretien non sexistes
- Établissement de cibles en matière de recrutement de femmes qualifiées
- Bourses destinées aux femmes ; allocations d'études pour les écolières
- Formules souples de bourses d'études scientifiques à l'étranger pour les femmes

Maintien en poste

- Soutien apporté par la haute hiérarchie, politique interne, plans d'action en faveur de l'égalité
- Mise en œuvre d'une politique interne cohérente en matière de relations entre les employés des deux sexes et de harcèlement sexuel
- Directives internes concernant le vocabulaire, l'iconographie et les matériels visuels
- Médiateurs ou médiatrices accessibles ; comités d'examen des doléances du personnel féminin
- Nomination de femmes au sein de comités influents et très accessibles
- Soutien institutionnel à l'accès aux réseaux professionnels et à Internet
- Reconnaissance, soutien et rétribution accordés aux employées servant de modèles ou conseillant leurs collègues moins expérimentées
- Programmes d'aide à l'emploi pour le conjoint
- Ouverture sur les lieux de travail de crèches et de services d'accueil des personnes âgées

Promotion

- Critères de titularisation et de promotion souples ; réforme du système de promotion fondé sur le mérite
- Planification du remplacement des membres du personnel partant à la retraite et services d'orientation professionnelle pour les femmes scientifiques
- Établissement de cibles en matière d'égalité avec calendrier et suivi statistique
- Compte rendu à intervalles réguliers des progrès réalisés dans l'entreprise ou l'institution
- Établissement d'une liste des candidates à l'avancement

Réintégration

- Flexibilité des horaires et des lieux de travail ; possibilité de postes partagés, recrutement à mi-carrière
- Possibilité d'avoir de nouveau accès aux cours de recyclage, aux crèches, aux conseils de membres de la profession plus âgés ou pouvant donner l'exemple et aux services d'orientation professionnelle sur réinscription dans les répertoires professionnels
- Programmes d'aide à l'interruption de carrière et cours de recyclage lors de la réintégration dans le monde du travail
- Allocations familiales versées aux femmes souhaitant retrouver un emploi
- Politiques progressistes en matière de congé parental

Formation et perfectionnement

- Cours destinés à sensibiliser les enseignants, les étudiants ou les membres du personnel aux problèmes de l'égalité entre les sexes
- Formation pédagogique des enseignants : révision des programmes d'études ; reconnaissance des différentes manières de faire de la science ; styles de communication et d'apprentissage propres à chaque sexe
- Vocabulaire et iconographie non sexistes
- Formation sur les relations entre employés des deux sexes, les techniques d'entretien, le harcèlement sexuel, etc.
- Bourses d'internes pour les femmes au niveau du cadre de direction

Rémunération

- Égalité des salaires
- Égalité en matière de crédits de recherche

Séparation

- Égalité entre les sexes en matière de programmes de séparation
- Entretiens avec les membres féminins du personnel

Dans l'enseignement et le monde du travail

Les pays et les organisations qui ont pris la tête des efforts pour assurer l'égalité des sexes dans le secteur de la science et de la technologie ont élaboré toute une série de mesures. Les organisations disposent donc d'un ensemble d'outils et de techniques pour diagnostiquer les problèmes et y remédier. En tant que moyens de modifier les structures organisationnelles et les comportements individuels, ces outils permettent toutes les formes d'intervention intermédiaires entre la « carotte » et le « bâton » : mesures d'incitation, conseils, octroi de bourses et d'allocations, publication de rapports sur les progrès accomplis, calendriers fixant des échéances pour la réalisation des objectifs, etc.

Certaines associations professionnelles, dans le domaine par exemple des métiers de l'ingénieur, de la chimie et de la médecine, soutiennent activement les réseaux de femmes scientifiques en aidant à identifier les problèmes et à trouver des solutions. Ces associations plus progressistes se montrent particulièrement franches quand il s'agit de dénoncer les préjugés, mais jouent également un rôle de premier plan dans la recherche de solutions. C'est ainsi que dans son enquête annuelle (1991), l'American Chemical Society notait que les femmes chimistes ne gagnaient en moyenne que 88 % du salaire de leurs homologues masculins ayant le même âge, la même expérience et les mêmes qualifications. De telles études ont conduit la profession à prendre toute une série d'initiatives en faveur de l'égalité entre les sexes, et le comité chargé des femmes à publier une liste des principaux départements et facultés de chimie du pays dans lesquels il n'y a pas encore, dans les années 90, de femmes en voie de titularisation. Prendre acte du problème est un premier pas vers sa solution.

Les milieux scientifiques et techniques peuvent également s'inspirer des expériences réussies menées dans d'autres secteurs. Le sport est un bon exemple des bienfaits d'une telle émulation réciproque. Les organisations nationales et internationales s'efforçant d'améliorer la situation des sportives de tous âges ont mis au point une large gamme d'instruments, de politiques et de principes directeurs concernant le harcèlement sexuel, l'égalité entre les sexes, l'accès aux installations, aux conseils de sportives

plus expérimentées et à des modèles d'identification aux niveaux national et international afin que les femmes aient pleinement leur place dans le sport. De plus, la pratique de l'athlétisme et la lutte pour l'émancipation professionnelle des femmes peuvent s'épauler mutuellement, comme en témoigne Leigh Handy Royden, sportive et scientifique travaillant au MIT : « L'une des choses qui m'ont aidée en tant que femme scientifique a été ma carrière d'athlète. Elle m'a appris à me battre physiquement, et aussi psychologiquement, face aux pressions extérieures... les hommes y sont entraînés, mais les femmes très rarement. » (*Science*, 1992, p. 1388.)

Le tableau 1 recense toute une batterie de moyens et de stratégies auxquels les organisations et les systèmes scolaires peuvent recourir pour évaluer les problèmes qui se posent en leur sein en ce qui concerne l'égalité entre les sexes et pour tenter de les corriger. Les exemples de mesures pouvant être prises dans les différents domaines pour faire évoluer les mentalités et les structures sont empruntés aussi bien au secteur public qu'au secteur privé.

Dans le domaine de la prise de décision

Enfin, pour que des changements s'opèrent et que les femmes contribuent pleinement à la science et à la technologie, il faut qu'elles soient présentes en nombre suffisant et à des niveaux suffisamment élevés au sein des institutions, départements, conseils consultatifs, agences de développement et établissements éducatifs s'occupant de S et T pour pouvoir y exercer une véritable influence. A présent, la présence des femmes professionnelles reste négligeable dans les organes de décision de haut niveau (voir tableau 2).

Des recherches attentives sont nécessaires pour repérer les candidates compétentes, ainsi que le recommandent d'innombrables travaux de recherche et rapports de commissions d'enquête nationales. Pour donner effet à ces recommandations, il importe de constituer des bases de données recensant les scientifiques et les techniciennes qualifiées, et d'utiliser pleinement celles qui existent déjà, et notamment les réseaux mondiaux d'associations professionnelles et d'organisations non gouvernementales

TABLEAU 2
COMPOSITION DES ORGANES CONSULTATIFS
NATIONAUX

Organisme	Nombre total de membres	Membres de sexe féminin
AUSTRALIE		
Conseil de la science, Bureau de la Division principale de la science, Département du Premier ministre et du Cabinet	22	4
CANADA		
Conseil consultatif national des sciences et de la technologie	20	5
COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE		
Commission de développement européen de la science et de la technologie	30	1
ÉGYPTE		
Comité ministériel suprême pour la science, la recherche et la technologie	13	1
FRANCE		
Conseil supérieur de la recherche et de la technologie	40	2
JAPON		
Conseil pour la science et la technologie	11	2
PAYS-BAS		
Conseil consultatif de la science et de la technologie	12	1
ROYAUME-UNI		
Conseil de la science et de la technologie	12	1
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE		
Comité des conseillers du Président en matière de science et de technologie	18	6

féminines qui s'occupent de politiques et de programmes relatifs aux femmes et à la S et T. A l'échelon international, UNIFEM dispose d'une base de données informatisée qui recense quelque 650 ONG et leurs activités dans le domaine de la sexospécificité, de la science et de la technologie (voir l'encadré sur les ONG à la fin de cette partie). Beaucoup de ces ONG ont pris une part active dans la promotion de la S et T à la quatrième Conférence mondiale sur les femmes.

CONCLUSION

Répondre à la question « La science par qui ? » met souvent en lumière un ensemble d'inégalités et révèle toute une gamme de préjugés qui ont œuvré contre la participation complète des femmes à la S et T et tenu à l'écart un vivier de talents. Reconnaître ces inégalités et s'interroger sur ces préjugés incitent à une profonde reconsidération de nos attitudes et de nos approches et aboutit tout naturellement à se poser la question plus large : « La science pour qui ? »

La science pour qui ?

SANDRA HARDING ET ELIZABETH MCGREGOR

Pour le bénéfice de qui les sciences sont-elles censées faire avancer les connaissances sur la nature et les relations sociales ? On l'a vu au début de cette partie, cette question amène à réfléchir aux formes d'ignorance systématique qui résultent pour chacun de la non-prise en compte des intérêts de groupes sociaux tels que la population féminine au moment de décider des problèmes auxquels la science doit s'attaquer et de la manière précise dont il convient de les formuler.

De nombreux observateurs dans le monde doutent que le transfert « clé en main » des acquis scientifiques et technologiques modernes aux sociétés en développement ait été, ou puisse être, une solution au caractère inégal du développement ou à l'injustice sur notre planète. Ces acquis étaient destinés à répondre à des situations écologiques et sociales différentes de celles que connaissent aujourd'hui la plupart des pays en développement et de celles qui revêtent la plus grande importance pour leurs sociétés. De fait, lorsque l'on songe à la puissance destructrice pour l'homme et son environnement des moyens que les sciences et les techniques modernes ont mis à notre disposition au cours des cinquante dernières années, on peut craindre, comme beaucoup le font aujourd'hui, que ces acquis aient également cessé de convenir aux sociétés développées.

A n'en pas douter, nombre de questions soulevées dans les sections précédentes sont d'une importance cruciale si l'on veut améliorer le bien-être des femmes et des hommes les plus vulnérables dans le monde sur le plan économique, social et politique. Toutefois, un projet qui viserait exclusivement ou essentiellement à élargir l'accès des femmes et des jeunes filles aux carrières scientifiques et techniques modernes dans les sociétés développées et en développement apparaîtrait inévitablement aux yeux de beaucoup comme d'un intérêt social douteux pour la grande majorité des peuples du monde si la question plus vaste de savoir qui doivent être les bénéficiaires de la science était laissée sans réponse.

Des chercheuses ont parfois mis à profit leur expérience et leur curiosité professionnelles en dehors du « labo » ou de leur travail sur le terrain pour faire la lumière sur des

aspects de la nature précédemment méconnus — et d'abord, bien sûr, la physiologie de l'organisme féminin et ses interactions avec divers types d'environnements, et les domaines où lois sociales et naturelles combinent leurs effets. La question de savoir si certaines femmes au moins ont tendance à conduire leurs recherches de manière différente a permis de prendre conscience de l'enrichissement des connaissances qui pourrait résulter d'une plus grande ouverture à tous les talents et à toutes les compétences. Les milieux scientifiques modernes savent depuis toujours qu'accueillir des éléments ayant une autre façon de penser aide à appréhender la nature selon des points de vue aussi variés que possible. En raison même de leurs différences, les femmes peuvent, elles aussi, contribuer à une telle diversité.

Quelques-unes des caractéristiques mêmes qui font que les sciences modernes sont si extraordinairement efficaces pour trouver des solutions à certains types de problèmes en limitent l'utilité face à d'autres problèmes. Considérons, par exemple, le cas des sciences de l'environnement. On a fait observer que bien trop souvent elles ne tenaient aucun compte des analyses sociales qui, précisément, sont indispensables pour comprendre les mécanismes de préservation ou de dégradation de l'environnement. De même, une analyse qui s'en tient à une approche scientifique des problèmes environnementaux laisse de côté l'expérience vécue et les cas particuliers pour se fier à des experts extérieurs dédaigneux des savoirs locaux et à des explications généralisatrices d'une utilité limitée au niveau local. Enfin, les approches scientifiques peuvent donner aux chercheurs comme au grand public une impression de très grande certitude concernant le fonctionnement de la nature et les solutions qui peut se révéler injustifiée (Seager, 1993). Reconnaître les limites des solutions de la science face aux problèmes environnementaux amène à redécouvrir les mérites des savoirs locaux et, en particulier, le rôle méconnu des femmes en la matière (voir ci-contre l'encadré sur « Les femmes, la science et l'environnement »).

Nous avons déjà évoqué les savoirs locaux ; on les oppose souvent aux sciences modernes, qui prétendent à une validité universelle, et cette opposition met en relief

Les femmes, la science et l'environnement

BONNIE KETTEL*

Quand vous regardez le « paysage » que voyez-vous ? Y a-t-il des aspects de votre environnement naturel que vous souhaiteriez voir conservés ou mieux mis en valeur ? Y en a-t-il que vous jugez superflus ou nuisibles ? Dans quelle mesure les gens de votre famille et de votre communauté partagent-ils vos perceptions et vos préférences concernant l'utilisation et la gestion de l'environnement naturel ?

Les recherches menées en Afrique par l'équipe du réseau WEDNET suggèrent que les femmes et les hommes ont souvent de l'environnement une perception propre à leur sexe et que les éléments de cet environnement qu'ils connaissent et auxquels ils attachent de la valeur peuvent être très différents, quel que soit le contexte culturel ou régional (B. Kettel, *Gender and environment : lessons from WEDNET*, Westview, 1995). Ce phénomène n'est pas limité à la connaissance de la flore et de la faune. Le regard porté sur les interactions existant entre divers aspects des écosystèmes et le degré de conscience de ces interactions peuvent également être différents. Dans une étude de cas récente d'ECOGEN, Rocheleau rapporte que les femmes de Kathama (Kenya) ont été d'un secours décisif à leur communauté lorsqu'une période de sécheresse a obligé tous les habitants à ratisser champs et fourrés à la recherche de nourriture (Clark University, 1992).

Au cours des dernières décennies, bon nombre de recherches scientifiques et d'innovations technologiques ont visé à mieux répondre à un certain nombre de perceptions et de choix écologiques capitaux, de manière à améliorer les conditions de vie et à accroître les revenus. La science et la technologie nous ont permis de mettre constamment à l'épreuve les limites de la nature dans notre course à l'efficacité, à la productivité et au profit. Deux graves contradictions ont toutefois surgi.

Tout d'abord, nous savons que beaucoup de ces interventions scientifiques et technologiques, si bien intentionnées fussent-elles, n'ont connu qu'un succès limité et se sont bien trop souvent révélées au bout du compte néfastes pour la viabilité de l'environnement naturel (voir, par exemple, Timberlake, *Africa in crisis : the causes and cures of environmental bankruptcy*, Earthscan, 1985). Nous savons aussi qu'en dépit de tous les efforts de la S et T, la pauvreté a

encore augmenté parmi les femmes — en particulier par rapport à la situation des hommes de leurs propres familles et communautés.

En outre, les femmes ont été beaucoup plus touchées que les hommes par les effets de la dégradation de l'environnement, à la campagne comme dans les villes, notamment dans certaines de leurs activités : collecte du bois de chauffage et de l'eau, production de cultures vivrières, travaux d'entretien à la maison et dans le voisinage (Jacobson, *World Watch Paper*, 110, 1992).

L'oubli du « paysage » féminin dans la recherche fondamentale et appliquée a eu des effets profondément négatifs sur les revenus et le bien-être des femmes. De plus, l'incapacité des planificateurs du développement, des scientifiques et des spécialistes de l'innovation technique de reconnaître le fait que les femmes ne perçoivent et ne comprennent pas nécessairement l'environnement naturel comme les hommes et qu'elles ont des besoins et des objectifs différents concernant l'utilisation et la gestion de leur environnement immédiat a également eu des conséquences désastreuses sur la viabilité à long terme des écosystèmes locaux. Nous n'avons considéré la nature que d'un seul œil et avec une seule partie de notre cerveau. Une utilisation prudente et une gestion durable des écosystèmes locaux — et planétaires — devraient assurément mobiliser la totalité de notre vision et de notre intelligence.

Peut-être même faudrait-il accorder relativement plus de poids aux préoccupations et aux objectifs des femmes, au nombre desquels figurent en général le bien-être de leurs enfants — garçons et filles — dans notre quête planétaire d'un avenir viable (F. Steady, *Women and children first*, Schenkman, 1993). Une chose en tout cas est claire : il reste beaucoup à faire dans le domaine de la recherche scientifique et technique et de la recherche appliquée pour prendre en compte les perceptions, les connaissances et les objectifs des femmes en matière d'environnement.

* Bonnie Kettel est professeur associé à la Faculté des études environnementales, York University, Canada.

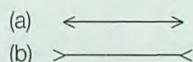
d'importantes caractéristiques de l'un et l'autre système. Mais elle en masque aussi d'autres, ainsi que certains aspects de leurs relations. Le savoir scientifique moderne est lui aussi façonné par des intérêts et des savoirs tradi-

tionnels « locaux » (notamment les intérêts des « experts », en rapport avec leur carrière, leur discipline et leur quête d'explications universelles). De plus, les sciences modernes ont beaucoup emprunté aux savoirs locaux plus anciens

Les femmes, la science et la vision du monde

SHIRLEY MALCOLM*

Voici quelques années, j'ai appris en classe de psychologie qu'il existait un groupe de personnes qui ne se laissent pas abuser par une illusion d'optique qui trompe presque tout le monde. Invités à comparer deux lignes de longueur identique, mais se terminant à leurs deux extrémités par des flèches de sens opposés, la plupart d'entre nous se laissent convaincre par cet artifice que l'une (a) est plus courte que l'autre (b).



Dans un ouvrage classique (*The influence of culture on visual perception*, 1966), Segall, Campbell et Herskovits rapportent que les groupes vivant dans un environnement relativement dépourvu de motifs linéaires étaient moins sensibles à cette illusion. Certains aspects de leur culture, leur éducation, le monde dans lequel ils vivaient les avaient protégés des erreurs de perception dont j'avais moi-même été victime. J'ai découvert que, vivant dans un environnement curviligne, dans des habitations sans angles, utilisant rarement des lignes droites, ces gens avaient une perception différente de la mienne de ces lignes et de leur contraste.

De même, lorsque les petits garçons et les petites filles sont élevés différemment, comme c'est le cas dans mon pays, ils acquièrent des points de vue et des perceptions différentes. L'idée de méthodes éducatives applicables indifféremment à l'un et l'autre sexe est relativement récente et, du reste, pas toujours acceptée par les parents qui, comme moi, ont du mal à se soustraire à la tradition. Je veux que mes filles aient une maison de poupées comme moi, en même temps que le train que je n'ai pas eu. Je ne peux échapper à la vision du monde différente que j'ai acquise du fait de ma propre éducation.

Nous continuons à élever nos fils et nos filles différemment. Il existe entre eux des différences biologiques réelles, aussi réelles que les interactions entre biologie et culture. Chez

l'être humain, la culture l'emporte largement sur la biologie. Je crois que l'appartenance à l'un ou l'autre sexe n'entre en rien dans la capacité de résoudre des problèmes, mais qu'elle influe probablement sur la manière de parvenir à une solution. Je conçois cette diversité en termes de « différence » plutôt que de « déficience », et je vois dans cette différence une force.

Beaucoup d'entre nous ne ménagent ni leur temps ni leurs efforts pour que davantage de femmes puissent mener une carrière de scientifique ou d'ingénieur. De nombreux enjeux nous y poussent : considérations économiques, égalité d'accès, stabilité relative de l'emploi et utilisation des talents, à quoi il faut ajouter les satisfactions personnelles et le défi intellectuel qu'une telle carrière représente pour les intéressées. Nous le faisons aussi parce que la S et T ne donnent pas leur pleine mesure quand elles ne tiennent pas compte des points de vue « autres ». Lorsque l'on exclut les femmes et les minorités, on se prive du regard différent qu'elles portent sur le monde.

Les milieux scientifiques eux-mêmes justifient le mélange des groupes d'âge dans les facultés de science, les échanges de scientifiques entre pays, ou encore la création d'instituts de recherche multinationaux par la nécessité de multiplier les éclairages. Selon une étude d'Albert Teich intitulée *Scientists and public affairs* (MIT Press, 1974) sur les laboratoires de recherche européens comme le CERN, le personnel de ces laboratoires juge que les contacts et la collaboration avec des collègues appartenant à une histoire et à des traditions culturelles différentes a été très enrichissant et que ces différences ont modifié la vision du monde des uns et des autres. Point intéressant, cela a influé aussi sur la manière dont ils tiraient leurs conclusions — sans changer nécessairement les résultats finals, mais en modifiant sans aucun doute la démarche. Or la démarche elle-même suggère de nouvelles questions, de nouveaux liens et de nouvelles relations, toutes

de l'Europe, de l'Asie, des Amériques et d'autres parties du monde — chiffres arabes, concepts mathématiques indiens, techniques agricoles des populations andines cultivant la pomme de terre, etc. Enfin, au fur et à mesure de

choses capitales dans des activités à la pointe des connaissances.

