

[Illegible text from an old document]

abwyrkhyufhh9tuahs45%8

PERFORMANCE

Le bond quantitatif de la recherche brésilienne

La recherche brésilienne se professionnalise, adopte le travail en groupe et améliore son rang dans le monde

MARCOS PIVETTA

Publié en juin 2004

L

a petite réunion informelle s'est tenue chez elle au milieu des couches et des biberons. En congé maternité (elle venait d'être mère pour la troisième fois), Marie-Anne Van Sluys, âgée de 34 ans et biologiste moléculaire à l'Institut de Biosciences de l'Université de São Paulo (USP), allait participer à un nouveau projet de la FAPESP, soutenue par deux collè-

gues du centre, son propre mari Carlos Menck et Mariana de Oliveira âgée de 29 ans. En 1997, personne n'aurait imaginé le futur succès de ce projet qui marquerait une étape importante de la science brésilienne. Marie-Anne allait proposer sa candidature au poste de coordinatrice d'un des 30 laboratoires qui parviendraient à séquencer le génome *Xylella fastidiosa*, bactérie provoquant la Chlorose Variéguée des Agrumes, maladie des orangeraias connue au Brésil sous le nom d'amarelinho. Il s'agissait d'une énorme responsabilité pour cette jeune fille née de parents belges à Rio de Janeiro et qui avait passé son doctorat en France. À cette époque le Brésil ne possédait pas de spécialistes en matière de génomes. "Il y avait une hiérarchie entre les groupes de recherche, mais tout le monde était là pour apprendre", se rappelle Marie-Anne.

Et ils ont appris. Le 13 juillet 2000, Marie-Anne faisait partie des 116 personnes signataires de l'article scientifique historique sur le séquençement du génome de la bactérie *Xylella*. Les brésiliens ont été les premiers à séquencer le génome d'un pathogène qui attaque les plantes. Cette découverte leur a valu d'être publiés et d'apparaître sur la couver-