Une équipe de chercheurs au sein de laquelle règne une certaine diversité est un peu à l'image d'une bande de babouins : devra-t-elle sa cohésion à l'agressivité des mâles ou aux dispositions amicales des femelles ? De telles alternatives aident à se faire une idée plus réaliste de l'organisation sociale. Un éclairage différent peut modifier la manière dont est conçue une étude sur l'hypertension — en ne s'intéressant qu'à la population masculine ou en prenant aussi en compte les femmes en tant que « modèle de référence » — ou conduire à élaborer un algorithme en opposant deux modes de raisonnement. Mais lorsqu'un groupe se trouve massivement exclu, et avec lui des points de vue et une vision du monde originaux — que ce soit à dessein ou de façon fortuite —, la profession en est appauvrie.

Étant donné le rôle fondamental de la science et de la technologie dans nos vies, je crois qu'il faut veiller tout particulièrement à ce qu'il ne s'y pratique aucune exclusive. Chacun doit être le bienvenu pour les points de vue originaux qu'il peut apporter à la recherche. Il faut cultiver soigneusement le talent de toutes les personnes intéressées et capables et éviter qu'une majorité indifférente ou hostile ne les rejette en raison de leur différence. Je suis heureuse d'avoir appris que certaines personnes ne sont pas trompées par les illusions d'optique. Peut-être une plus grande hétérogénéité dans la vision que la science a du monde nous permettrait-elle de porter un regard impartial sur bien d'autres choses encore.

* Shirley Malcolm est directrice de l'éducation et des ressources humaines de l'American Association for the Advancement of Science (AAAS). Elle est membre du Comité des conseillers du Président pour la science et la technologie et du Conseil national scientifique, Washington, D.C.

l'expansion des cultures européennes, les sciences modernes ont eu l'occasion de réfléchir aux observations de la nature faites en maintes régions du monde par des personnes s'inspirant de nombreuses traditions savantes différentes. C'est souvent à la faveur de tels processus historiques que des connaissances produites dans des contextes locaux ont été universellement validées (Goonatilake, 1984). Du reste, les acquis des sciences modernes ne peuvent être eux-mêmes générés puis mis en œuvre que dans des contextes localisés — même si ces derniers s'étendent de cap Canaveral à la Lune ou à Jupiter.

Comme producteurs, utilisateurs et théoriciens de la science en sont venus à le comprendre au cours des trois dernières décennies, les progrès scientifiques et technologiques qui contribuent le mieux à améliorer la vie sociale sont ceux qui ont été conçus avec le souci premier de combiner au mieux savoirs locaux et principes théoriques. En raison des cycles biologiques qui leur sont propres, des activités particulières auxquelles les destine la société et de leur manière originale d'organiser la production des connaissances, les femmes ont tendance à ne pas avoir les mêmes centres d'intérêt, les mêmes espoirs et les mêmes relations avec l'environnement naturel et social que les hommes, et donc à générer des connaissances supplémentaires. Comme les femmes partout dans le monde font bénéficier du développement les trois générations dont elles ont la charge quotidienne et, au-delà, la communauté à laquelle elles appartiennent, les avancées scientifiques conçues aussi pour elles — et pas seulement pour les hommes — peuvent enrichir considérablement les ressources de la collectivité par un effet multiplicateur.

Y A-T-IL UNE FAÇON FÉMININE DE FAIRE DE LA SCIENCE ?

Cette vieille question a resurgi ces dernières années. Les quelques études qui ont été réalisées et l'observation quotidienne révèlent certaines constantes. Un article paru dans *Science* fait le point sur ces travaux (Baraniga, 1993). Pour commencer, de nombreux analystes pensent que les femmes responsables d'un laboratoire ont tendance à

modérer l'esprit de compétition entre leurs assistants et leurs étudiants, alors que les hommes sont enclins à l'encourager. Du reste, cette attitude différente paraît s'étendre au choix des thèmes de recherche. Selon une étude, les hommes semblent préférer les « domaines de pointe », où les équipes de recherche rivalisent, alors que les femmes choisissent le plus souvent une « niche », « où elles peuvent devenir des spécialistes en n'ayant à fréquenter qu'un nombre limité de collègues s'intéressant au même domaine qu'elles ». L'un des effets de cette différence est, semble-t-il, que « bien que les femmes publient moins, leurs travaux sont néanmoins cités plus abondamment ». Les auteurs avancent comme une explication possible le fait que « les femmes ont tendance à obéir davantage à la règle qui commande de produire des articles très approfondis plutôt que d'en publier un grand nombre ».

Une autre différence liée à la première est que les femmes paraissent plus à l'aise quand elles travaillent en collaboration que quand elles mènent des recherches de manière strictement isolée. Il n'est pas certain que des études sur les préférences des deux sexes dans diverses cultures valideraient cette différence ; dans certaines sociétés, ce sont les hommes qui sont plus habitués à travailler en équipe (Traweek, 1988). De plus, les femmes semblent souvent préférer travailler avec des collègues de leur sexe. Selon les observateurs, cette préférence pourrait s'expliquer par la manière différente dont femmes et hommes cherchent à résoudre au mieux les conflits. Un auteur note que les femmes « déclarent souvent écouter tous les points de vue puis tenter de trouver un compromis, alors que beaucoup d'hommes avouent essayer de gagner les autres à leur propre façon de voir ». Lorsque ces deux méthodes sont appliquées concurremment au sein d'une équipe de recherche, les femmes ont tendance à avoir l'impression « qu'on ne tient pas compte d'elles, qu'on ne les écoute pas, et même qu'on cherche à les exclure ».

Des styles de travail différents aboutissent-ils à des résultats scientifiques différents, ou simplement à des façons différentes de parvenir aux « mêmes » résultats ? Dans le cas de bien des projets scientifiques, comme au demeurant de pans entiers de la recherche, ces différences sont sans effet

sur les résultats, car, lorsque les chercheurs des deux sexes s'entendent sur la manière d'aborder les problèmes, les hypothèses à privilégier, les concepts, la conduite des expériences, l'interprétation des données et l'analyse des faits observés, on voit mal comment les différences que nous venons d'évoquer ici pourraient modifier en quoi que ce soit l'issue des recherches. Toutefois, dans le cas d'autres types de projets, en particulier ceux qui portent davantage sur des applications, ou dans lesquels il y a interaction entre les lois de la nature et les lois sociales, il est plus difficile de dissocier le style de travail et les enjeux.

Bon nombre de projets de recherche entrent dans cette catégorie. En pareil cas, les différences entre femmes et hommes ne sont que l'un des facteurs d'origine culturelle qui poussent des groupes de chercheurs appartenant à différentes cultures à s'intéresser et à accorder de l'importance à tels ou tels problèmes et, partant, à organiser la recherche de telle ou telle façon, comme d'innombrables travaux d'histoire des sciences l'ont démontré au cours des trente dernières années. Un exemple souvent cité est l'étude des primates, domaine marqué par la manière très particulière de travailler de trois femmes — Goodall, Fossey et Gladikas. On trouve d'autres exemples dans des disciplines telles que les sciences de l'environnement, les sciences médicales et les sciences de la santé. Certes, rien dans ces études ne donne à penser que les différences biologiques sont à l'origine de ces particularités dans les méthodes de travail. Rien n'interdit de penser non plus que les hommes sont incapables d'apprendre à utiliser ces méthodes : du reste c'est chose faite dans de nombreux cas.

Il se pourrait bien que cette différence dans la façon dont femmes et hommes abordent la science se révèle être l'une des plus importantes sources nouvellement identifiées de progrès des connaissances scientifiques. La science devrait reconnaître à leur juste valeur tous les styles de recherche qui permettent d'arriver à des résultats plus impartiaux et moins entachés de distorsions. Notre objectif à tous devrait être d'étendre notre champ et nos capacités d'investigation, au lieu de nous borner à ne connaître de la nature que ce que nous en laissent entrevoir des grilles de lecture sexistes.

Un potentiel inexploité

ELIZABETH MCGREGOR ET SANDRA HARDING

Qu'est-ce qui incite les gouvernements et la communauté scientifique mondiale à se préoccuper de la place faite aux femmes dans le développement scientifique et technologique ? De toute évidence, les responsables politiques ont à cœur de promouvoir l'équité et les droits de l'homme. Cet engagement fondamental est inscrit dans la Charte des droits de l'homme adoptée en 1945 par les États membres de l'Organisation des Nations Unies.

Cinquante ans plus tard, ces principes n'ont rien perdu de leur importance. En 1995, le Groupe de travail sur la sexospécificité de la Commission de la science et de la technique au service du développement (CSTD) a publié son rapport final, intitulé *La science et la technique au service du développement humain durable*, dans lequel il appelle les gouvernements à adopter une « Déclaration d'intention » énonçant les six objectifs suivants en matière d'équité entre les sexes :

- Assurer une éducation de base pour tous, comprenant surtout une instruction élémentaire en matière de science et de technologie, afin que toutes les femmes et tous les hommes puissent utiliser effectivement la S et T pour répondre à leurs besoins essentiels.
- Veiller à ce que les hommes et les femmes aient des possibilités égales d'acquérir une formation supérieure en science et en technologie et de faire carrière comme cadres supérieurs en technologies, scientifiques et ingénieurs.
- Parvenir à la parité entre les sexes dans les institutions scientifiques et technologiques, y compris dans les organismes qui arrêtent les politiques et prennent les décisions.
- Veiller à ce que les besoins et les aspirations des femmes et des hommes soient également pris en considération dans la fixation des priorités en matière de recherche, ainsi que dans la conception, le transfert et l'application de technologies nouvelles.
- Veiller à ce que tous les hommes et toutes les femmes aient un accès égal à l'information et à la connaissance, en particulier à la connaissance scientifique et technologique, dont ils ont besoin pour améliorer leur niveau de vie et leur qualité de vie.

- Reconnaître les sources de savoir local, lorsqu'elles existent, et leur nature sexospécifique comme des sources de connaissance complétant la science et la technologie modernes et comme utiles aussi en vue d'une mise en valeur durable des ressources humaines.

Comme l'a fait observer le professeur Geoffrey Oldham, président du Groupe de travail sur la sexospécificité de la CSTD, dans le discours qu'il a prononcé en séance plénière au Colloque organisé conjointement en septembre 1994 par l'ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération) et l'UNESCO sur le thème « Les sciences hors d'Occident au xx^e siècle » : « S'agissant de certains problèmes scientifiques et technologiques, la communauté internationale doit déterminer ce qu'elle considère comme juste, équitable et conforme à l'éthique. Pugwash, d'une certaine façon, a joué ce rôle dans les années 1970. D'autres ONG devraient être à même d'en faire autant pour les années 1990. Les problèmes en cause concernent entre autres [...] l'égalité des chances entre chercheurs des deux sexes. » (Oldham, 1994.)

Dans le domaine de la S et T, la prise en compte de l'égalité et des droits de l'homme suppose que femmes et hommes aient également accès à la culture scientifique, de façon qu'ils puissent prendre des décisions éclairées concernant les nombreuses questions d'ordre scientifique et technologique qui ont des répercussions sur leur vie quotidienne. Elle implique aussi qu'ils jouissent des mêmes chances et des mêmes droits de contribuer au progrès scientifique et technique de l'humanité et d'un même accès aux avantages sociaux et économiques qu'apporte une carrière scientifique, qu'ils prennent une part égale à la conception et à l'évaluation des politiques de la science et de la technologie et recueillent les mêmes bénéfices, en tant que « consommateurs de la science » des investissements et des avancées réalisés dans ce domaine.

Ces deux derniers aspects sont particulièrement importants dans la mesure où, jusqu'ici, la conception et l'évaluation des programmes scientifiques et technologiques n'ont pas systématiquement donné lieu à une analyse préalable ni à un bilan ultérieur de l'impact différent de ces politiques et de ces projets sur la vie des femmes et des

hommes. C'est en partie à cause de cette omission que des politiques, des projets et des technologies de développement ont été formulés ou conçus sans tenir compte des besoins et des intérêts des femmes, de sorte que, par le passé, les hommes en ont bénéficié davantage qu'elles. (GWG-UNCSTD, 1995b.)

De plus en plus, les gouvernements envisagent également l'équité entre les sexes sous l'angle de la recherche d'avantages stratégiques sur le marché mondial. De nombreux pays, pressés d'accroître leur croissance économique afin d'améliorer la qualité de la vie pour tous, cherchent à mettre à contribution de manière optimale l'inventivité et l'ingéniosité de chacune et de chacun dans le secteur de la science et de la technologie. Laisser en marge la moitié des talents dont dispose une nation est tout simplement absurde. En 1993, le Comité du Royaume-Uni sur les femmes dans la science, les disciplines de l'ingénieur et la technologie a reconnu dans un rapport à l'Office de la science et de la technologie intitulé *The rising tide* (Royaume-Uni, 1993b) que les femmes étaient la ressource la plus sous-utilisée du pays. Au Canada, le Rapport présenté au Premier ministre par le Conseil consultatif des sciences et de la technologie sous le titre *Les femmes, un atout dans les métiers, la technologie, les sciences et le génie* appelle à la parité entre les sexes dans le domaine scientifique et technique pour des raisons de préparation du pays à la concurrence internationale : « En ces temps de forte restructuration économique à l'échelle nationale et planétaire [...] il est d'une importance cruciale que les forces vives de la nation atteignent et conservent un état de préparation technologique et scientifique qui permette au pays de prospérer au sein de l'économie mondiale. Pour assurer cette préparation, il importe d'utiliser pleinement le potentiel de tous les secteurs de la population. L'apport potentiel des femmes a été et demeure sous-évalué et sous-exploité. Compte tenu de cela, et en particulier du fait qu'il subsiste des obstacles à la pleine participation des femmes dans les disciplines scientifiques et techniques, des stratégies doivent être élaborées en vue de lever ces obstacles à tous les stades de la formation et de la carrière professionnelle des femmes. » (Canada, 1993.)

Dans les pays en développement, où la science et la technologie sont d'importants instruments de transformation au service du développement durable, on a fait observer qu'il était « dans l'intérêt stratégique des pays » de mettre à contribution les talents féminins (Approtech Asia, 1993). Commentant les disparités entre garçons et filles de ces pays dans le domaine de l'éducation, une publication de la Banque mondiale intitulée *Educating girls and women : investing in development* note le coût élevé du développement — du fait des occasions manquées d'accroître la productivité et les revenus, ainsi que d'améliorer la qualité de la vie — lorsque les gouvernements et la société ne font rien pour remédier à l'inégalité en matière d'accès à l'éducation.

Les milieux de la recherche sont appelés dans leur propre intérêt à assurer une meilleure représentation de toutes les composantes de la population d'un pays (Neal Lane, directeur de la National Science Foundation, cité dans Etzkowitz, 1994). L'isolationnisme et l'élitisme ont pour effet non seulement de faire perdre aux communautés scientifiques certains appuis, mais encore de les priver des contributions d'une partie de leur clientèle et d'empêcher d'importants échanges propres à accroître la pertinence de leurs politiques et de leurs projets pour tous les membres de la société.

En outre, les communautés scientifiques étudient les avantages qu'il y aurait à recruter et employer de façon permanente des scientifiques et des ingénieurs de sexe féminin, dans la mesure où il en résulterait une plus grande diversification des points de vue, des priorités et des styles de travail, ainsi que des compétences mises à contribution. Les centres de recherche scientifique ou technique qui ont compris l'enjeu historique que représente une telle intégration ont renforcé leur efficacité en tant qu'agents du développement social. Non pas, certes, que les femmes fassent une « autre science », mais, par principe, il importe que l'activité scientifique soit adaptée aux besoins de la société et reflètent les intérêts de tous ses membres.

Par conséquent, les considérations d'équité et de respect des droits de l'homme, mais aussi, à maints égards, leur intérêt bien compris, donnent aux gouvernements, aux

agences de développement et aux communautés scientifiques et technologiques d'excellentes raisons de veiller à ce que les femmes aient accès dans les mêmes conditions que les hommes aux formations et aux carrières scientifiques et techniques et soient pleinement associées, à tous les niveaux, aux mécanismes de prise de décision intéressant la science et la technologie. La communauté scientifique et la société tout entière tireront profit de la pleine participation des femmes, sur un pied d'égalité avec les hommes, aux décisions concernant l'ordre de priorité des projets scientifiques et technologiques, leur conception, leur mise en œuvre, le dépouillement des observations et l'évaluation et la diffusion des résultats.

Perspectives mondiales

Interprétation des données : un défi*

ANN HIBNER KOBLITZ

Les recherches sur la place des femmes dans la science et la technologie en sont encore à leurs premiers balbutiements. Il est clair néanmoins qu'il faut se garder des généralisations abusives et des conclusions simplistes. Les raisons ne manquent pas :

- Bien que l'expérience des femmes dans le secteur des sciences comporte un grand nombre de constantes, en particulier peut-être dans les pays voisins et proches par la culture, l'économie et l'histoire, elle varie aussi à bien des égards. Une discipline scientifique et technique peut-être considérée comme ne convenant pas aux femmes dans un pays et à une époque donnés et leur être largement ouverte à une autre période de l'histoire ou dans un autre pays. C'est le cas, par exemple, des métiers de l'ingénieur, qui dans certains pays sont considérés comme réservés aux hommes, notamment dans des branches prestigieuses comme le génie électrique ou mécanique. Il n'y en a pas moins des exceptions. Dans l'ex-Union soviétique, tous les métiers de l'ingénieur comptaient une forte proportion de femmes. A l'Universidad Nacional de Ingenieria du Nicaragua, les étudiantes ne représentaient pas moins de 70 % des effectifs en 1990 (observation personnelle).
- La situation des femmes dans la science, la technologie et la médecine — comme dans la société en général — ne s'améliore pas de façon constante et linéaire. Dans certains cas, par exemple, le terrain conquis par les femmes dans les professions scientifiques au siècle dernier a été en partie perdu au xx^e siècle. De nombreuses écoles de médecine pour les jeunes filles (et les Noirs) qui s'étaient développées au xix^e siècle aux États-Unis furent fermées par l'American Medical Association au début de ce siècle. Autre exemple, le traitement réservé

aux femmes chimistes et ingénieurs d'Amérique du Nord (et d'Europe) qui après avoir exercé des responsabilités techniques élevées tout au long de la première guerre mondiale furent contraintes de céder leurs postes à des hommes une fois le conflit achevé (Rossiter, 1982). De même, « le pourcentage de femmes occupant un poste de professeur titularisé en République fédérale d'Allemagne est inférieur au pourcentage d'étudiantes en 1910 » (Osborn, 1994).

On observe un même recul dans d'autres domaines. Le pourcentage de femmes participant aux programmes américains d'informatique est en baisse et la situation actuelle des chercheuses dans les anciens États socialistes de l'Europe de l'Est est tout à fait catastrophique (*Science*, 1994, p. 1477 ; Koblitz, 1993). De plus, on constate parfois un accroissement des effectifs féminins dans des spécialités, des domaines ou des pays particuliers, mais pour des raisons essentiellement négatives. C'est ainsi que les femmes représentent un pourcentage croissant du personnel enseignant des facultés des sciences dans les universités publiques d'Amérique latine, très durement touchées par la dernière vague de programmes d'ajustement structurel et de mesures d'austérité, mais uniquement parce que les hommes désertent ces universités pour des postes plus lucratifs dans le secteur privé.

Il n'y a pas nécessairement de corrélation positive entre la situation des femmes dans la science, la technologie et la médecine et les indices de développement économique généralement reconnus. Le taux de participation des femmes à l'activité scientifique est dans bien des pays développés, y compris bon nombre de pays d'Europe occidentale et d'Amérique du Nord, assez désolant comparé à ce qu'il est dans beaucoup de pays en développement. Ce

* Ce texte a été écrit par le professeur Koblitz en tant que consultante de la Division des statistiques des Nations Unies, dans le cadre du programme de recherche pour la préparation de l'ouvrage intitulé *The world's women 1995 : trends and statistics*. Il est reproduit ici avec l'aimable autorisation des Nations Unies.

taux est particulièrement faible dans la plupart des disciplines en Scandinavie, en Allemagne (de l'Ouest), aux Pays-Bas et au Royaume-Uni. Les pays méditerranéens, comme l'Italie et la Turquie, semblent en revanche faire beaucoup mieux.

Il arrive que les femmes soient cantonnées ou marginalisées dans certains domaines de la science ou de la technologie, alors même que leur pourcentage global paraît relativement satisfaisant. Il n'est pas rare, par exemple, qu'elles soient assez nombreuses dans l'enseignement universitaire, en particulier aux postes subalternes d'assistantes.

On constate aussi parfois que les femmes se sont, consciemment ou inconsciemment, retranchées dans certaines disciplines, peut-être pour se tailler une place bien à elles dans les sciences exactes et naturelles. Aux États-Unis, par exemple, elles ont tenté à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e de se constituer un domaine réservé en créant la diététique et l'économie domestique. Mais elles se retrouvèrent bientôt plus ou moins enfermées dans ces disciplines et il leur fallut se battre pour être acceptées dans d'autres domaines (Rossiter, 1982).

La contribution des femmes dans bien des branches de la science, de la technologie et de la médecine est bien plus importante qu'on ne le pense généralement. Il importe d'entreprendre de plus amples recherches sur leur rôle dans ces domaines, et plus encore de diffuser des informations à ce sujet. On manque également de données statistiques réellement comparables sur la situation dans différentes cultures. Pour ne donner qu'un exemple, une

enquête vraiment transculturelle visant à déterminer quand et dans quelles circonstances les universités ont ouvert leurs portes aux femmes — et quelles disciplines les ont accueillies en premier — pourrait se révéler riche d'enseignements. Ainsi, dans certains pays d'Europe continentale, les premières femmes qui aient obtenu un doctorat et enseigné à l'université avaient pour spécialité la physiologie, l'anatomie, les mathématiques, la physique ou la chimie. Les professeurs des sciences dites humaines acceptaient moins volontiers la présence de femmes dans leurs rangs.

Ann Hibner Koblitz est professeur associé d'histoire à l'Université de Hartwick à Oneonta, dans l'État de New York. Elle est l'auteur de l'ouvrage *A convergence of lives. Sofia Kovalevskaja : scientist, writer, revolutionary* (New Brunswick, Rutgers University Press, 2^e édition 1993) et de plus d'une vingtaine d'articles consacrés à l'histoire russe de la science, de la technologie et de la médecine ainsi qu'au rôle des femmes dans l'histoire de la science et aux femmes de carrière dans les pays en développement. Elle est la fondatrice et la directrice du Fonds Kovalevskaja pour les femmes de science dans les pays en développement. Elle est aussi membre du Conseil exécutif du Comité américain pour la coopération scientifique avec le Viet Nam et présidente du sous-comité des femmes dans la science et l'histoire de la science de cette même instance.

La place des femmes dans la science : le cas de l'Afrique

LYDIA P. MAKHUBU

Avec beaucoup de pertinence, Abdus Salam, président fondateur de l'Académie des sciences du Tiers Monde, a dit que « en dernière analyse, la création, la maîtrise et l'exploitation de la science et de la technologie modernes sont les caractéristiques fondamentales qui distinguent le Sud du Nord » (Abdus Salam, 1990).

Cette observation confère à la science et à la technologie un rôle spécial dans le développement en les désignant comme des facteurs clés du progrès socio-économique. On peut ajouter que la maîtrise et l'exploitation de la science et de la technologie dans le Nord sont allées au-delà de la mise en place d'industries et d'autres infrastructures matérielles sophistiquées pour provoquer une fusion de la science et de la culture qui est à l'origine d'un processus autonome de métamorphose sociale permanente touchant tous les aspects de la vie humaine. La science et la technologie sont devenues un mode de vie permettant aux sociétés de passer de la « subsistance de base » (Odhiambo, 1994) à des entités très productives dont le moteur est l'élaboration de connaissances scientifiques à

un rythme sans précédent. Concevoir des mécanismes susceptibles d'assurer entre les cultures africaines et la science la fusion voulue pour que cette dernière devienne le moteur de l'amélioration de la qualité globale de la vie est donc la principale tâche dont doivent s'acquitter aujourd'hui les avocats d'un développement conduit par la science.

Si l'on examine de plus près la situation dans les pays industrialisés, on découvre que la création d'un environnement propice à la croissance de la science joue un rôle essentiel dans le progrès scientifique et technologique. Ce processus passe nécessairement par l'adoption de politiques qui encouragent la recherche scientifique et des investissements substantiels dans le développement des ressources humaines et des infrastructures consacrées à la science à tous les niveaux. Il convient de noter que les pays d'Afrique n'affectent à la science et à la technologie qu'à peine un dixième du pourcentage du produit national brut qui y est alloué dans de nombreux pays industrialisés, ce qui explique l'extrême faiblesse de l'Afrique dans tous les aspects du développement scientifique. Ainsi, ce continent n'a pas pu produire la masse critique de spécialistes capables d'assurer dans le domaine de la science le pilotage efficace et novateur nécessaire à l'accroissement des recherches scientifiques fructueuses et à d'autres composantes vitales de tout développement conduit par la science. Le tableau 1 l'atteste en mettant en évidence les fortes disparités des ressources humaines consacrées à la science en Afrique et dans certaines autres régions du monde.

L'absence de ressources humaines indigènes suffisantes pour participer à la révolution scientifique mondiale et contribuer à la création de nouvelles connaissances grâce à une bonne exploitation du vaste capital de ressources naturelles du continent freine considérablement le développement de l'Afrique. Il est essentiel d'accorder la priorité à la formation de femmes et d'hommes ayant l'esprit d'entreprise voulu pour orienter l'action de la science vers

TABLEAU 1
NOMBRE DE SCIENTIFIQUES ET D'INGÉNIEURS
DANS CERTAINES RÉGIONS DU MONDE

Nouveaux pays industrialisés d'Asie	92 300
Afrique	73 100
Israël	20 100
Nombre pour 10 000 habitants	
Afrique	1,1
Amérique latine	3,6
Nouveaux pays industrialisés d'Asie	10,0
Europe	22,0
Amérique du Nord	33,6
Israël	44,0

Source : *Annuaire statistique de l'UNESCO 1993.*

une transformation socioculturelle totale de l'Afrique. Cette transformation devrait libérer le continent de la faim, de la malnutrition et de la maladie, et faciliter l'adoption des mesures nécessaires pour mettre un terme à la dégradation de plus en plus rapide de l'environnement. En Afrique, où 70 à 80 % de la population vit en zone rurale, on ne parviendra à assurer une meilleure qualité de vie à la majorité de cette population que si la science et la technologie sont appliquées avec succès au développement (Makhubu, 1993). Mais on ne peut s'attendre à ce que ces meilleures conditions de vie se concrétisent sans la participation de la population qui doit, pour rendre possible l'intégration de la science dans la culture, commencer par se rendre compte des bienfaits qu'elle apporte.

Il faut bien dire, cependant, que les actions entreprises dans l'espoir de remédier à ces déficiences du progrès

scientifique en Afrique n'ont pas manqué. Mais les deux dernières décennies ont été marquées par une multitude de problèmes économiques et de troubles politiques qui ont détourné l'attention d'enjeux aussi essentiels que celui de la mise en place de capacités du continent dans des domaines tels que la science. C'est dans ce contexte qu'il est préconisé de faire plus largement place aux femmes dans l'univers de la science, non seulement par souci d'équité, mais parce que c'est un moyen important de renforcer la capacité du continent à aborder scientifiquement les problèmes multidimensionnels qui sont devenus endémiques dans de nombreux pays (Makhubu, 1993). Les femmes, qui constituent près de 50 % de la population de l'Afrique et qui sont habituellement celles qui éduquent et transmettent les valeurs et les normes traditionnelles, représentent une ressource considérable et inexploitée que le

TABLEAU 2
ÉTUDIANTS INSCRITS¹ DANS CERTAINES FACULTÉS D'UNIVERSITÉS ET POURCENTAGE DE JEUNES FILLES

Pays	Année	Sciences humaines		Droit		Sciences sociales		Sciences naturelles		Mathématiques /informatique		Médecine		Ingénierie		Agriculture	
		Total	% F	Total	% F	Total	% F	Total	% F	Total	% F	Total	% F	Total	% F	Total	% F
Angola	1990	—	—	860	—	—	—	609	40	#	#	834	42	779	21	379	32
Burkina Faso	1990	936	39	493	27	1 203	23	563	12	433	5	414	18	—	—	110	8
Burundi	1991	628	30	292	31	431	28	421	29	77	34	283	26	330	9	440	18
Éthiopie	1991	704	28	222	10	2 591	22	1 700	6	468	9	929	6	2 070	5	1 387	9
Ghana	1990	2 339	31	39	50	804	27	955	15	206	11	824	23	635	3	479	11
Kenya	1989	5 448	28	632	32	na	na	1 966	15	#	#	1 106	22	854	4	1 808	23
Lesotho	1991	459	65	132	43	69	58	312	36	#	#	—	—	—	—	19	84
Niger	1989	709	14	851	3	636	21	280	6	#	#	432	26	98	4	164	6
Swaziland	1991	287	63	205	40	233	51	341	33	#	#	—	—	—	—	90	28
Ouganda	1990	636	33	169	34	1 166	26	880	15	155	10	561	22	207	8	598	18
Zambie	1989	1 161	28	145	23	#	#	757	14	#	#	349	28	551	1	228	7
Zimbabwe	1991	1 321	38	345	32	1 885	29	1 301	19	#	#	866	27	725	30	357	16
Koweït	1991	2 257	66	602	50	1 580	74	1 593	65	1 636	72	791	63	1 342	39	—	—
Brésil	1991	140 566	74	159 390	44	161 214	57	41 158	49	70 898	38	137 602	64	150 015	17	38 700	30
Mexique	1990	15 003	57	121 621	40	80 792	59	39 541	54	51 751	41	94 622	54	279 989	16	24 620	21
Italie	1991	207 046	80	244 446	53	375 341	47	97 945	51	49 910	42	110 644	50	165 480	11	32 097	34
Suède	1991	2 763	64	5 174	54	5 606	74	3 425	53	6 504	19	8 994	62	20 124	21	1 205	45

1. Les chiffres indiqués sont ceux des inscriptions à des cours menant à la licence.
Disciplines incluses dans d'autres facultés.
— Données non disponibles.

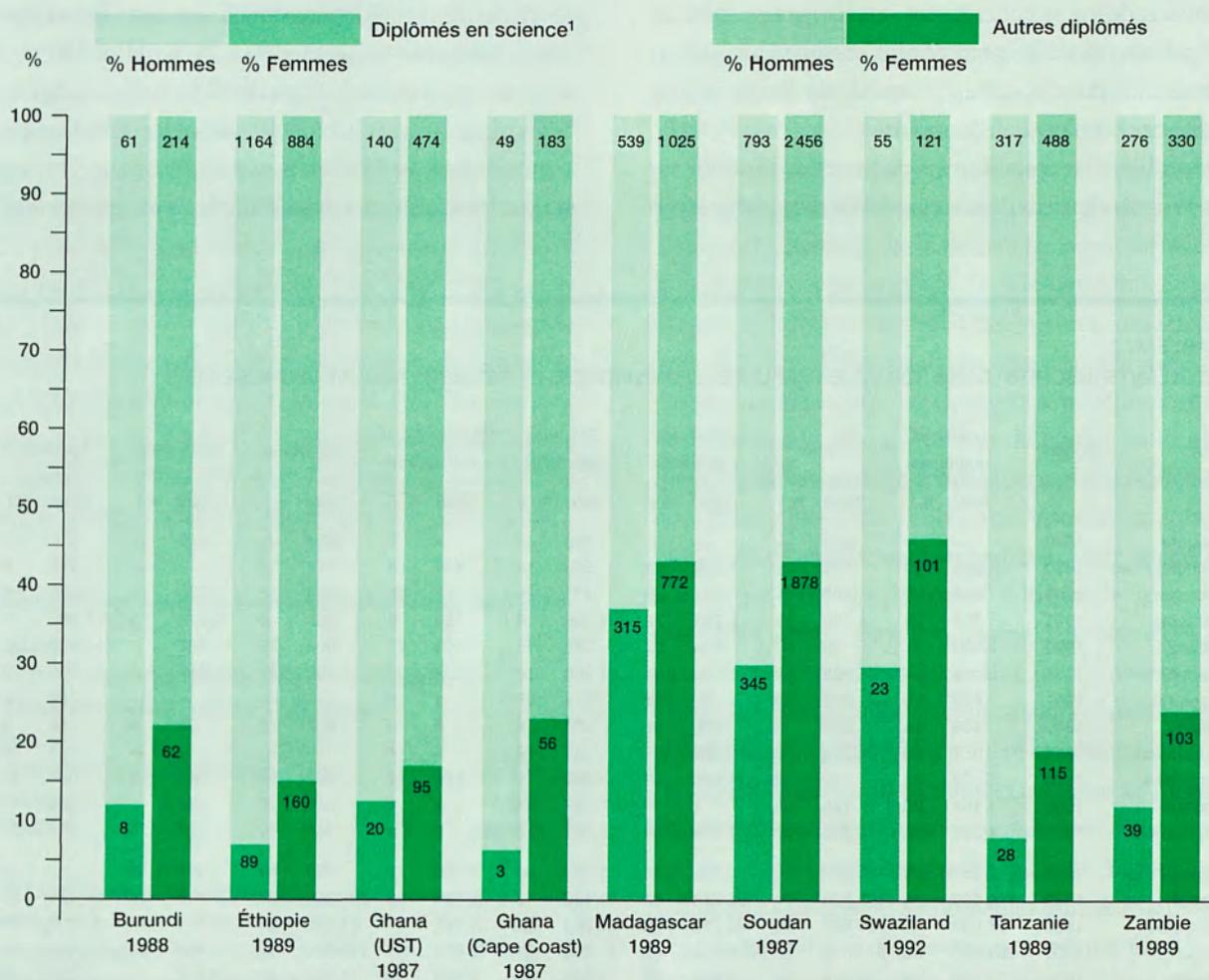
Source : D'après des données de l'Annuaire statistique de l'UNESCO 1993.

continent africain ne peut se permettre d'ignorer, notamment à notre époque de transition sociale.

Actuellement, les femmes sont très sous-représentées dans la science à tous les niveaux du système éducatif, et en particulier au niveau universitaire. Cela s'explique par

des facteurs nombreux et complexes, notamment les attitudes socioculturelles à l'égard de l'éducation des femmes, celles des enseignants vis-à-vis des jeunes filles qui étudient les disciplines scientifiques et celles des jeunes filles et des femmes elles-mêmes envers ces études, qui sont générale-

FIGURE 1
NOMBRE DE DIPLÔMÉS DE CERTAINES UNIVERSITÉS AFRICAINES, PAR SEXE ET PAR DOMAINE D'ÉTUDES

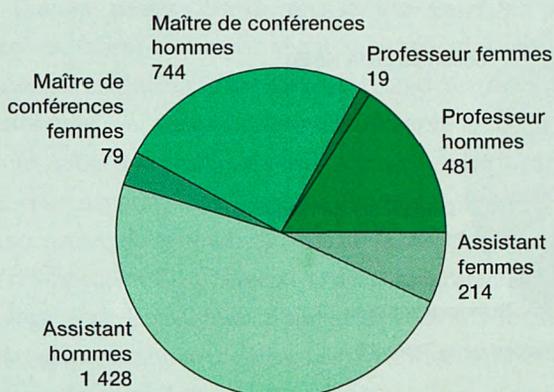


Note : Les chiffres indiqués en haut des colonnes représentent le nombre d'hommes et de femmes diplômés.

1. Les sciences englobent ici les sciences exactes et naturelles, la médecine, l'agriculture, les mathématiques et l'ingénierie. Le pourcentage indique la proportion de femmes par rapport au nombre total de diplômés.

Source : Figure établie à partir de publications et de documents statistiques divers.

FIGURE 2
PERSONNEL SCIENTIFIQUE PAR RANG ET SEXE DANS
DIX UNIVERSITÉS AFRICAINES¹, 1992



1. Botswana, Ghana, Ibadan, Lesotho, Malawi, Nairobi, Swaziland, République-Unie de Tanzanie, Zambie, Zimbabwe.

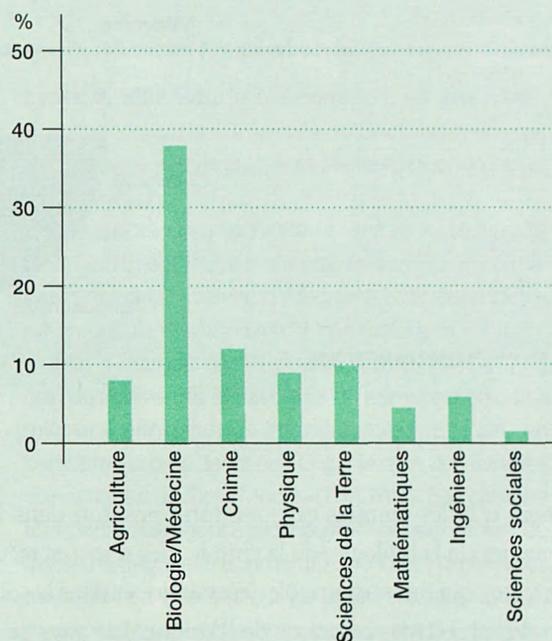
Source : D'après le Commonwealth Universities Yearbook 1993.

ment considérées comme l'apanage des garçons. Tous ces facteurs limitent fortement l'accès des femmes aux carrières scientifiques et *a fortiori* à des postes élevés et décisionnels. Le tableau 2 et les figurés 1 et 2, qui indiquent le nombre de femmes inscrites dans des disciplines scientifiques, le nombre de diplômées dans ces domaines et le nombre d'enseignantes dans les facultés des sciences de certaines universités africaines, illustrent bien les disparités existantes.

Tout en réfléchissant aux effets positifs de la science et de la technologie sur la vie humaine, il est essentiel de s'interroger sur les moyens de faire en sorte qu'elles contribuent à résoudre les problèmes les plus pressants de l'Afrique. Ces problèmes urgents, qui concernent la survie humaine et menacent parfois des communautés entières, sont notamment les suivants : production alimentaire insuffisante, lacunes des services de santé et d'éducation, dégradation de l'environnement. Une utilisation appropriée de la science et de la technologie peut concourir à y

FIGURE 3
RÉPARTITION DES FEMMES SCIENTIFIQUES
MEMBRES DE LA TWOWS PAR DISCIPLINE, 1995

Répartition en pourcentage de 1 077 membres



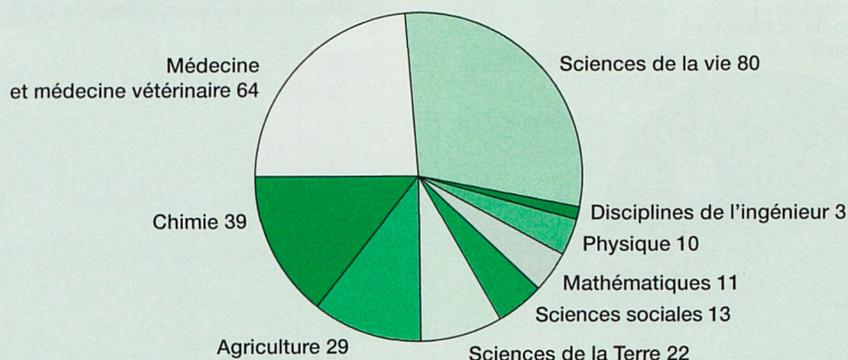
Source : Rapport de la TWOWS.

remédier. C'est à cet égard que la contribution de scientifiques africaines est jugée cruciale et significative. Aussi importants que soient les programmes menés à la base, il est encore plus important de favoriser la représentation des femmes aux échelons de direction de l'éducation et de la science, de proposer des modèles d'identification et de plaider vigoureusement en faveur de la promotion de la femme.

Les scientifiques africaines, comme la plupart de leurs consœurs du monde entier, ont nettement tendance à étudier plutôt la biologie, la chimie, la nutrition et les autres sciences de la vie. Cela ressort bien de la répartition par disciplines des membres de l'Organisation des femmes scientifiques du Tiers Monde (TWOWS) et de ses membres africaines (fig. 3 et 4). Les chiffres fournis montrent clai-

FIGURE 4
RÉPARTITION DES SCIENTIFIQUES AFRICAINES MEMBRES DE LA TWOWS PAR DISCIPLINE

Répartition de 271 membres



Source : Rapport de la TWOWS.

rement que les femmes ont une forte position dans les domaines de la biologie, de la chimie, des sciences médicales, etc., qui ont tous un rôle central à jouer dans la solution des problèmes pressants de l'Afrique. Les pays de ce continent devraient en tirer parti afin de résoudre les problèmes qui les handicapent en encourageant fortement les femmes à poursuivre des carrières scientifiques qui leur permettront de trouver des moyens d'utiliser à cet effet les acquis de la science. On a également fait observer que, proches comme elles le sont de leur famille et de leurs enfants, les femmes ont une conception de la science et de ses applications qui leur est propre et qui privilégie la dimension humaine, ce qui explique leur tendance à étudier les sciences de la vie. Cette tendance représente pour l'Afrique, en particulier, un avantage considérable et il convient donc de la renforcer.