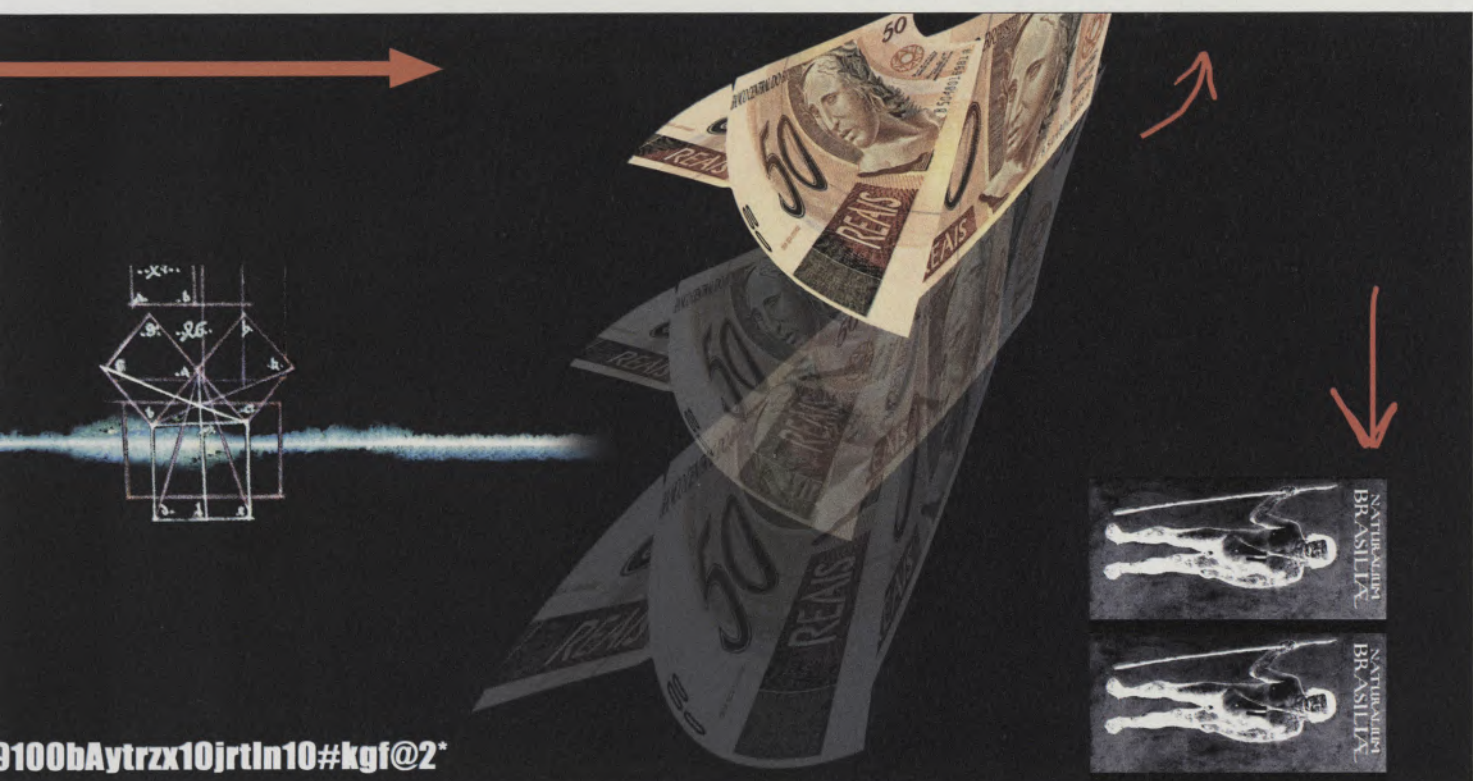


ILLUSTRATION: ELIZABETH TOGNATO

ture de la célèbre revue scientifique *Nature*, fait jusqu'alors inédit pour la science brésilienne. La découverte du génome *Xylella* a eu une énorme répercussion sur le plan national et international, tant dans le milieu scientifique que dans la société pourtant peu au fait du quotidien des laboratoires de recherche. Les pays développés, possiblement dépités, se sont alors rendus compte que ce géant d'Amérique Latine était plus habile et plus versatile qu'ils ne le pensaient. La revue anglaise *The Economist* a alors écrit "Samba, football et... génomique", montrant ainsi que le savoir brésilien s'étendait maintenant à un nouveau domaine de la connaissance.

Le séquençement du génome de la *Xylella* a été une étape déterminante pour la recherche brésilienne en fonction de sa répercussion mondiale, du profil et des nombreux chercheurs engagés et cela malgré les critiques de certains. Ce projet a servi de modèle à d'autres grands projets comme le réseau national du programme Génome Brésilien, créée en 2000 par le Conseil National de Développement Scientifique et Technologique (CNPq). Ce programme a monté un réseau de 25 laboratoires, répartis dans 15 états brésiliens, qui a permis de dé-

chiffrer le code génétique de la bactérie *Chromobacterium violaceum*, découverte importante en biotechnologie. Mais si l'on revient en arrière, la nouvelle la plus importante ne concerne peut être pas le séquençement et les gènes. La bonne nouvelle est que durant ces dix ou quinze dernières années, la science brésilienne dans son ensemble (non seulement en matière de génome) s'est améliorée, a été reconnue et a atteint des niveaux d'excellence inédits sur le plan international. Depuis 1990, le nombre de chercheurs a triplé, le nombre d'articles scientifiques rédigés par des brésiliens et publiés dans des revues internationales a doublé, et le nombre de nouveaux docteurs formés chaque année dans le pays a été multiplié par cinq. "Durant cette période, la recherche brésilienne a acquis une nouvelle dimension, a gagné en masse critique et s'est professionnalisée", déclare Carlos Henrique de Brito Cruz, recteur de l'Université d'État de Campinas (Unicamp) et ex-président de la FAPESP. Le succès du programme n'était alors que le sommet visible de l'iceberg qui aujourd'hui se révèle dans son entier.

Innovation et richesse - Pour l'instant le bond réalisé par la recherche n'a pas été

suivi par le secteur de l'innovation chargé de transformer les idées de la recherche de base (qui se déroule généralement dans les universités publiques), en produits, emplois et richesse pour le pays. Un des indicateurs permettant de mesurer la santé de la recherche technologique d'un pays est le nombre de brevets enregistrés aux États-Unis, la plus grande économie du monde. En 1990, le Brésil a obtenu 41 brevets (la Corée, 225). En 2001, la situation brésilienne ne s'était guère améliorée; 110 nouveaux brevets enregistrés pour 3.538 au profit du tigre asiatique. Il est vrai que le nombre de brevets concédés aux brésiliens par l'Institut National de la Propriété Industrielle (Inpi) à Rio Janeiro, a doublé entre 1995 et 2002, passant de 1.445 à 3.724 brevets. C'est une situation encourageante, sans pour autant être révolutionnaire. "Les entreprises brésiliennes ne savent pas encore comment innover. Il s'agit d'une question culturelle. Ce type d'activité implique des risques et demande du temps", déclare Sergio Rezende, président de l'organisme Financier d'Études et de Projets (Finep), agence fédérale de soutien à l'innovation.