La contribution des Africaines au développement scientifique du continent peut également être abordée du point de vue de leur rôle traditionnel. Elles ont en effet des responsabilités dans la production alimentaire et dans d'autres domaines étroitement liés aux disciplines scientifiques évoquées plus haut. Inscrire ces missions dans un cadre scientifique moderne, les transposer du travail de base au plus

haut niveau de la science, voilà une stratégie qui mérite d'être appuyée à un moment où l'Afrique cherche des moyens d'intégrer son riche patrimoine traditionnel à la science et à la technologie modernes. Il est permis d'espérer que cette suggestion « comblera le fossé » qui existe actuellement entre la connaissance scientifique traditionnelle et moderne, comme entre les activités menées au niveau de la communauté et dans les institutions scientifiques, et qu'elle ouvrira la voie à une action qui fera de la science un mode de vie en Afrique. Elle pourrait aussi servir à dissiper l'impression que la science et la technologie sont nouvelles pour l'Afrique alors qu'en fait diverses indications montrent qu'on s'y est toujours intéressé sur ce continent jusqu'au moment de l'histoire où l'esclavage et la colonisation y ont arrêté le progrès et ouvert une « sombre période » (Odhiambo, 1994). La participation accrue des Africaines à la science apparaît comme un moyen important d'augmenter le réservoir des spécialistes de la science et de la technologie et de créer ainsi une « masse critique » dans les disciplines scientifiques qui revêtent une importance et un intérêt particuliers pour l'Afrique. Elle apparaît aussi comme un moyen crucial d'intégrer la science et la culture, maintenant et à l'avenir, en

faisant intervenir un groupe dont les multiples rôles peuvent être utilisés de façon extrêmement profitable pour promouvoir la culture scientifique à tous les niveaux de la société.

Une fois passés en revue tous les arguments qui plaident en faveur d'une participation accrue des femmes d'Afrique et d'ailleurs à la science, certaines questions n'en continuent pas moins de se poser. Nombre de ceux qui s'intéressent à la promotion de la femme se demandent si elle a une contribution particulière, unique, à apporter à la science et à la technologie ainsi qu'à leur application au développement, si sa perception de la science, de la technologie et de leur utilisation diffère de celle des hommes, si le fait que la plupart des femmes scientifiques travaillent dans le domaine de la biologie et de la médecine témoigne d'un intérêt naturel pour la vie, qui pourrait influencer sur leurs décisions et leurs politiques concernant l'exploitation faite de la science et de la technologie à travers le monde. Ce sont là des questions importantes auxquelles des associations comme l'Organisation des femmes scientifiques du Tiers Monde s'efforcent d'apporter des réponses.

Une chose est claire : les femmes, qui sont traditionnellement chargées des tâches d'éducation et de transmission des valeurs culturelles, doivent être au premier rang

de l'enseignement scientifique, formel et informel, de la recherche et du développement, de la définition de politiques et de la formulation d'une vision de l'avenir de l'Afrique dans lequel la société sera changée en mieux, grâce à la science.

Lydia P. Makhubu a été nommée, en avril 1988, vice-chancelier de l'Université du Swaziland. Elle est la seule femme d'Afrique australe à occuper un poste de ce niveau.

Elle a obtenu sa licence ès sciences à l'Université Pie-XII au Lesotho, sa maîtrise ès sciences en chimie organique à l'Université d'Alberta et enfin son doctorat en chimie médicinale à l'Université de Toronto.

Elle a occupé divers postes à responsabilité au sein de l'université et fait partie de nombreuses commissions consultatives internationales. Elle est, en particulier, la présidente de l'Organisation des femmes scientifiques du Tiers Monde (TWOWS). Elle cherche tout particulièrement à promouvoir l'enseignement du troisième degré et à augmenter le nombre de femmes travaillant dans le secteur de la technologie, tout en poursuivant ses recherches dans la chimie des produits naturels.

La place des femmes dans la science : le cas de l'Inde*

RADHIKA RAMASUBBAN

L'Inde a lancé un programme de modernisation et d'industrialisation de son économie et de sa société il y a une quarantaine d'années, et ce programme a débouché sur une expansion continue des établissements d'enseignement supérieur, scientifique et technologique. Aujourd'hui, l'Inde se targue d'avoir la plus forte concentration de personnel scientifique et technique du monde en développement. Le nombre de personnes ayant une licence, une maîtrise ou un doctorat en science et en technologie a été multiplié par cinq depuis le début des années 50 pour dépasser 2 millions. Un peu plus du quart sont des femmes.

Les sciences fondamentales et la médecine ont toujours figuré parmi les matières que les femmes préféraient étudier. Près de 88 % des diplômées ont étudié ces sciences, 8 % la médecine et un peu moins de 3 % l'ingénierie et la technologie. La tendance récente à un accroissement du nombre de femmes qui s'inscrivent à des cours de formation d'ingénieurs est de moins en moins marquée et pourrait même s'inverser. Les choix des femmes privilégient certains domaines précis : en sciences, la biologie et la chimie ; en ingénierie, l'électricité et l'électronique ; en technologie, la pharmacie et les laboratoires de médecine ; en médecine, l'obstétrique et la gynécologie, la pédiatrie, la pharmacologie, la bactériologie et la pathologie, l'orthophonie et l'audiologie, la kinésithérapie et la médecine dentaire.

Les femmes tendent à abandonner assez tôt leurs études de sciences : les trois quarts d'entre elles ne dépassent pas le stade de la licence et 1 % seulement parvient au doctorat. Même chose pour les formations d'ingénieur. Ce n'est qu'en médecine qu'un plus grand pourcentage de femmes poursuit des études spécialisées.

Près des deux tiers des femmes scientifiques et des tech-

niciennes qui travaillent sont dans l'enseignement et un cinquième accomplit des tâches administratives. 3 % seulement font de la R-D. Le pourcentage de femmes est également insignifiant dans les emplois techniques tels que le contrôle de qualité, l'exploitation et l'entretien de matériel, la production industrielle et les postes de direction de niveau élevé.

Le secteur public a jusqu'à présent été le principal employeur de scientifiques, d'ingénieurs et de techniciens. Il emploie cinq fois plus de scientifiques que le secteur privé et deux fois plus d'ingénieurs. Si le secteur public est également l'employeur le plus important de femmes ingénieurs (trois fois plus que dans le privé), il n'en est pas de même pour les sciences. Près de 40 % des femmes scientifiques travaillent dans le secteur privé. Cela pose problème car ce sont les établissements et les laboratoires du secteur public qui sont les plus prestigieux, notamment le Conseil de la recherche scientifique et industrielle, le Conseil indien de la recherche médicale, le Conseil indien de la recherche agronomique, le Département de l'énergie atomique, etc. Les femmes scientifiques n'y occupent que 5,4 % des emplois. Dans d'autres organismes du secteur public qui emploient du personnel scientifique et technique (les ministères et départements du Gouvernement fédéral et des gouvernements des États), la proportion des femmes n'est que de 3,6 %, chiffre plus faible encore que dans les institutions prestigieuses.

Alors que chez les hommes, un cinquième des scientifiques, ingénieurs et techniciens occupent des postes de niveau moyen ou élevé (en termes de salaire), ce n'est le cas que de 8 % des femmes.

De même, alors que 2 % seulement des hommes qui cherchent un emploi n'en trouvent pas, il semble que cela soit le cas de 25 % des femmes. 15 % des femmes

qualifiées n'aspirent même pas à entrer sur le marché du travail.

Le nombre relativement faible de femmes qui vont jusqu'au doctorat, leur faible représentation dans les activités liées à la R-D, leur prépondérance dans l'enseignement, l'invisibilité relative des femmes scientifiques dans les institutions scientifiques les plus prestigieuses et la tendance de ces femmes à entrer en plus grand nombre dans le secteur privé s'expliquent à la fois par les contradictions qui pèsent sur l'enseignement scientifique et supérieur indien et par les obligations sociales des femmes dans la société indienne.

Les problèmes inhérents à la manière dont l'enseignement supérieur et la recherche scientifique sont dissociés en Inde se conjuguent avec les attentes traditionnelles en matière de rôle social pour dissuader les femmes d'entreprendre ou de poursuivre une carrière de chercheuse. Même appartenant à des classes relativement privilégiées — urbaines/classes moyennes/cadres, où le soutien financier de la famille s'accompagne d'une socialisation précoce qui encourage les jeunes filles à poursuivre longtemps leurs études par goût pour celles-ci —, les femmes ont encore à surmonter les obstacles supplémentaires créés par les obligations propres à leur sexe pour être à même de faire carrière dans la recherche. Tout d'abord, les familles ne se décident à différer l'âge du mariage de leurs filles que jusqu'au jour où elles auront obtenu une licence. Il est donc clair que même si aucun obstacle d'ordre financier ou culturel ne les empêche d'accéder à l'enseignement scientifique supérieur, les femmes ont le handicap de ne pas être habilitées à prendre des décisions autonomes en matière de mariage, ce qui serait vital pour leur permettre de maîtriser les paramètres qui régiront leur carrière. Leur propre mobilité étant subordonnée aux impératifs de la carrière de leur époux, elles sont mal placées pour rechercher un emploi durable dans les établissements nationaux qui se consacrent à la recherche.

En outre, l'enseignement a toujours été considéré comme une profession socialement plus acceptable pour les femmes en Asie du Sud parce que les principes qui les régissent et les conditions d'emploi offertes sont jugés plus

compatibles avec les exigences de la famille, du foyer et de la carrière. Il est considéré comme tout à fait normal que des femmes ayant un statut social élevé et de grandes qualifications se contentent de postes d'enseignantes dont la rémunération est relativement faible.

Bien qu'elle soit très absorbante et en général plus exigeante, la médecine a toujours été considérée en Inde comme un domaine professionnel convenant bien aux femmes. Elle offre en outre des possibilités de s'installer à son compte. L'ingénierie progresse aussi dans la hiérarchie des préférences féminines et de récentes enquêtes ont montré que les femmes qui choisissent ce type de formation sont plus indépendantes et plus portées à faire carrière. Ces deux professions sont considérées comme plus stimulantes intellectuellement que d'autres domaines scientifiques, et le plus grand prestige social qu'elles confèrent les rend difficiles d'accès ; de plus, l'admission à ces études faisant l'objet d'un concours national, les femmes sont souvent obligées de quitter leur foyer pour les entreprendre.

Bref, l'accès des femmes aux carrières scientifiques et technologiques progresse en Inde, mais il leur reste un long chemin à parcourir pour avoir les mêmes perspectives que leurs collègues de sexe masculin.

Radhika Ramasubban travaille dans le domaine de l'histoire et de la sociologie de la science et de la technologie. Elle s'est concentrée plus récemment sur la politique et les stratégies en matière de médecine et de santé publique dans le sous-continent indien. Le professeur Ramasubban est l'auteur d'articles de recherche pour des ouvrages et des périodiques publiés en Asie, en Europe et en Amérique du Nord, et participe activement à divers séminaires, colloques et organisations professionnelles. Actuellement, elle est l'une des vice-présidentes du Comité de recherche de la sociologie de la science et de la technologie de l'Association de sociologie internationale et occupe un poste de rang élevé au Centre d'études sociales et technologiques de Bombay.

Les initiatives et les acteurs internationaux

ELIZABETH MCGREGOR ET SANDRA HARDING

LES GRANDES ÉTAPES ET LES RECOMMANDATIONS ANTÉRIEURES

Les questions liées à la place des femmes dans la science et la technologie ont fait l'objet dans le passé de nombreuses analyses et initiatives. La figure 1 rappelle les grandes conférences qui, depuis 1975, se sont penchées sur ces questions, en relation notamment avec le développement. Plusieurs secteurs sont concernés, parmi lesquels la santé, l'énergie, l'agriculture, l'environnement, l'éducation, les systèmes d'information et les micro-entreprises. Toute une série de recommandations ont appelé les gouvernements à accroître l'accès des femmes aux formations et aux carrières scientifiques et techniques, et défini des stratégies pour permettre aux femmes de participer plus pleinement à l'élaboration des politiques et à la prise de décision au sein des organes compétents. A maintes reprises, les problèmes de l'accès aux ressources, à l'information et aux formations techniques pertinentes ont été mentionnés dans les documents de ces réunions internationales. Plus récemment ont surgi la question des savoirs locaux et celle des incidences différentes de la science et de la technologie dans la vie des femmes et des hommes.

Le volume I du guide intitulé *Gender in science and technology for sustainable and equitable development* (CRDI, WWVA, 1994) regroupe les différents documents et accords internationaux. Un résumé de l'évolution des recommandations au fil du temps et dans les différentes branches de la science figure en annexe de la publication du Centre de recherches pour le développement international du Canada, *Missing links : gender in science and technology*, qui complète le rapport final du Groupe de travail sur la sexospécificité de la Commission de la science et de la technique au service du développement des Nations Unies (GWG-UNCSTD, 1995a et b).

LES PRINCIPALES INITIATIVES AU SEIN DU SYSTÈME DES NATIONS UNIES

Organismes internationaux financés par l'argent public et puissants agents potentiels du changement, les institutions des Nations Unies sont investies d'une lourde responsabi-

lité en tant que modèles de l'engagement public en faveur des femmes dans le domaine de la science et de la technologie. Le Groupe de travail sur la sexospécificité de l'UNCSTD a entrepris, dans le cadre de son mandat, de passer en revue les réalisations des organismes de l'ONU en la matière. Avec le concours d'UNIFEM, une enquête a été conduite auprès de 24 institutions en vue de faire le point en ce qui concerne l'efficacité interne, la coordination interinstitutionnelle et la collaboration avec les organisations non gouvernementales féminines s'occupant de science et de technologie. Le rapport d'UNIFEM, publié en juin 1994 sous le titre *Review of UN agency activities in the field of gender, science and technology*, contient des informations détaillées concernant les politiques, la structure, le personnel, les programmes et les activités d'évaluation des organismes de l'ONU dans le domaine des femmes, de la science et de la technologie. Voici quelques-unes des conclusions qui se dégagent de cette enquête :

1. Si la plupart des organisations ont pris l'engagement de s'intéresser à la sexospécificité, souvent dans des résolutions de principe, et ont créé des départements, des programmes et/ou des centres de coordination, et si nombre d'entre elles sont fortement engagées dans la promotion de la science et de la technologie, quatre seulement ont des centres de coordination clairement consacrés à la place des femmes dans la science et la technologie ; dans tous les cas (à l'exception d'UNIFEM et de l'INSTRAW) il n'est pas suffisamment tenu compte dans leurs politiques de l'importance des questions relatives aux femmes, à la science et à la technologie.
2. Les préoccupations de la plupart des institutions reflètent les approches classiques visant à aider les femmes à avoir les mêmes possibilités d'accès aux progrès techniques. Ces institutions se soucient moins d'associer les femmes au développement technologique et très peu de promouvoir une plus grande participation des femmes aux décisions concernant la S et T ou la prise en considération de leurs points de vue au sein de l'appareil scientifique et technologique.
3. Les mécanismes internes d'examen, de suivi et d'évaluation des projets et programmes relatifs aux femmes,

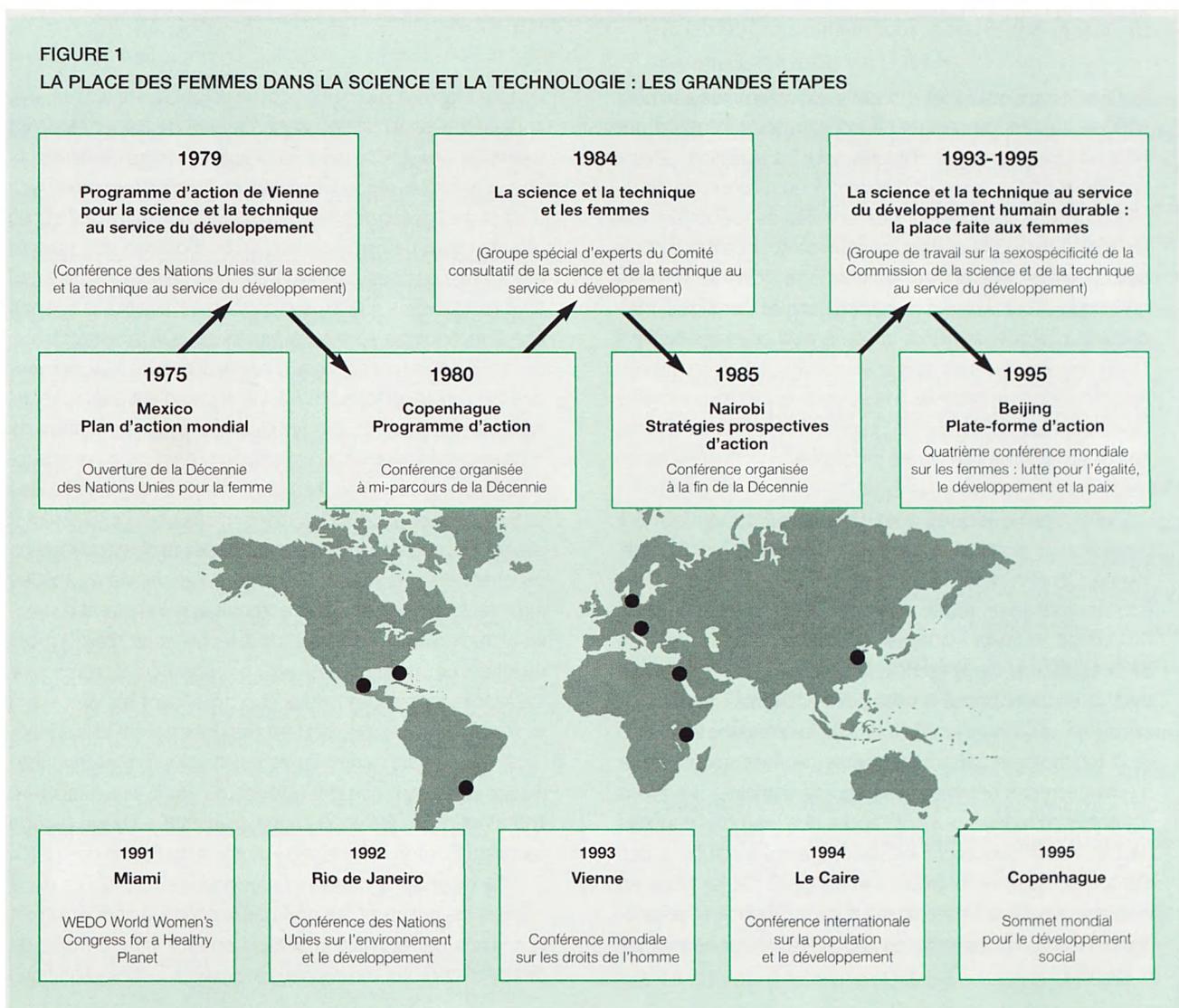
à la science et à la technologie sont très insuffisants pour toutes sortes de raisons qui tiennent aux structures, aux effectifs et aux capacités financières. De ce fait, les questions concernant l'égalité entre les hommes et les femmes n'ont pas été efficacement intégrées dans les activités des institutions de l'ONU relatives à la science et à la technologie.

4. Même si certaines activités témoignent d'une collaboration interinstitutionnelle sur ces questions, elles sont entreprises de façon ponctuelle, et non sur la base d'une

stratégie concertée. La nécessité de mettre à profit l'expérience des ONG est certes reconnue, mais rares sont les institutions qui disposent de mécanismes pour associer systématiquement les ONG féminines à l'élaboration, à la mise en œuvre ou à l'évaluation de leurs politiques et de leurs programmes.

Le Groupe de travail sur la sexospécificité de la Commission de la science et de la technique au service du développement a commandé une deuxième étude indépendante portant sur l'engagement global de l'ONU et les

FIGURE 1
LA PLACE DES FEMMES DANS LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE : LES GRANDES ÉTAPES



initiatives de ses institutions. Après examen du rapport et de celui d'UNIFEM, il a formulé un certain nombre de recommandations à l'adresse des Nations Unies, dont les sept qui sont reproduites ci-après :

1. Le système des Nations Unies devrait être invité à réviser sa politique structurelle actuelle pour faire en sorte que les questions relatives à la place des femmes dans

la science et la technologie y soient officiellement incorporées. Au sein de chaque organisation et de chaque institution, des spécialistes de ces questions devraient réaliser des études de cas et élaborer du matériel de formation pour montrer comment cela pourrait être fait. Ces spécialistes devraient coopérer avec le personnel chargé des activités de suivi et d'évaluation et des

Sexospécificité, science et technologie au sein des Nations Unies

MARILYN CARR*

La Quatrième Conférence mondiale sur les femmes a eu pour effet de susciter au sein de l'ensemble des institutions des Nations Unies un regain d'intérêt pour les questions liées à l'égalité entre les sexes et d'accroître les ressources disponibles pour le financement des activités se rapportant aux femmes. Mais combien de ces activités sont centrées sur la sexospécificité, la science et la technologie ? On a assurément beaucoup débattu de ces questions dans les Stratégies prospectives d'action de 1985. Jusqu'à quel point les Nations Unies ont-elles été capables d'aider à la mise en œuvre des recommandations relatives à la science et à la technologie ? Quels sont les politiques, les programmes et les tendances des diverses institutions et les problèmes qui ont été rencontrés ?

Telles sont quelques-unes des questions qui ont été posées à 24 institutions basées à Bangkok, Paris, Rome, Vienne, Genève, New York et Washington dans le cadre d'une enquête menée en février 1994 par UNIFEM à la demande du Groupe de travail sur la sexospécificité de la Commission de la science et de la technique au service du développement. L'enquête portait sur les points suivants : la politique interne en ce qui concerne le rôle de la femme dans la science et la technologie ; les mécanismes de mise en œuvre et d'évaluation des programmes dans ce domaine ; les types d'activités entreprises (avec, à l'appui, des exemples concrets de l'approche adoptée) ; les liaisons entre institutions des Nations Unies et entre celles-ci et les ONG ; et les plans en matière d'équité entre les sexes dans la science et la technologie, dans la perspective de la Conférence sur les femmes et au-delà.

Une masse d'informations considérable a été ainsi réunie, la plupart des institutions étant à même de fournir plusieurs exemples des actions menées. S'agissant toutefois de la politique interne, les réponses parlent souvent en termes vagues d'améliorer l'accès des femmes à la technologie et des jeunes filles à l'enseignement scientifique, ou indiquent que rien n'a été arrêté à ce niveau. De plus, si de nombreuses institutions sont convaincues que leurs programmes relatifs à la science et à la technologie sont aussi profitables aux femmes qu'aux hommes, leurs mécanismes d'évaluation et de suivi peuvent rarement en apporter la preuve. La plupart d'entre elles reconnaissent que des mécanismes plus efficaces permettraient de mesurer réellement les progrès accomplis dans ce domaine.

En ce qui concerne les types d'activité, la majorité des projets relèvent encore des interventions classiques visant à diffuser les progrès techniques auprès des femmes paysannes ou chefs d'entreprise et à accroître l'accès de toutes les femmes à l'enseignement scientifique et technique et au secteur structuré de la science et de la technologie, mais on note un intérêt croissant pour les actions consistant à promouvoir les savoirs techniques locaux que détiennent les femmes, à mettre en valeur le rôle des femmes qui innovent et à encourager les contacts entre les femmes scientifiques ou ingénieurs et les femmes des villages. C'est là une tendance importante qui a été encouragée davantage à Beijing dans le cadre du Pavillon « Once and Futur » et du Forum des ONG.

Étant donné la masse d'informations disponible dans chaque institution et les nombreux efforts dignes d'intérêt accomplis par quantité d'ONG, il pourrait être fort utile de mettre en commun les données d'expérience. Les institutions

statistiques dans chaque institution de l'ONU en vue de la collecte systématique de données ventilées par sexe. Les institutions devraient collaborer entre elles pour assurer le recours à des méthodes communes.

2. Les institutions des Nations Unies devraient se conformer activement aux décisions de principe leur demandant de recruter des spécialistes féminines en fixant des

des Nations Unies ont déjà reçu le rapport de l'enquête et en tirent les leçons, et beaucoup intensifient leur collaboration avec le réseau Once and Future Action Network (OFAN) pour la planification du Pavillon sur la science et la technologie. Il est permis d'espérer que le fait d'avoir travaillé ensemble sur les questions relatives à la place des femmes dans la science et la technologie créera entre les institutions des Nations Unies et les ONG des liens solides qui subsisteront longtemps après la Conférence.

Le Groupe de travail sur la sexospécificité de la Commission de la science et de la technique au service du développement travaille à l'élaboration de recommandations relatives à la nécessité de formuler une politique interne, de mettre en place des mécanismes d'évaluation et de constitution de réseaux et d'intensifier le recrutement des femmes à des postes techniques de haut niveau au sein des différentes institutions. Puissent ces recommandations aider à renforcer le travail des Nations Unies dans ce domaine important.

Toutes les institutions des Nations Unies peuvent faire davantage pour accroître l'accès des femmes à la science et à la technologie. Toutes peuvent aussi contribuer grandement à promouvoir l'idée d'une redéfinition, par les femmes, des grandes orientations de la science et de la technologie pour les axer davantage sur l'être humain.

* Marilyn Carr est conseillère supérieure auprès du Technology and Small Enterprise Development, UNIFEM, New York.

objectifs et des délais bien définis pour la nomination de telles spécialistes à des postes de haut niveau présentant une importance stratégique pour la science et la technologie. Des programmes dynamiques visant explicitement à recruter des femmes spécialistes de la science et de la technologie, ou à favoriser leur maintien ou leur réintégration à ces postes, devraient être mis en place. Les institutions devraient être invitées à rendre compte régulièrement à leurs organes directeurs des progrès réalisés et des obstacles spécifiques rencontrés. A cet égard, elles devraient s'inspirer des premières expériences réussies qui ont été menées notamment par le Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR) et l'OMS.

3. Les institutions des Nations Unies devraient incorporer les notions d'analyse et d'évaluation par sexe dans l'élaboration de leurs politiques, de leurs programmes et de leurs projets relatifs à la science et à la technologie sur la base de directives pratiques. Bien que chaque institution ait un mandat distinct et une méthode de programmation particulière et que, de ce fait, le contenu des directives doive être au bout du compte adapté à chacune d'elles, un ensemble de principes généraux leur serait utile. Les principes élaborés par UNIFEM pourraient être précisés à cet effet.
4. Le système des Nations Unies devrait mettre en place des procédures relatives à la recherche, à l'étude, au suivi et à l'évaluation de la sexospécificité de ses programmes en matière de science et de technologie, notamment pour rendre compte à intervalles réguliers aux différents organes directeurs des résultats obtenus et des enseignements qu'il convient d'en tirer. L'expérience acquise dans ce domaine par des institutions telles que l'OIT, l'ONUDI et UNIFEM pourrait servir à élaborer des directives générales qui seraient ensuite adaptées par les autres institutions. Dans chaque institution, des spécialistes de la place des femmes dans la science et la technologie devraient collaborer à cet effet avec les unités de suivi et d'évaluation.
5. Le système des Nations Unies devrait apporter son plein appui au renforcement et au maintien de méthodes non

Les activités du Groupe de travail sur la sexospécificité de la Commission des Nations Unies sur la science et la technique au service du développement de 1993 à 1995

OBJECTIF

Le Groupe de travail a été chargé en 1993 de formuler des recommandations à l'adresse des gouvernements nationaux concernant des actions individuelles au niveau de leurs pays respectifs, ainsi que des recommandations à l'adresse du Conseil économique et social concernant les réformes requises au sein du système des Nations Unies sur la place des femmes dans la science et la technologie.

DÉROULEMENT DES TRAVAUX

Un rapport a été rédigé à l'issue d'une réflexion menée durant deux ans par un Groupe de travail composé de 8 membres masculins et de 8 conseillères. 12 consultants et plus de 17 ONG s'occupant du rôle des femmes dans la science, la technologie et le développement étaient associés aux travaux, ainsi que 24 institutions des Nations Unies. Plus de 100 institutions scientifiques et techniques du monde entier ont été invitées à apporter leur contribution à ces travaux, placés sous le signe de la consultation et de la participation.

PRINCIPALES CONCLUSIONS

■ **Inégalité entre les sexes dans l'enseignement et les carrières scientifiques et technologiques**

Il existe des obstacles importants à la participation des filles et des femmes à l'éducation et aux carrières scientifiques et technologiques ; les femmes sont relativement peu nombreuses dans les organismes de décision et les organes consultatifs scientifiques et technologiques.

■ **Nature sexospécifique du progrès technologique**

Les progrès technologiques visant à améliorer les conditions de vie des habitants des régions rurales des pays en développement semblent avoir profité aux hommes plus qu'aux femmes.

Le Groupe de travail a fondé son analyse sur le postulat de la nature sexospécifique du développement. C'est un fait que les femmes et les hommes ont des responsabilités et des

rôles différents et exécutent des tâches différentes. Pour que la science et la technologie profitent à tous les membres de la société, il faut donc porter une attention égale aux besoins et aux intérêts respectifs des hommes et des femmes.

■ Le Groupe de travail a défini sept thèmes à propos desquels il est à la fois nécessaire et faisable de mener des **actions de transformation**, et il a établi pour chacun des listes de mesures possibles. Ces sept thèmes sont les suivants :

1. Équité entre les sexes dans l'enseignement scientifique et technologique
2. Suppression des obstacles qui entravent la carrière des femmes dans les domaines scientifique et technologique
3. Adaptation de la science aux besoins de la société : la place faite aux femmes
4. Sensibilisation des organes de décisions scientifiques et technologiques à l'équité entre les sexes
5. Amélioration qualitative des liens avec les sources de savoir local
6. Traitement des problèmes d'éthique dans la science et la technologie : la place faite aux femmes
7. Amélioration de la collecte de données ventilées par sexe à l'intention des décideurs.

■ Le Groupe de travail a rédigé une **Déclaration d'intention** énonçant six objectifs relatifs à la place des femmes dans la science et la technologie ; tous les gouvernements sont invités à souscrire à cette déclaration et à créer un comité spécial chargé d'élaborer des plans d'action nationaux pour sa mise en œuvre.

EXAMEN DE LA SITUATION AU SEIN DES NATIONS UNIES

Un examen approfondi des efforts réalisés au sein du système des Nations Unies en ce qui concerne la place des femmes dans la science et la technologie a abouti à la formulation d'un ensemble de recommandations qui seront transmises au Conseil économique et social.

structurées de constitution de réseaux interinstitutions sur la place des femmes dans la science et la technologie. La Commission de la science et de la technique au service du développement devrait collaborer de façon permanente avec ce réseau afin d'assurer la prise en compte de ce problème et un appui mutuel dans la réalisation des objectifs visés. Les Nations Unies devraient également explorer d'autres méthodes de communication intra- et interinstitutionnelle, comme le raccordement à un réseau électronique sur la place des femmes dans la science et la technologie. Ce réseau pourrait être lui-même raccordé aux réseaux d'ONG existants.

6. Les institutions des Nations Unies remplissant des fonctions à l'interface entre la science et la technologie devraient inclure une analyse de la sexospécificité dans la science et la technologie dans tous leurs programmes ordinaires et accroître les crédits accordés aux unités chargées de cette question dans leurs budgets ordinaires. Les institutions à vocation technique devraient favoriser le recrutement d'un nombre suffisant d'experts

en la matière et exiger que tout leur personnel reçoive une formation dans ce domaine afin que la question de la place de la femme dans la science et la technologie soit pleinement prise en compte dans leurs programmes de travail ordinaires.

7. Le système des Nations Unies devrait reconnaître l'intérêt que présente la collaboration avec les ONG et renforcer les partenariats officiels avec elles et l'aide qu'ils s'apportent mutuellement sur le plan de l'élaboration des politiques, et de la conception, de la mise en œuvre et de l'évaluation de programmes de coopération technique. Des modèles tels que ceux qui ont été mis au point par le CGIAR et le HCR pourraient être étudiés en vue de trouver des solutions adaptées à chaque institution. Des relations de partenariat devraient être établies avec les ONG — dont le nombre dépasse 650 — qui s'occupent activement du rôle des femmes dans la science et la technologie. Le réseau « Once and Future Action » devrait être soutenu et les centres de coordination des Nations Unies associés à ses activités.

Les ONG : le réseau *Once and Future Action Network*

JOSEPHINE BEOKU-BETTS*

Les efforts des organisations non gouvernementales pour sensibiliser le public au problème de l'équité entre les sexes dans la science et la technologie ont rapidement pris de l'ampleur au cours de la dernière décennie. De plus en plus conscientes des effets des plans de restructuration économique dans le monde, de la rapidité du progrès technique, de la persistance de la pauvreté et de la dégradation générale de l'environnement, ces groupements, qui comprennent aussi bien des organismes d'aide au développement communautaire que des associations professionnelles de femmes scientifiques, remettent en question les modèles de développement actuels et plaident pour une éthique, des programmes et des méthodes de développement radicalement nouveaux.

Pour beaucoup d'ONG compétentes, les besoins de la majorité des femmes de la planète ne sont pas encore satisfaits, alors même que plusieurs conférences internationales ont reconnu l'importance de la science et de la technologie dans la vie des femmes. Des progrès ont été accomplis, mais les préjugés sociaux voulant que les femmes n'entendent rien à la science et à la technologie retardent toute véritable prise en compte de leurs besoins lors de l'élaboration et de la mise en œuvre des programmes. Les femmes continuant d'être perçues comme des bénéficiaires passives de la science et de la technologie, la profusion de connaissances scientifiques et techniques (formelles et non formelles) produites par elles et qui contribuent au bien-être social et à la santé de l'environnement n'est pas reconnue ni validée. Les ressources allouées à la R-D dans le domaine de la production et du traitement des aliments, de l'alimentation en eau des zones rurales et des sources d'énergie renouvelables, qui sont autant de priorités élevées pour les femmes, restent de ce fait extrêmement insuffisantes. Le caractère limité des possibilités de recevoir une formation (scolaire ou extrascolaire), d'obtenir un emploi et d'exercer des fonctions de responsabilité qui sont offertes aux femmes dans le secteur de la science et de la technologie demeure un autre grave sujet de préoccupation. Les ONG compétentes contestent ces approches du développement et cherchent à faire adopter des approches de la pratique scientifique holistiques, mieux centrées sur l'être humain et plus respectueuses de l'environnement. Elles tentent de faire valoir les connaissances scientifiques et tech-

niques des femmes autochtones et de promouvoir un environnement dans lequel les femmes prendraient une part active à la conceptualisation et à l'élaboration des stratégies de développement de la science et de la technologie.

En 1992, UNIFEM et le Centre de la tribune internationale de la femme ont pris des premiers contacts avec des organisations et des personnalités s'occupant de la place des femmes dans la science et la technologie en vue de mettre sur pied une stratégie appelant l'attention sur la science et la technologie lors de la Quatrième Conférence mondiale sur les femmes organisée à Beijing en 1995. Ces organismes ont estimé qu'il convenait de mettre à profit les occasions uniques qu'offraient cette Conférence et le Forum parallèle de faire de ces questions un des thèmes de réflexion principaux dans le domaine du développement de la femme pour influencer sur l'élaboration de la Plate-forme d'action de 1995 (principal document d'orientation pour la promotion de la femme approuvé par les États membres de l'ONU).

Le réseau *Once and Future Action Network* (OFAN), qui regroupe plus de 40 ONG internationales s'occupant de la place des femmes dans la science et la technologie, est né de cette initiative. Il s'est fixé les objectifs suivants :

- Promouvoir l'égalité d'accès pour les filles et les femmes dans le domaine de la science et de la technologie, notamment en favorisant leur alphabétisation et leur initiation à la science, ainsi que leur formation technique à tous les niveaux, et en faisant en sorte qu'elles puissent jouer un rôle dans ce domaine tout au long de leur existence.
- Reconnaître la valeur des compétences et des connaissances expertes existantes et promouvoir l'articulation entre la science officielle et les savoirs locaux détenus par les femmes.
- Renforcer les rôles joués par les femmes afin qu'elles soient consultées aux fins de la redistribution des ressources allouées à la recherche et à la pratique scientifiques et technologiques, et de la réévaluation des orientations, des buts et de l'éthique de la recherche-développement.
- Susciter un changement social en créant un environnement qui permette de partager et d'exploiter pleinement les fruits du savoir scientifique et technique féminin comme le patrimoine commun de tous.

Si l'expérience et les ressources dont disposent à eux tous les membres de l'OFAN offrent désormais un cadre solide pour faire avancer de façon tangible les conceptions du réseau, des ONG s'occupaient déjà de la science et de la technologie au niveau institutionnel et au niveau non formel avant l'existence de ce réseau et d'autres groupements similaires. C'est ainsi que l'IFIAS (Fédération internationale des instituts de hautes études), la TWOWS (Organisation des femmes scientifiques du Tiers Monde), la WWVA (World Women's Veterinary Association) et Approtech Asia ont établi des bases de données et des répertoires recensant les scientifiques et les techniciennes, et que l'IT (Intermediate Technology Group), l'IFIAS et la WWVA ont étudié les innovations scientifiques introduites par des femmes dans le secteur non structuré. De même, des associations de scientifiques comme GASAT (Gender and Science and Technology), l'AAAS (American Association for the Advancement of Science) et le FEA (Forum des éducatrices africaines) ont réalisé des études sur les obstacles et les contraintes qui rendent l'accès du secteur de la science difficile pour les femmes et empêchent celles qui y font carrière d'être promues à des postes de responsabilité. Des associations de scientifiques des Philippines, du Ghana et des États-Unis d'Amérique ont également attiré l'attention, par le biais de conférences, de camps de vacances et de foires de la science, sur l'importance pour les jeunes femmes débutant dans les professions scientifiques de disposer de modèles d'identification et des conseils de collègues plus âgées. Enfin, des organismes d'aide au développement comme le CTIF (Centre de la tribune internationale de la femme) et le bureau de l'énergie et de l'environnement de la YWCA ont beaucoup fait depuis des années pour démystifier et vulgariser la science et la technologie à travers leurs publications et leurs programmes de formation.

Le réseau Once and Future Action Network a adopté un certain nombre de stratégies à long et à court terme en vue d'encourager ses membres à collaborer, à renforcer leurs capacités et à entreprendre des campagnes de promotion. L'enquête UNIFEM/CTIF de 1992 visant à déterminer quelles organisations étaient engagées dans des activités relatives à la place des femmes dans la science et la technologie a permis de publier un répertoire intitulé *Who's doing what in*

science and technology, qui a servi de guide et d'outil pour la constitution de réseaux. Les Nations Unies ont également fait appel aux compétences de divers membres de l'OFAN pour qu'ils donnent leur avis sur les incidences de la sexospécificité des sciences et de la technologie sur les femmes, dans le cadre de l'élaboration de la Plate-forme d'action. Des ateliers sur la science et la technologie ont été organisés lors des réunions préparatoires de la Conférence, ainsi que des consultations avec des ONG à l'échelon régional et international. Le réseau OFAN a obtenu que ces problèmes soient mis en avant dans certains des plans d'action régionaux, en particulier celui de la région Afrique. Il publie en outre une lettre d'information trimestrielle, participe à des téléconférences et organise des réunions avec des groupes d'intérêts similaires dans les communautés locales.

La Quatrième Conférence mondiale sur les femmes et le Forum des ONG parallèle de Beijing ont été pour le réseau l'occasion de faire valoir sa vision d'une approche de la science et de la technologie plus respectueuse de l'environnement et mieux centrée sur l'être humain à travers une manifestation, baptisée Pavillon du passé et de l'avenir (Once and Future Pavilion), organisée dans le cadre du Forum. Conçu sous forme interactive, le Pavillon a fait connaître une large gamme d'activités mettant en lumière les contributions possibles des femmes à la réorientation de la science et de la technologie et à la définition de nouvelles priorités dans ce secteur. Il a été l'occasion de poser des questions et lancer des débats, créer des liens, partager idées et stratégies et mettre en route un processus de définition d'une nouvelle vision qui puisse être mise en œuvre de manière novatrice aux niveaux local, régional et international au-delà de Beijing.

* Josephine Beoku-Betts est coordonnatrice du réseau Once and Future Action Network (OFAN).

Les femmes, la science et la technologie sur Internet

BEV CHATAWAY*

Les sources d'information disponibles sur Internet et les autres réseaux électroniques ne cessent de se multiplier et de se diversifier à un rythme prodigieux. Voici quelques-uns des services sur la place des femmes dans la science et la technologie qui étaient proposés en avril 1995 :

MESSAGERIES

Les abonnés souhaitant participer à des échanges entre experts du monde entier partageant les mêmes centres d'intérêt peuvent se connecter à diverses messageries internationales :

EDUCOM-W est une liste de diffusion restreinte consacrée à des aspects de la technologie et de l'éducation intéressant les femmes. Adresser les demandes d'abonnement à :
LISTSERV@BITNIC.EDUCOM.EDU

FIST est une liste de diffusion libre où l'on débat des rapports entre le féminisme et la science et la technologie. Adresser les demandes d'abonnement à :
LISTSERV@DAWN.HAMPSHIRE.EDU

WISENET est une liste de diffusion sur le rôle des femmes dans la science, les techniques de l'ingénieur et les mathématiques. Adresser les demandes d'abonnement à :
LISTSERV@UICVM.UIC.EDU

WITI est une liste de diffusion de l'International Network of Women in Technology. Envoyer les demandes d'abonnement à :
WITI@CUP.PORTAL.COM

SERVEURS DE DONNÉES

On trouve sur Internet un choix croissant de serveurs de données :

Women in technology

L'International Network of Women in Technology est une association professionnelle de femmes représentant diverses disciplines au sein d'organismes à vocation technologique. Ce serveur propose notamment des informations sur WITI, son organisation et ses conférences.

[HTTP://WWW.CAREERMOSAIC.COM/CM/WITI](http://WWW.CAREERMOSAIC.COM/CM/WITI)

Women in Sciences and Engineering

Ce serveur propose une « Women in Sciences Reading Room » où l'on trouve des documents sur les femmes dans la science de l'Antiquité à nos jours.

[HTTP://TWEEDLEDEE.UCSB.EDU/KRIS/WIS.HTML](http://TWEEDLEDEE.UCSB.EDU/KRIS/WIS.HTML)

Les femmes et les minorités dans les sciences et les métiers de l'ingénieur

Propose des listes d'organismes, d'autres serveurs de données et des documents en version intégrale sur ce sujet.

[HTTP://WWW.A1.MIT.EDU/PEOPLE/ELLENS/GENDER/WOM AND MIN.HTML](http://WWW.A1.MIT.EDU/PEOPLE/ELLENS/GENDER/WOM AND MIN.HTML)

Organisations encourageant les femmes scientifiques et ingénieurs

Le Committee on Women in Science and Engineering (CWSE) du Conseil national de la recherche des États-Unis d'Amérique s'est réuni pour la première fois en 1991. Ce serveur propose une liste des organisations regroupant des femmes scientifiques et/ou s'adressant à elles aux États-Unis.

[HTTP://XERXES.NAS.EDU:70/1/CWSE](http://XERXES.NAS.EDU:70/1/CWSE)

Women in Science Project, Dartmouth College

Ce projet vise à encourager les jeunes femmes s'intéressant à la science à persévérer.

[HTTP://MMM.DARTMOUTH.EDU/PAGES/WISKIT.HTML](http://MMM.DARTMOUTH.EDU/PAGES/WISKIT.HTML)

* Bev Chataway est directrice des services de recherche d'information au Centre de recherche pour le développement international (CRDI) du Canada.

Les auteurs espèrent que cette section, qui ne présente nécessairement que des aperçus sélectifs et quelques brefs exemples des problèmes de fond, pourra contribuer à stimuler le débat et à encourager des études sur la place des femmes dans la science et la technologie.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur reconnaissance à Beatriz Ruivo, qui a participé à développer la conception d'une section spéciale consacrée à la place des femmes dans la science et la technologie dans le *Rapport mondial sur la science*, ainsi qu'à Farkhonda Hassan pour ses précieux conseils lors de l'élaboration de cette section.

Les auteurs souhaitent également remercier les personnes ci-après pour l'aide qu'elles ont apportée à la réalisation de ce travail : Ioanna Sahas, Lisa Littlefield, Tanya Padburg, Deepika Grover et Geeta Narayan, qui ont passé de longues heures à compiler et étudier rapports et documents ; Catherine Hill, Perpetua Kalala, Angela Pascari, Fabiola Bazo et Rosa Chiombola pour leurs contributions personnelles.

Sandra Harding est professeur de philosophie et d'études sur les femmes à l'Université de Delaware ainsi qu'à l'Université de Californie à Los Angeles. Elle est l'auteur et la directrice de publication d'une demi-douzaine d'ouvrages et de plus de 50 articles, dont *The science question in feminism* (1986), *Sex and scientific inquiry* (1987) et *The racial economy of science : toward a democratic future* (1993). Elle donne de temps à autre des cours à l'Université d'Amsterdam, à l'Université du Costa Rica et à l'Institut fédéral suisse de technologie à Zurich.

Elizabeth McGregor est directrice d'études du groupe de travail sur la sexospécificité de la Commission de la science et de la technique au service du développement des Nations Unies et analyste principale en matière de politiques auprès du Conseiller scientifique du Président, au Centre de recherche pour le développement international (CIRD), au Canada. De 1991 à 1993, elle a occupé la fonction de directrice du groupe de recherche national canadien pour la concurrence scientifique et technologique. Après des travaux sur le terrain en Amérique du Sud, elle fut affectée, dans les années 70, au Siège de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Elle a obtenu un doctorat d'études vétérinaires avant de devenir directrice des programmes internationaux auprès du Collège vétérinaire de l'Ontario ; par la suite elle travailla pour le Gouvernement canadien. E. McGregor a fondé l'Association mondiale des femmes vétérinaires, organisation internationale non gouvernementale travaillant sur des projets faisant intervenir les femmes et les enfants dans l'agriculture. Elle a reçu en 1993 un prix de distinction de l'Association américaine des femmes vétérinaires. Elle a fait partie du consortium d'organisation des ONG sur la science et le développement pour la Quatrième Conférence mondiale sur les femmes en 1995.

BIBLIOGRAPHIE

- AAAS. 1993. *Science in Africa : women leading from strength*, actes du forum organisé par l'American Association for the Advancement of Science (AAAS), Sub-Saharan African Program, Washington, D.C., mai 1993.
- AAC (Association of American Colleges). 1986. 1818 R. Street, NW, Washington, D.C., 20009.
- Abdus Salam, A. 1990. *Building science and technology capacity in the South : a blueprint*, communication présentée à la troisième Conférence générale de l'Académie des sciences du Tiers Monde, Caracas (Venezuela), octobre 1990.
- Abir-Am, P. G. et Outram, D. (dir. publ.) 1987, 1989. *Uneasy careers and intimate lives : women in science, 1789-1979*, New Brunswick/Londres, Rutgers UP.
- Acker, J. 1992. Gendered institutions : from sex roles to gendered institutions, *Contemporary Sociology*, 21, p. 565-569.
- Alper, J. 1993. The pipeline is leaking women all the way along, *Science*, 260.
- Appleton, H. et Hill, C. 1994. Numéro spécial sur les savoirs autochtones féminins et les savoirs autochtones sur la sexospécificité, dans *Indigenous Knowledge and Development Monitor*, décembre 1994.
- APPROTECH ASIA. 1993. *Mainstreaming women in science and technology*, rapport de l'International Symposium of Women in Science and Technology Development and Transfer. Thaïlande, juillet, Asian Alliance of Appropriate Technology Practitioners (APPROTECH ASIA) et Women in Science and Engineering Forum of Thailand (WISE-T).
- Australie. 1994. *Women in science, engineering and technology. A discussion paper*, document élaboré par le Women in Science, Engineering and Technology Advisory Group, Canberra, septembre 1994.
- Banque mondiale. 1993. *Rapport sur le développement dans le monde 1993 : investir dans la santé*, Washington, D.C., Banque mondiale.
- Barinaga, M. 1992. The pipeline is leaking, *Science*, 255, p. 1366-1367.
- . 1993. Is there a « female style » in science ? *Science*, 260, avril, p. 384-391.
- Belenky, M. F. et al. 1986. *Women's ways of knowing : the development of self, voice and mind*, New York, Basic Books.
- BOSTID. 1994. *Barriers faced by developing country women entering professions in science and technology*, actes d'un atelier parrainé par le Board on Science and Technology for International Development (BOSTID), Conseil national de la recherche, Washington, mars.
- Bumiller, E. 1990. *May you be the mother of a hundred sons*, New Delhi, Penguin.
- Canada. 1988. Comité de la participation des femmes dans la science et la technologie, Rapport du Conseil consultatif national des sciences et de la technologie présenté au Premier ministre.
- Canada. 1993. *Les femmes, un atout dans les métiers, la technologie, les sciences et le génie*, rapport du Conseil consultatif national des sciences et de la technologie, Comité des ressources humaines, présenté au Premier ministre, Ottawa, janvier.
- CGIAR. 1994. Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale. *Partners in selection : bean breeders and women bean experts in Rwanda*, publication du Secrétariat du CGIAR, Washington, D.C., 20433, octobre 1994.
- Collins, P. H. 1991. *Black feminist thought : knowledge, consciousness and the politics of empowerment*, New York, Routledge.
- Comité canadien des femmes en ingénierie. 1992. *Elles font une différence*, rapport du Comité canadien des femmes en ingénierie, Frédéricton, N.-B.
- Commission européenne. 1993. *Women in science*, rapport de l'atelier international, Bruxelles, Commission européenne, 15-16 février 1993.
- Connell, R. W. 1985. Theorizing gender, *Sociology*, 19, p. 260-272.
- Cook, J. et Fonow, M. M. (dir. publ.). 1991. *Beyond methodology : feminist scholarship as lived research*, Bloomington, Indiana University Press.
- CRDI, WWVA. 1994. *Gender in science and technology for sustainable and equitable development : a guide to issues, networks and initiatives*, vol. 1 et 2, Ottawa, CRDI.
- CSIR (Council for Scientific and Industrial Research). 1981. *Degree holders and technical personnel survey, census 1981*, vol. 1, New Delhi, All India.
- Dauber, R. et Cain, M. L. (dir. publ.). 1981. *Women and technological change in developing countries*, Boulder, Westview Press.
- Davies, M. (dir. publ.). 1987. *Third world second sex 2*, Londres, Zed Books.
- De Pietro-Jurand, R. 1994. *Women's access to higher education : a review of the literature*, Département de l'éducation et de la politique sociale, Washington, D.C., Banque mondiale.
- DST (Ministère de la science et de la technologie, Gouvernement de l'Inde). 1980. *Employment pattern of women in R&D organisations : a statistical analysis*, New Delhi.
- Ellis, P. 1990. *Measures increasing the participation of girls and women in technical and vocational education and training : a Caribbean study*, Secrétariat des pays du Commonwealth, Londres, en coopération avec la Caribbean Association for Technical and Vocational Education and Training, Nassau.
- Etzkowitz, H. et al. 1994. The paradox of critical mass for women in science, *Science*, 266 (5182), p. 51-54.
- FAO. 1979. Conférence mondiale sur la réforme agraire et le développement rural, Rome, juillet 1979, Rapport final.

- Faruqi, A. M., Hassan, A. H. A. et Sandri, G. 1991. *The role of women in the development of science and technology in the Third World*, actes de la conférence organisée par l'Agence canadienne de développement international et l'Académie des sciences du Tiers Monde, Trieste (Italie), octobre 1988, Singapour, World Scientific.
- Fausto Sterling, A. 1985, 1994. *Myths of gender : biological theories about women and men*, New York, Basic Books.
- GWG-UNCSTD (Groupe de travail sur la sexospécificité de la Commission de la science et de la technique au service du développement). 1995a. *Missing links : gender in science and technology*, CRDI, IT Publications et UNIFEM.
- . 1995b. *La science et la technique au service du développement humain durable : la place faite aux femmes*, rapport présenté à la Commission de la science et de la technique au service du développement.
- Goonatilake, S. 1984. *Aborted discovery : science and creativity in the Third World*, Londres, Zed Books.
- Gouvernement de l'Inde. 1981. *Census of India, 1981*, Series I-India, Part IV-A, Social and Cultural Tables, New Delhi.
- Hall, R. M. 1982. *The classroom climate : a chilly one for women ?* Project on the Status and Education of Women, Association of American Colleges (1818 R. Street, NW, Washington, D.C., 20009).
- Haraway, D. J. 1989. *Primate visions : gender, race and nature in the world of modern science*, New York, Routledge.
- Harding, S. 1986. *The science question in feminism*, Ithaca, N.Y., Cornell University Press.
- . (dir. publ.). 1987 *Feminism and methodology : social science issues*, Bloomington, Indiana University Press.
- . 1991. *Whose science ? Whose knowledge ? Thinking from women's lives*, Ithaca, N.Y., Cornell University Press.
- . 1992. After the neutrality ideal : science, politics and « strong objectivity », *Social Research*, 59, p. 567-587.
- . (dir. publ.). 1993. *The « racial » economy of science : toward a democratic future*, Bloomington, University of Indiana Press.
- . 1994. Is science multicultural ? Challenges, resources, opportunities, uncertainties. Dans *Configuration*, 2, p. 2, et dans D. T. Goldberg (dir. publ.), *Multiculturalism : a reader*. Londres, Blackwell's.
- . et O'Barr, J. (dir. publ.). 1987. *Sex and scientific inquiry*, Chicago, Chicago University Press.
- Hubbard, R. 1990. *The politics of women's biology*, New Brunswick, N.J., Rutgers University Press.
- Jones, M. G. et Wheatley, J. 1990. Gender differences in teacher-student interactions in science classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, p. 861-874.
- Johnson, J. M. 1994. *International comparisons of women in higher education in science and engineering*, communication présentée à la Conférence annuelle de la Comparative and International Education Society, 21-24 mars 1994, San Diego, Californie.
- Kanter, R. M. 1977. *Men and women of the corporation*, New York, Basic Books.
- Keller, E. F. 1985. *Reflections on gender and science*, New Haven, Yale University Press.
- . 1992. *Secrets of life, secrets of death : essays on language, gender and science*, New York, Routledge.
- Kettel, B. 1994. *Key pathways for science and technology for sustainable and equitable development*, document rédigé pour le Groupe de travail sur la sexospécificité, Commission de la science et de la technique au service du développement, Nations Unies.
- King, E. M. 1990. *Educating girls and women : investing in development*, Banque mondiale.
- Koblitz, A. H. 1993. *Sofia Kovalevskaia, scientist, writer, revolutionary*, New Brunswick, N.J., Rutgers University Press, 1^{re} édition en 1983.
- Lloyd, G. 1984. *The man of reason : « male » and « female » in Western philosophy*, Minneapolis, University of Minnesota Press.
- Lorber, J. et Farrell, S. A. (dir. publ.). 1991. *The social construction of gender*, Newbury Park, CA, Sage Publications.
- Makhubu, L. P. 1993. The potential strength of African women in building Africa's scientific and technological capacity, discours liminaire, AAAS Forum, *Science in Africa, women leading from strength*, Washington, D.C., AAAS.
- Malcolm, S. M., Moriat-Lou, H., Boulware, P. A. et Burens, S. M. 1985. *Science, technology and women : a world perspective*, Washington, D.C., AAAS.
- Merchant, C. 1980. *The death of nature : women, ecology and the scientific revolution*, New York, Harper and Row.
- Mills, A. J. et Tancred, P. (dir. publ.). 1991. *Gendering organizational theory*, Londres, Sage.
- Mitter, S. 1994. What women demand of technology, *New Left Review*, 205, p. 100-112.
- National Science Foundation. 1992. *Women and minorities in science and engineering*, Washington, D.C., US Government Printing Office.
- Norem R. H., Yoder, R. et Martin, Y. 1989. Indigenous agricultural knowledge and gender issues in Third World agricultural development, dans D. M. Warren, L. J. Slikkerveen, et S. O. Titola (dir. publ.), *Indigenous knowledge systems : implications for studies in technology and social change*, vol. 11, p. 91-100, Ames, Iowa State University, Technology and Social Change Program, États-Unis d'Amérique.
- Odhiambo, T. 1994. *Redefining Africa's priorities for the 1990's : an agenda for a science-led development strategy for Africa*, communication présentée au Second Presidential Forum, Maputo, Mozambique.
- Oldham, G. 1994. Actes du Colloque ORSTOM/UNESCO sur le thème « Les sciences hors d'Occident aux xx^e siècle », septembre 1994 (trad. Françoise Arvanitis, à paraître aux éditions de l'ORSTOM).
- Organisation des Nations Unies. 1986a. *Compendium of statistics and indicators on the situation of women*, New York, ONU.
- . 1986b. *World survey on the role of women in development*. New York, Département des affaires économiques et sociales, ONU.

- . 1989. *World survey on the role of women in development*, New York, Département des affaires économiques et sociales, ONU.
- . 1991. *The world's women 1970-1990. Trends and Statistics*, New York, ONU.
- Osborn, M. 1994. Status and prospects of women in science in Europe, *Science*, 263, p. 1391, mars 1994.
- Pietila, H. et Vickers, J. 1990. *Making women matter : the role of the United Nations*, Londres, Zed Books.
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement). 1990. *Rapport mondial sur le développement humain 1990*, Paris, Economica.
- Proctor, R.N. 1991. *Value-free science ? Purity and power in modern knowledge*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Rose, H. 1983. Hand, brain and heart : a feminist epistemology for the natural sciences, *Signs*, vol. 9, 1 (reproduit dans Harding et O'Barr, 1987.)
- Rosser, S. V. 1986. *Teaching science and health from a feminist perspective*, Oxford, Pergamon Press.
- Rossiter, M. W. 1982. *Women scientists in America*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- Royaume-Uni. 1993a. *Realizing our potential : a strategy for science and technology*, Livre blanc, Londres, HMSO.
- . 1993b. *The rising tide : a report on women in science, engineering and technology*, Londres, HMSO.
- Sadker, M. et Sadker, D. 1994. *Failing at fairness : how America's schools cheat girls*, New York, Scribner and Sons.
- Sandler, B. R. 1986. *The campus climate revisited : chilly for women faculty, administrators and graduate students*, Washington, D.C., Association of American Colleges (1818 R. Street, NW, Washington, D.C., 20009).
- Sandhu, R. et Sandler, J. 1986. *The tech and tools book : a guide to technologies women are using worldwide*, Londres, International Women's Tribune Centre/IT Publications.
- Schiebinger, L. 1993. *Nature's body : gender in the making of modern science*, Boston, Beacon Press.
- Science. 1992. Women in science, n° spécial, 255, mars 1992.
- . 1993. Women in science 1993 - gender and culture, 260, p. 383-430.
- . 1994. Women in science 1994 - comparison across cultures, 263, p. 1467-1496.
- Seager, J. 1993. *Earth follies : coming to feminist terms with the global environmental crisis*, New York, Routledge.
- Secrétariat des pays du Commonwealth. 1992. *Girls and women in science : science and technology roadshow*, rapport et manuel parrainés par le Secrétariat.
- Sen, G. 1982. Women workers and the green revolution. Dans L. Beneria (dir. publ.), *Women and development : the sexual division of labor in rural societies*, New York, Praeger, p. 29-64.
- . et Grown, C. 1987. *Development, crises and alternatives visions : Third World women's perspectives*, New York, Monthly Review Press.
- Shiva, V. 1988. *Staying alive : women, ecology and development*, (publié à l'origine par Kali for Women), Londres, Zed Press.
- Traweek, S. 1988. *Beamtimes and lifetimes : the world of high energy physicists*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- UNESCO. 1993. *Forum international sur la culture scientifique et technologique pour tous (Projet 2000+ : Phase 2), Déclaration*, Paris, UNESCO.
- UNIFEM. 1993a. *Women, science and technology : new visions for the 21st century*, rapport du Groupe d'experts, New York, 14-18 décembre, UNIFEM.
- . 1993b. *Action for agenda 21 : an easy reference to the specific recommendations on women*, New York, UNIFEM.
- . 1994. *Review of UN agency activities in the field of gender, science and technology*, juin 1994.
- University Grants Commission. 1980-81, 1983-84, 1992-93, *Annual reports, 1980-81, 1983-84, 1992-93*, New Delhi.
- Wajcman, J. 1991. *Feminism confronts technology*, University Park, Penn State Press.
- Zuckerman, H., Cole, J. R. et Bruer, J. T. (dir. publ.). 1991. *The outer circle : women in the scientific community*, New Haven, Yale University Press.

Les femmes dans la recherche scientifique moderne : aperçu historique

PNINA G. ABIR-AM

Si, comme l'a dit un éminent anthropologue, « la science est le mode de connaissance des sociétés industrielles », la marginalisation des femmes dans l'histoire de la science, depuis la révolution scientifique du XVII^e siècle jusqu'à la révolution informatique et biotechnologique de la fin du XX^e siècle, pourrait être d'une importance décisive pour comprendre l'ordre social en voie d'internationalisation des sociétés modernes. Certes, la science a été souvent considérée comme une des principales forces qui définissent la modernité. Mais si les femmes, c'est-à-dire la moitié de la population, continuent d'être systématiquement sous-représentées dans le domaine scientifique, pouvons-nous en conclure que l'égalité des sexes dans ce domaine n'est possible que dans une société postmoderne ?

Quelle influence ces quatre siècles d'exclusion presque totale des femmes de l'activité scientifique ont-ils eue sur les relations entre la science et la société et sur les relations entre les sexes, relations constamment légitimées au nom de l'hégémonie culturelle indiscutable de la science ?

Comment la science peut-elle prétendre avoir jamais été une institution uniquement destinée à produire des connaissances objectives, alors que ces prétendues connaissances ont si rarement reflété la conception du monde de la moitié de la population, même quand on y trouvait les plus hautes compétences ? Pourquoi les scientifiques se sont-ils toujours prévalus du statut épistémologique privilégié de la science pour diffuser une représentation des rôles sexuels et des femmes qui a renforcé la hiérarchisation des sexes dans l'ensemble du système social et politique ?

Pour répondre à ces questions, il est utile d'examiner le rôle des femmes dans la recherche scientifique en tenant compte des cinq paramètres suivants, qui sont d'ailleurs interdépendants : la période historique ; la discipline scientifique ; la nationalité ; la situation familiale ; la « conscience sexuelle » (*gender consciousness*) — telle qu'elle a été analysée dans Abir-Am et Outram (dir. publ.), 1987. Mais il faut d'abord souligner que notre représentation du rôle des femmes dans l'histoire de la science est influencée non seulement par le rôle effectif qu'elles ont joué ou par les témoignages qui nous en sont restés, mais aussi par la

répartition actuelle de la conscience sexuelle chez les historien(ne)s des sciences, les scientifiques, les journalistes scientifiques et les autres auteurs qui réfléchissent sur la science. Les représentations de toutes ces catégories d'auteurs sont en outre influencées par l'importance relative des idéologies multiculturalistes et la prédominance de la « politique de l'identité » (c'est-à-dire d'une politique principalement déterminée par des questions de classes sociales ou d'appartenance ethnique, raciale ou sexuelle) dans la société civile et notamment dans les milieux universitaires. Cette influence a été particulièrement sensible dans les années 80, période durant laquelle ont été entreprises la plupart des recherches historiques visant à mettre au jour le rôle des femmes dans l'activité scientifique (la bibliographie placée à la fin de cette étude signale les travaux les plus remarquables consacrés pendant les années 80 aux rapports entre les femmes et la science).

Les initiatives internationales en faveur des femmes, par exemple la Décennie des Nations Unies pour les femmes considérées comme actrices du développement (1975-1985), ont sensibilisé dans le monde entier l'opinion publique et les milieux universitaires à la nécessité d'une politique d'égalité entre les sexes, mais elles ont aussi largement contribué à la production d'un discours radical sur les femmes, les rôles sexuels et la culture scientifique des sociétés de la fin du XX^e siècle. Ces différentes forces ne se sont combinées nulle part aussi puissamment et sur une aussi vaste échelle que dans le contexte de la politique intérieure et des études universitaires aux États-Unis d'Amérique (Hollinger, 1993) ; c'est pourquoi une grande partie des études actuellement consacrées aux rôles sexuels et à la place des femmes dans l'activité scientifique reflètent implicitement ou explicitement un point de vue qui est le produit de l'expérience américaine. Cette prépondérance des conceptions américaines pourrait être une cause de distorsion ; mais elle est contrebalancée par le développement rapide de moyens peu coûteux de communication internationale (télécopie et courrier électronique notamment), dans la mesure où ces progrès, qui datent également des années 80, frappent d'obsolescence les frontières nationales et les délais dus à l'éloignement.

LES PÉRIODES HISTORIQUES

La participation des femmes à l'activité scientifique, comme les autres aspects de cette activité, a varié selon les époques, mais pas de façon linéaire, progressive. Au xvii^e siècle, c'est-à-dire à l'époque où l'organisation sociale de la science s'est mise en place (Ben David, 1984), des femmes de l'aristocratie ont joué un rôle actif en tant que protectrices et interlocutrices d'un grand nombre des nouvelles célébrités de la philosophie naturelle. Ces femmes de la classe dirigeante, qui continuaient la tradition des cours de la Renaissance, partageaient la fascination de leurs contemporains pour la science nouvelle (Ogilvie, 1986 ; Schiebinger, 1989). La grande-duchesse Christine de Toscane, par exemple, correspondait avec Galilée ; la princesse Caroline de Galles correspondait avec Leibniz et le mettait en relation avec d'autres correspondants anglais ; elle organisa notamment sa controverse avec Newton par l'intermédiaire de l'évêque Clarke ; la reine Christine de Suède mit sur pied son Académie des sciences avec l'aide de son professeur Descartes. Margaret Cavendish (1623-1673), première duchesse de Newcastle, publia de nombreux traités scientifiques (*ibid.*).

A la même époque, les académies et les sociétés savantes telles l'Académie des sciences, à Paris, ou la Royal Society, à Londres, qui étaient les centres institutionnels où se développait la science nouvelle, refusaient expressément d'admettre des femmes en leur sein, quelle que fût leur compétence. Cette exclusion venait en partie du fait que les sinécures que ces institutions procuraient à leurs membres étaient d'un intérêt vital pour cette catégorie nouvelle de savants issus de la bourgeoisie, qui avaient besoin de revenus ; elle venait aussi du fait que l'idéologie de la science nouvelle, telle en particulier que l'avait définie Francis Bacon, concevait la science comme la conquête (activité masculine) de la nature (être féminin) (Merchant, 1980 ; Keller, 1985 ; Schiebinger, 1989). La rhétorique de la science du xvii^e siècle abonde en effet en métaphores sexuelles destinées à subvertir les différentes formes, réelles et symboliques, de pouvoir social exercées par les femmes, qui dominaient aussi bien les

cours et les salons qu'un certain nombre d'« arts » comme l'astronomie, l'entomologie ou l'obstétrique. Les femmes qui s'intéressaient aux sciences étaient reléguées dans des académies féminines, elles devaient se contenter de pratiquer des techniques ou recourir à quelque parent éclairé pour accéder à la science. Ainsi Caroline Herschel (1750-1848), qui découvrit huit comètes, était sœur et tante d'astronomes du roi d'Angleterre.

Malgré diverses exceptions tout au long du xviii^e siècle — telles la marquise Émilie du Châtelet (1706-1749), auteur de plusieurs traités de physique, mais surtout connue comme traductrice de Newton et collaboratrice de Voltaire, ou Laura Bassi (1711-1778), qui enseigna la physique à l'Université de Bologne —, les femmes ne pouvaient encore accéder à la pratique de la science que par leurs relations de parenté, quand elles étaient par exemple femmes ou filles d'hommes de science. Elles se livraient en auxiliaires de la science à des activités périphériques, collectionnaient des spécimens, illustraient, traduisaient des ouvrages scientifiques, organisaient des événements culturels. Et tout cela, elles le faisaient chez elles ; d'ailleurs à cette époque la plupart des activités scientifiques, qu'elles fussent le fait d'hommes ou de femmes, se déroulaient dans le cadre de la famille (Abir-Am et Outram (dir. publ.), 1987, chap. 1 et 2). Les apports scientifiques de ces femmes étaient généralement noyés dans la production familiale, souvent portée tout entière au crédit du seul chef de famille.

Au milieu du xix^e siècle s'imposa le principe de la séparation des domaines d'activité, ce qui entraîna une dichotomie entre la sphère publique à laquelle la science, par suite de sa professionnalisation croissante, se rattachait de plus en plus étroitement, et la sphère privée ou familiale à laquelle les femmes étaient de plus en plus intimement associées. Plus précisément, l'émergence de la famille en tant qu'unité affective (et non plus « simplement » juridique et économique) correspondait à l'accroissement de l'espérance de vie des enfants et à l'expansion d'une bourgeoisie dans laquelle les femmes n'avaient plus besoin de contribuer à la vie économique de la famille. Cette évolution de l'idéologie de la famille et de l'idéologie bourgeoise a donné naissance au dilemme classique qui oblige les



Photo: © Harrigue-Vollet.

Marie Curie et sa fille Irène dans leur laboratoire à Paris.

femmes à choisir entre leur carrière et le mariage, soulignant ainsi l'incompatibilité supposée du mariage et de la science (*ibid.*, chap. 3-6).

Bien que vers la fin du XIX^e siècle les femmes eussent remporté quelques succès, d'ailleurs limités, dans leurs efforts pour accéder à la science, le principe de la séparation des sphères d'activité continuait de modeler les attitudes sociales et culturelles. Les femmes restaient essentiellement associées à la sphère privée au moment même où la science trouvait de nouvelles bases institutionnelles dans la sphère publique (tout en occupant une place de plus en plus importante dans la vie sociale). De nombreuses publications littéraires et scientifiques analysaient l'inaptitude présumée des femmes aux travaux intellectuels. Pendant tout le XIX^e siècle, époque caractérisée par la différenciation des disciplines scientifiques et la création d'associations nationales pour l'avancement de la science, les femmes sont demeurées en marge d'une science en voie de professionnalisation. Il n'y a pas si longtemps, en 1921, les hommes de l'Université de Cambridge décidaient par

un vote que les femmes ne pourraient obtenir de diplômes officiels, et cette décision a été maintenue jusqu'après la seconde guerre mondiale.

Les modèles proposés aux femmes dans le domaine scientifique évoluèrent considérablement dans le dernier tiers du XIX^e siècle ; des établissements d'enseignement supérieur réservés aux femmes firent leur apparition, et les universités acceptaient parfois de décerner leurs diplômes à des femmes, notamment à des étrangères qui devaient normalement exercer leur profession dans leur pays d'origine (il y avait par exemple en Suisse un grand nombre d'étudiantes en médecine d'origine russe [Bonner, 1992] ; et beaucoup de femmes médecins et de physiologistes américaines poursuivaient leurs études en France, en Grande-Bretagne ou en Allemagne [Rossiter, 1982]). Plusieurs femmes ont alors mené une carrière scientifique qui les a rendues célèbres ; elles étaient attachées à divers types d'établissements : collèges de femmes (exemple de l'astronome Maria Mitchell (1818-1882), à Vassar College, dans l'État de New York), sociétés savantes (exemple de l'anthropologue Clémence Royer, 1830-1902, seule femme membre de la Société d'anthropologie, à Paris), nouvelles universités périphériques (exemple de Sofia Kovalevskaïa, 1850-1891, de l'Université de Stockholm, première femme des temps modernes à obtenir une chaire de mathématiques) (Abir-Am et Outram (dir. publ.), 1987, chap. 7-9). Beaucoup d'autres femmes pratiquaient des disciplines fondées sur l'observation, comme l'astronomie, l'ornithologie ou la primatologie, qui acceptaient encore la collaboration de nombreux « amateurs », ou des disciplines comme la botanique et la médecine, qui correspondaient davantage à la représentation culturelle qu'on avait à cette époque des femmes et de la nature féminine (Haraway, 1989 ; Jordanova, 1989 ; Schiebinger, 1989).

Au XX^e siècle, un rapprochement plus profond s'est opéré, lentement et progressivement il est vrai, entre les femmes et la science. Avant l'adoption de lois antidiscriminatoires dans les années 70, l'entrée des femmes dans le monde scientifique s'est largement effectuée sur le mode symbolique grâce à quelques pionnières héroïques, telles la physico-chimiste Marie Curie, née Skłodowska (1867-

1934), deux fois prix Nobel (en 1903 et 1911), qui enseigna à la Sorbonne et dirigea l'Institut du radium, à Paris, ou la spécialiste de physique théorique Lise Meitner (1878-1968), qui dirigea à Berlin, entre les deux guerres, une section de l'Institut de radiochimie Kaiser-Wilhelm. Ces deux femmes, qui entreprirent leurs travaux avant l'institution du suffrage féminin, conséquence de la première guerre mondiale (durant laquelle elles servirent leurs pays respectifs, la France et l'Autriche), ont réfuté le stéréotype social suivant lequel les femmes seraient inaptes à la pratique des sciences, et notamment des sciences exactes comme la physique. Leur exemple a ouvert la voie à un petit nombre de femmes de science, tout en contribuant à illustrer deux des principaux moyens d'accès à la science dont disposaient les femmes : elles pouvaient épouser un collaborateur, comme le fit Marie Curie (on trouvera beaucoup d'autres exemples de mariages entre collaborateurs dans Pycior, Slack et Abir-Am (dir. publ.), 1995), ou consacrer toute leur vie à la science sous la protection de savants éclairés, comme le fit Lise Meitner (pour d'autres exemples, voir Abir-Am et Outram (dir. publ), 1987 ; Ainley (dir. publ.), 1990 ; Kass-Simon et Farnes (dir. publ), 1990.

Pendant les deux premiers tiers du xx^e siècle, la science est restée pour les femmes un domaine aussi largement inaccessible. Alors que les instituts de recherche accueillent un certain nombre de chercheuses, les universités les plus prestigieuses et les académies nationales sont longtemps demeurées un bastion de la discrimination sexuelle (Rossiter, 1982 et 1995). La première femme à devenir présidente de l'Académie française des sciences, la biochimiste Marianne Grunberg-Manago (née en 1921), a été élue à ce poste en octobre 1994. Des femmes ne sont élues à la Royal Society que depuis la seconde guerre mondiale ; elles s'y trouvent d'ailleurs en nombre singulièrement limité, tout comme à l'Académie nationale des sciences des États-Unis d'Amérique.

Parmi les femmes de science du xx^e siècle qui ont joué un rôle de pionnières, on peut citer Dorothy Wrinch (1894-1976), première femme à obtenir un doctorat ès sciences de l'Université d'Oxford (en 1929), première candidate après la première guerre mondiale au titre de



Dorothy Hodgkin, à l'époque où elle a reçu le prix Nobel de chimie en 1964.

Photo: Loite Meitner-Graf, London.

membre de la Royal Society, et candidate au prix Nobel ; Dame Mary Cartwright (née en 1900), première femme nommée maître de conférence en mathématiques à l'Université de Cambridge (en 1935) ; la cristallographe Kathleen Lonsdale (1903-1973) et la microbiologiste Marjorie Stephenson (1880-1950), premières femmes élues à la Royal Society (en 1945) ; Cecilia Payne Gaposchkin (1900-1979), première femme à enseigner l'astronomie à l'Université Harvard (en 1955) ; et les lauréates du prix Nobel, Marie Curie (1903 et 1911), Irène Joliot-Curie (1935), Gerty Radnitz Cori (1947), Maria Goeppert-Mayer (1963), Dorothy Hodgkin (1964), Rosalyn Yalow (1977), Barbara McClintock (1983), Rita Levi-Montalcini (1986), Gertrude Elion (1988).

Les femmes ont fini par accéder en plus grand nombre à l'enseignement et aux carrières scientifiques, mais seulement depuis l'essor du mouvement de libération des femmes, qui s'est imposé au cours des années 70 comme une des principales forces politiques et idéologiques dans le monde et plus particulièrement aux États-Unis. Et c'est

seulement à la fin des années 80 que la sous-représentation des femmes dans le domaine scientifique a été clairement présentée comme un problème d'intérêt national auquel les politiques scientifiques et sociales devaient s'attaquer en priorité. Cette évolution s'explique en partie par le durcissement du combat mené depuis une génération pour l'égalité des sexes, par l'urgente nécessité, dans une société dont la structure démographique se transforme rapidement, de recruter des scientifiques et de les retenir à leurs postes et par un souci de compétitivité à l'échelle mondiale, dans le nouvel ordre économique mondial fondé sur la science et la technologie, qui a succédé à l'affrontement des superpuissances propre à l'époque de la guerre froide (Cozzens, Healey, Rip et Ziman (dir. publ.), 1990 ; Abir-Am, 1990 et 1992). Bien que dans l'ensemble les femmes n'aient pris qu'une part secondaire à l'activité scientifique aux différentes époques de l'histoire, l'importance de leur contribution varie jusqu'à un certain point suivant les sous-cultures scientifiques correspondant aux différentes disciplines, les femmes ayant trouvé plus d'occasions de s'illustrer dans certaines disciplines que dans d'autres.

LES DISCIPLINES SCIENTIFIQUES

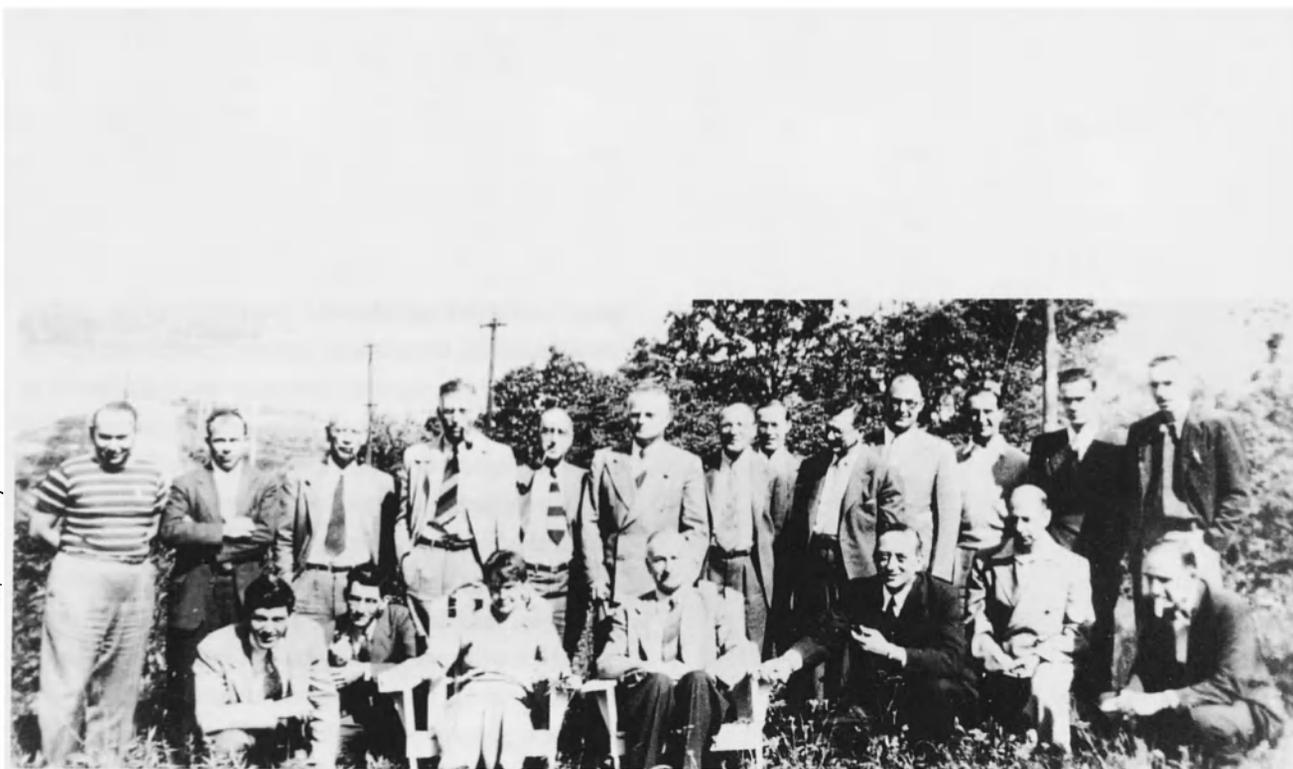
Les différences sont importantes et souvent de nature étonnante selon le type de sciences considéré : sciences fondées sur l'observation, sciences expérimentales ou sciences théoriques. Traditionnellement, on acceptait la collaboration de nombreuses femmes dans les sciences d'observation, notamment l'astronomie, la botanique, l'ornithologie et l'anthropologie. Comme ces disciplines exigeaient toujours le rassemblement d'un grand nombre d'observations ou de spécimens, on y tolérait la collaboration d'« amateurs » des deux sexes. Elles se prêtaient aussi au partage des observations, dans le temps et dans l'espace, entre les membres d'un couple travaillant en équipe ; cette institution sociale a permis à beaucoup de femmes et d'hommes de combiner travail et vie privée dans des conditions socialement acceptables (voir Abir-Am et Outram (dir. publ.), 1987, en particulier les chapitres 4-6 ; Pycior, Slack et Abir-Am (dir.

publ.), 1995). Cependant, la contribution relativement importante des femmes aux sciences fondées sur l'observation ne semble pas avoir conduit à des réalisations particulièrement remarquables, contrairement à ce que laisse entendre l'auteur de *Little science, big science* (Price, 1963) ; de toute évidence, les problèmes posés par l'activité scientifique des femmes résistent aux modèles trop simples du progrès scientifique.

Les femmes de science les plus accomplies, du moins si l'on en juge par des critères comme l'importance de leurs découvertes, se sont au contraire illustrées dans les sciences expérimentales et souvent dans les sciences dites exactes, c'est-à-dire dans des disciplines où il n'y avait pas beaucoup de femmes. Citons, par exemple, la découverte de la radioactivité naturelle par Marie et Pierre Curie, et celle de la radioactivité artificielle par Irène et Frédéric Joliot-Curie, en physico-chimie ; l'interprétation de la fission nucléaire par Lise Meitner, en physique nucléaire ; la solution de composés dotés de propriétés biologiques et médicales actives, tels que les molécules organiques complexes de la pénicilline, de la vitamine B-12 et de l'insuline, par Dorothy Hodgkin et ses équipes, en radiocristallographie ; la découverte de « gènes sauteurs » par Barbara McClintock, en génétique ; le développement des techniques de dosage radio-immunologique par Rosalyn Yalow ; la découverte du facteur de croissance nerveux (NGF) par Rita Levi-Montalcini, en neuro-embryologie expérimentale. Ces découvertes majeures, toutes récompensées par des prix Nobel (sauf dans le cas de la théoricienne Meitner), ont été réalisées par des femmes dans des disciplines expérimentales où les femmes étaient relativement peu nombreuses.

Les travaux novateurs de Sofia Kovalevskaja (1850-1891), de Lise Meitner (1878-1968), de Dorothy Wrinch (1894-1976) ou de Maria Goeppert-Mayer (1906-1972) montrent d'autre part que les femmes, malgré leur petit nombre, peuvent accomplir une œuvre considérable dans les disciplines théoriques. Pourquoi, dans ce cas, les femmes ont-elles eu traditionnellement tendance à se concentrer dans les disciplines les moins prestigieuses, d'accès plus facile, alors que les disciplines les plus presti-

Photo: American Philosophical Society.



La jeune Barbara McClintock entourée de ses pairs : cette photo parle d'elle-même sur la place prise par les hommes.

gieuses leur offraient de plus larges possibilités de récompense ?

Peut-être parce que les sciences fondées sur l'observation et les sciences théoriques n'imposent pas un emploi du temps aussi rigide, n'exigent pas une formation aussi poussée ni la connaissance de techniques aussi difficiles que les disciplines expérimentales (le maniement des instruments scientifiques, par exemple, était autrefois une spécialité masculine) ; peut-être aussi parce que ces sciences étaient plus compatibles avec les responsabilités familiales des femmes, qui leur laissaient souvent moins de temps pour le travail en laboratoire (voir ci-dessous).

Encore aujourd'hui, la répartition des femmes dans les différentes disciplines scientifiques est très inégale, parce qu'elle traduit l'accumulation des stéréotypes culturels au cours de l'histoire. Ces stéréotypes sans fondement objectif, liés aux contingences de l'histoire, sont renforcés par la répartition actuelle du pouvoir professionnel dans chaque discipline. Paradoxalement, ils se manifestent avec une évidence particulière en médecine, science compatible avec la représentation culturelle de la femme comme nourricière et protectrice, mais où la proportion des femmes varie beaucoup d'une spécialité à l'autre (les effectifs féminins se concentrent souvent en pédiatrie, en obstétrique et en psychiatrie).

LA NATIONALITÉ

L'activité scientifique des femmes s'est exercée surtout aux États-Unis, au Royaume-Uni, en France, en Russie et au Canada, comme le montrent d'importantes études historiques (voir par exemple Rossiter, 1982 et 1995 ; Koblitz, 1993 ; Ogilvie, 1986-1991 ; Abir-Am et Outram (dir. publ.), 1987 ; Haraway, 1989 ; Schiebinger, 1989 ; Ainley (dir. publ.), 1990 ; Kass-Simon et Farnes (dir. publ.), 1990 ; Pycior, Slack et Abir-Am (dir. publ.), 1995). Il nous faudrait disposer d'études plus systématiques sur l'histoire des femmes de science en Europe centrale et orientale, en Amérique centrale, en Amérique du Sud, en Asie et dans d'autres régions, pour mieux évaluer l'influence du contexte national et de l'idéologie nationaliste (Greenfield, 1992) sur les possibilités de travail et la carrière des femmes de science. Le Fonds Kovalevskaïa, dirigé par Ann Hibner Koblitz du Hartwick College, dans l'État de New York, est un des rares exemples qui encouragent l'étude historique de l'activité scientifique des femmes dans les pays du Tiers Monde, par exemple à Cuba, au Viet Nam, au Mexique.

L'une des découvertes les plus frappantes auxquelles ait conduit l'étude historique de l'activité scientifique des femmes concerne la proportion élevée des émigrées parmi les femmes de science. Beaucoup de femmes de science

éminentes, y compris de nombreuses lauréates du prix Nobel, ont vécu successivement dans plusieurs pays : la mathématicienne Sofia Kovalevskaïa a émigré de Russie en Allemagne, puis en Suède ; la physico-chimiste Marie Curie, de Pologne en France ; la spécialiste de physique nucléaire Lise Meitner, d'Autriche en Allemagne, puis en Suède, puis au Royaume-Uni ; la biochimiste Gerty Radnitz Cori, de Tchécoslovaquie et d'Autriche aux États-Unis ; la spécialiste de chimie théorique Maria Goeppert-Mayer, d'Allemagne aux États-Unis ; la cytologiste Rita Levi-Montalcini a émigré d'Italie aux États-Unis, puis est retournée en Italie ; l'immunologiste Maria de Souza a émigré du Portugal au Royaume-Uni et aux États-Unis, puis est retournée au Portugal. Beaucoup de femmes de science ont évidemment fait partie de l'exode des intellectuels provoqué par la montée en puissance de régimes fascistes en Europe centrale, dans les années 30. C'est le cas, par exemple, de Salomee Waelsch (née en 1907), spécialiste de la génétique de la croissance, à qui le président Clinton a décerné la médaille nationale des sciences en 1994.

Ces exemples et d'autres (nous pensons notamment au grand nombre d'étudiantes en médecine d'origine russe et de biologistes américaines qui, à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle, étudiaient respectivement en Suisse et dans toute l'Europe centrale) permettent de supposer que les femmes de science d'origine étrangère bénéficient d'un relâchement des codes culturels nationaux par lesquels s'expriment l'ordre social et la domination masculine, double forme de pouvoir qui, au cours de l'histoire, a limité l'accès des femmes à la science en favorisant la discrimination sexuelle dans les systèmes d'enseignement nationaux. Toutefois, dans tous les cas sur lesquels nous disposons d'informations historiques, la femme de science d'origine étrangère a eu besoin d'être puissamment aidée par un ou plusieurs hommes de science renommés pour se faire une place dans le pays d'accueil. Il faudrait essayer de savoir quelle sorte de créativité scientifique cette collaboration entre des savants appartenant à la fois à des cultures et à des sexes différents a pu apporter aux femmes et aux hommes de science concernés.



Rita Levi-Montalcini, colauréate du prix Nobel de physiologie et de médecine, pour ses travaux sur les facteurs de croissance.

LES SITUATIONS FAMILIALES

Le principe de la séparation des sphères d'activité, qui constitue depuis le milieu du XIX^e siècle un des fondements de l'ordre social et de la hiérarchie des sexes, a fortement limité l'activité scientifique des femmes en postulant une contradiction entre leurs responsabilités familiales et professionnelles. Jusqu'aux années 1970, de nombreuses femmes de science se sont crues obligées de choisir entre leur carrière et le mariage. Ainsi la généticienne Barbara McClintock (1900-1992, prix Nobel en 1983) et la cyto-biologiste Rita Levi-Montalcini (née en 1909, prix Nobel en 1986) ont décidé de rester célibataires pour pouvoir consacrer toute leur vie à la science. Les femmes célibataires semblent en fait avoir été plus nombreuses que les femmes

mariées dans des disciplines comme la médecine, la botanique, l'ornithologie ou l'astronomie ; elles se donnaient souvent une « famille fictive » en vivant avec d'autres femmes et même en adoptant des enfants (voir Abir-Am et Outram (dir. publ.), 1987, chap. 3-6). Le veuvage semble avoir facilité la carrière des femmes de science dans diverses disciplines (*ibid.*, chap. 5, 8 et 9), ce qui laisse supposer que le rôle social d'épouse et de mère généralement imposé aux femmes a eu traditionnellement pour effet d'entraver la réalisation de leurs vocations scientifiques.

Les femmes de science qui se mariaient malgré tout apportaient diverses modifications à la vie conjugale traditionnelle. Beaucoup choisissaient le mariage-collaboration entre collègues appartenant à la même discipline. Bien que, dans presque tous les cas, la priorité fût donnée à la carrière du mari, la femme gardait au moins la possibilité de mener une activité scientifique. Cette collaboration entre conjoints semble avoir préservé certaines femmes de science d'un complet anonymat, mais elle tendait invariablement à faire apparaître les travaux de la femme comme subordonnés à ceux du mari, conséquence sans doute inévitable de la situation de dépendance juridique, économique et sociale des femmes mariées (voir les vingt-quatre cas de collaboration entre conjoints étudiés dans Pycior, Slack et Abir-Am (dir. publ.), 1995).

Les femmes de science dont le nom est resté dans l'histoire se sont occupées de leurs enfants, lorsqu'elles en avaient, et les ont élevés de façon très différente selon les cas. Si certaines femmes de science qui travaillaient en collaboration avec leur mari n'ont pas eu d'enfants (entretenir avec leur mari des relations de quasi-égalité constituait peut-être une tâche aussi exigeante que celles qui étaient liées à la maternité ; *ibid.*, chap. 5, 6 et 15), d'autres s'occupaient elles-mêmes de leurs enfants, tout en déployant souvent beaucoup d'ingéniosité pour se faire aider dans cette tâche par des parentes, des amies ou même des collègues (*ibid.*, en particulier le chapitre 17 sur Margaret Mead et les Myrdal).

Quelques autres avaient les moyens de payer les services d'aides maternelles ou, plus rarement, recevaient une subvention à cet effet.



Buste de Sofia Kovalevskaja, la première femme des temps modernes à avoir obtenu une chaire de mathématiques.

Photo: Angela Wangliert, Stockholm.

Comme le montrent ces études historiques, le problème des soins à donner aux enfants, ou plutôt la difficulté d'assurer à leurs enfants des soins de qualité qui ne soient pas trop coûteux, empêche jusqu'à un certain point les femmes de mener efficacement une carrière scientifique : cela était vrai à la fin du siècle dernier et cela reste vrai aujourd'hui, un siècle plus tard.

LA CONSCIENCE SEXUELLE

Les femmes de science qui ont joué un rôle de pionnières ont-elles contribué à créer des possibilités similaires pour d'autres femmes, et à sensibiliser les femmes et les hommes de science aux obstacles que rencontrent les femmes, en tant que telles, dans un domaine où prévaut en principe la méritocratie ? A cette question, qui reste ouverte, s'en rattache une autre : la réflexion des femmes de science sur les rapports entre science et appartenance sexuelle les a-t-elle conduites, soit à corriger les préjugés liés à la représentation des sexes, qui faussent la connaissance

scientifique, notamment dans les disciplines menacées par l'anthropomorphisme, comme la primatologie, la biologie de la reproduction ou la neurobiologie, soit à livrer un combat politique, par exemple pour l'amélioration de l'instruction scientifique des filles ou pour l'accroissement du nombre des femmes dans l'enseignement supérieur (voir Bleier (dir. publ.), 1986 ; Haraway, 1989 ; Hubbard, 1990) ?

Parmi les femmes de science éminentes du XIX^e siècle qui ont ouvert aux femmes la voie des organismes scientifiques et des établissements d'enseignement supérieur, et qui ont en même temps servi la cause de la libération des femmes par leur activité politique ou leurs écrits, on peut citer Maria Mitchell, qui a formé toute une génération d'astronomes américaines et défendu les droits politiques des femmes ; Sofia Kovalevskaja, auteur de romans où elle exhortait aussi bien les femmes que les hommes à l'action révolutionnaire ; Clémence Royer, qui écrivit des traités scientifiques et des ouvrages de vulgarisation sur l'évolution, pour combattre la thèse évolutionniste aux conséquences sociales catastrophiques suivant laquelle seuls les individus mâles, dans l'espèce humaine, seraient porteurs de l'évolution. Au XX^e siècle, en revanche, les femmes de science n'ont pas exprimé très fortement leurs opinions politiques, sans doute parce que leur nombre n'a pas dépassé une certaine « masse critique ». Même une militante réformatrice comme Dame Kathleen Lonsdale n'est intervenue en faveur des femmes de science que dans les années 70, alors que le mouvement de libération des femmes était déjà lancé.

CONCLUSION

Malgré de nombreuses avancées, la situation des femmes de science demeure ambiguë. Encore minoritaires, elles ne sont plus marginalisées et leurs travaux jouissent d'une

visibilité croissante ; d'autre part, elles restent déchirées entre les prérogatives (fondées en principe sur l'universalité de la science) que leur confère leur carrière scientifique et leur intérêt (qui relève en principe davantage du parti pris) pour l'égalité des sexes dans le domaine scientifique et la société en général. Comme dans le cas d'autres formes d'inégalité sociale ou politique, la cause des femmes de science a fait un grand pas en avant à la fin des années 80, lorsque l'inégalité des sexes dans le domaine scientifique est apparue comme un des principaux problèmes auxquels devait désormais s'attaquer la politique scientifique américaine. La mobilisation des femmes s'est brusquement imposée comme une des solutions possibles au problème de la pénurie de la main-d'œuvre scientifique, et par conséquent comme un moyen de renforcer la compétitivité des États-Unis sur le plan international.

Malgré les efforts personnels de divers hommes de science éclairés, et bien que les organismes scientifiques se conforment de plus en plus aux exigences politiques d'égalité entre les sexes, la science — qui se donne pourtant pour une pratique objective et régie par la méritocratie — ne s'est pas montrée différente des autres institutions sociales plus spécialement destinées à conserver l'ordre social en maintenant la hiérarchie des sexes. Les hommes de science répugnent encore largement à partager le pouvoir scientifique avec leurs collègues de sexe féminin. Malgré diverses mesures conformes à l'esprit de la lutte contre la discrimination, la science n'a pas cherché à supprimer, par l'application de politiques systématiques ou explicitement anti-discriminatoires, les manifestations et les conséquences sociales de la hiérarchisation des sexes dans la société et la culture qui produisent le personnel scientifique et déterminent sa conception du monde. Espérons que l'arrivée imminente du XXI^e siècle ouvrira une ère nouvelle d'égalité entre les sexes dans le domaine scientifique comme dans l'ensemble de la société.

BIBLIOGRAPHIE

- Abir-Am, P. G. 1992. Science policy or social policy for women in science : from historical case-studies to an agenda for the 1990s, *Science and Technology Policy* (Londres), avril 1992, p. 11-12 (rapport sur un atelier international parrainé par la Fondation nationale des sciences des États-Unis, Visiting Professorships for Women Program) ; une version plus ancienne de ce rapport, inspirée par des discussions qui ont eu lieu en octobre 1989 à l'Institut d'études supérieures de l'OTAN à Il Ciocco, en Italie, a paru, accompagnée d'une bibliographie, dans *EASST Newsletter* (EASST : Association européenne pour l'étude de la science et de la technologie), 9 février 1990, p. 14-17.
- . 1995. Collaborative couples who wanted to change the world : the personal tensions and social policies of the Russells, the Myrdals, and the Mead-Batesons, dans Pycior, Slack et Abir-Am (dir. publ.), 1995, p. 378-399 ; p. 533-538 ; Id., Series Editor's Foreword, *ibid.*, iv-vi.
- Abir-Am, P. G. et Outram, D. (dir. publ.). 1987, 1989. *Uneasy careers and intimate lives, women in science, 1789-1979*, New Brunswick, N.J./Londres, Rutgers University Press.
- Ainley, M. G. (dir. publ.). 1990. *Despite the odds : essays on Canadian women and science*, Montréal, Véhicule.
- Ben-David, J. 1984. *The scientist's role in society : a comparative study*, Chicago, University of Chicago Press. 1^{re} édition 1971.
- Bonner, T. N. 1992. *To the ends of the earth, women's search for an education in medicine*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Cozzens, F., Healey, P., Rip, A. et Ziman, J. 1990. *The research system in transition*, Dordrecht, Kluwer.
- Greenfield, L. 1992. *Nationalism, five roads to modernity*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Haraway, D. J. 1989. *Primate visions, gender, race and nature in the world of modern science*, New York, Routledge.
- Hodgkin, D. A. 1991. Life in science, dans A. M. Faruqi, M. H. A. Hassan et G. Sandri (dir. publ.), *The role of women in the development of science and technology in the Third World*, Singapour, N.J./Londres/Hong Kong, World Scientific, p. 14-28.
- Hollinger. 1993. How wide is the circle of the « way » ? American intellectuals and the problem of ethos since WW II, *American Historical Review*, avril 1993, p. 317-337.
- Holman, P. et Rima D. Apple, R. D. 1993. *The History of women and science, health, and technology : a bibliographic guide to the professions and disciplines*, Madison, University of Wisconsin Press.
- Hubbard, R. 1990. *The politics of women's biology*, New Brunswick/Londres, Rutgers University Press.
- Jordanova, L. 1989. *Sexual visions : images of gender in science and medicine from the eighteenth to twentieth centuries*, Madison, University of Wisconsin Press.
- Kass-Simon G. et Farnes, P. (dir. publ.). 1990. *Women of science, righting the record*, Bloomington, Indiana, Indiana University Press.
- Keller, E. F. 1983. *A feeling for the organism. The life and work of Barbara McClintock*, San Francisco, Freeman.
- . 1985. *Reflections on gender and science*, New Haven, Conn., Yale University Press.
- Koblitz, A. H. 1993. *Sofia Kovalevskaia, scientist, writer, revolutionary*, New Brunswick, N.J., Rutgers University Press, 1^{re} édition en 1983.
- Les Cahiers de Sciences et vie*, numéro spécial « Fondateurs de la science : Marie Curie », décembre 1994.
- Levi-Montalcini, R. 1988. *In praise of imperfection. My life and work*, New York, Basic Books.
- Merchant, C. 1980. *The death of nature. Women, ecology and the scientific revolution*, San Francisco, Harper & Row.
- National Research Council, Office of scientific and engineering personnel. 1989. Responding to the changing demography : women in science and engineering, Washington, D.C., NRC Press.
- Ogilvie, M. B. 1986, 1991. *Women in science, Antiquity to the 19th century. A biographical dictionary with annotated biography*, Cambridge, Mass., The MIT Press.
- Okeke, E. 1990. Encouraging African girls to choose science, *The Radcliffe Quarterly*, septembre 1990, p. 10-11.
- Price, D. de Solla. 1963. *Little science, big science*, New Haven, Conn., Yale University Press.
- Pycior, H. M., Slack, N. G. et Abir-Am P. G. (dir. publ.). 1995. *Creative couples in science*, New Brunswick, Rutgers University Press.
- Rossiter, M. W. 1982. *Women scientists in America. Struggles and strategies to 1940*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press, p. 2.
- . 1995. *Women scientists in America. Before affirmative actions, 1940-1972*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- Sayre, A. 1975. *Rosalind Franklin and DNA*, New York, Norton.
- Schiebinger, L. 1989. *The mind has no sex ? Women in the origins of modern science*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Pnina Geraldine Abir-Am a obtenu son doctorat en histoire de la science à l'Université de Montréal et sa licence ès sciences (chimie) à l'Université hébraïque de Jérusalem. Elle est l'auteur de *Research schools of molecular biology in US, UK, and France : a history of collective creativity in 20th century science* (University of California Press, 1966) et la codirectrice de publication de *Uneasy careers and intimate lives : women in science, 1789-1979* (Rutgers University Press, 1987). Ses remarquables travaux de recherche lui ont valu le prix de la *History of Science Society*. Au cours de l'année universitaire 1995-1996, elle sera membre résident de l'Institut Dibner d'histoire de la science et de la technologie, centre international de recherche de haut niveau faisant partie de l'Université de Cambridge, Massachusetts.

La nouvelle édition de cette importante publication biennale de l'UNESCO examine l'état de la science et de la technologie dans diverses régions du monde, décrivant en particulier les tendances récentes de l'enseignement et de la recherche-développement, ainsi que les problèmes spécifiques auxquels doit faire face chaque région ou chaque groupe de pays.

Quelques-uns des sujets les plus actuels, intéressant à la fois la communauté scientifique et la société dans son ensemble, sont présentés dans la deuxième partie, parmi lesquels la biodiversité, la dégradation de l'environnement, l'éthique de la science, la coopération internationale et la mégascience. Une attention particulière est accordée à l'évolution récente des nouvelles technologies — les technologies de l'information, la biotechnologie, et les nouveaux matériaux et l'ingénierie — et à leur impact sur la société.

La dernière partie est consacrée à la place des femmes dans la science et la technologie. Les auteurs, se fondant sur un large éventail de publications, étudient les disparités existant dans ce domaine et analysent les principaux obstacles éducatifs et sociaux rencontrés par les femmes pour accéder aux formations et aux carrières scientifiques.

Le *Rapport mondial sur la science* est rédigé par des auteurs reconnus sur le plan international dans leur domaine respectif. Il est destiné à devenir un ouvrage de référence et une source d'information précieuse pour tous ceux qui voudraient comprendre l'organisation, le fonctionnement et l'évolution de la science et de la technologie dans le monde.



92-3-203220-1



9 789232 032201

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ÉDUCATION, LA SCIENCE ET LA CULTURE