Malgré tout, ce secteur a quand même progressé grâce à la création en 1995

La recherche nationale avance, mais l'innovation est à la traîne

La science brésilienne mondialisée

Un article scientifique sur les 65 publiés dans des revues internationales indexées est brésilien, proportionnellement le double qu'en 1990

Année	% d'articles brésiliens dans le monde	% d'articles brésiliens en Amérique Latine
1990	0,64	36,95
1991	0,69	38,39
1992	0,77	39,82
1993	0,75	37,90
1994	0,76	37,59
1995	0,83	38,01
1996	0,90	37,96
1997	1,00	38,19
1998	1,13	40,95
1999	1,25	41,59
2000	1,33	42,11
2001	1,44	43,06
2002	1,55	43,84

Source: Institute for Scientific Information (ISI)

L'innovation croît lentement

En 1990 le pays a déposé aux USA 5,5 fois moins de brevets que la Corée. En 2001 les asiatiques ont déposé 32 fois plus de brevets que les brésiliens

Année	Registres concédés par le bureau des brevets nord-américain	
	Brésil	Corée
1990	41	225
1991	62	405
1992	40	538
1993	57	779
1994	60	943
1995	63	1.161
1996	63	1.493
1997	62	1.891
1998	74	3.259
1999	91	3.562
2000	98	3.314
2001	110	3.538

Source: Bureau des Brevets et des marques des USA (USPTO)

du programme *Partenariat pour l'Innovation Technologique* (PITE), promu par la FAPESP, et qui sert aujourd'hui de modèle à certains projets identiques réalisés dans d'autres états brésiliens et au niveau fédéral. Le PITE favorise la coopération entre des institutions de recherche de l'état de São Paulo et des entreprises qui s'intéressent à la mise au point de produits ou de processus productifs d'un niveau technologique élevé. On espère que la récente loi soumise au Parlement par le Gouvernement Fédéral sera approuvée et qu'elle ouvrira la voie au transfert effectif du savoir des centres de recherche vers les entreprises nationales. On espère également que les fonds sectoriels, créés en 1999 pour financer l'innovation, parviendront à leur destination. "Introduire l'innovation dans l'ordre du jour du calendrier national est essentiel pour que notre pays devienne économiquement compétitif", déclare Carlos Américo Pacheco de l'Institut Economique de l'Unicamp et ex-secrétaire exécutif du Ministère des Sciences et de la Technologie (MCT). Ce thème est à l'ordre du jour des discours

officiels mais ne se reflète pas encore dans la politique industrielle. La force de Petrobras, d'Embraer et de l'agro-business brésilien, en partie grâce à l'Entreprise Brésilienne de Recherche Agricole (Embrapa), est encore une exception dans le panorama de l'innovation.

Trois fois plus d'articles - L'augmentation de la publication d'articles brésiliens dans des revues internationales est un des indicateurs les plus expressifs du renforcement de la recherche nationale. Selon les données communiquées par l'Institute for Scientific Information (ISI), le nombre d'articles a triplé en 13 ans et le poids de la production nationale a doublé par rapport au reste du monde. Toujours selon l'ISI, qui contrôle la production scientifique de 8,5 mille revues dans 21 domaines d'étude, les chercheurs brésiliens ont publié 3.552 articles en 1990, soit 0,64% de la production mondiale. En 2002, les chercheurs brésiliens ont publié 11.285 travaux, ce qui correspond à 1,55% de la production mondiale. À titre d'exemple, ce résultat est supérieur à la participation brésilien-

ne dans le commerce international qui est de l'ordre de 0,9%. Le Brésil renforce son rang de leader scientifique inconteste en Amérique Latine. Près de 44% des articles provenant d'Amérique Latine sont brésiliens. En 1990, ce pourcentage était de 37% (voir tableau ci-dessus). Les chiffres de l'ISI reflètent-ils exactement le bond quantitatif et qualitatif de la recherche brésilienne? Il ne s'agit peut être pas du meilleur paramètre permettant d'expliquer ce phénomène, mais il ne doit pas être ignoré. "En effet seulement 10% de la production scientifique brésilienne est publiée dans des revues de l'ISI", déclare Evando Mirra, président du Centre de Gestion et d'Études Stratégiques (CGEE) du MCT. "Toutefois cet indicateur est important car il s'agit d'une référence internationale et il permet de faire des comparaisons."

C'est ainsi que l'on sait que le Brésil est aujourd'hui le 17^{ème} producteur d'articles scientifiques indexés. Un sur 65 articles publiés dans les revues de référence de l'ISI mentionne le nom d'un scientifique brésilien. Vingt pays, dont le Brésil, totalisent plus de 10 mille arti-

cles indexés par an. Parmi les pays ayant publié moins d'articles que le Brésil en 1981, seules la Chine et la Corée l'ont dépassé. En 2002, la Chine était le sixième producteur d'articles indexés (33 mille travaux) et la Corée occupait le 14^{ème} rang (15 mille articles). Malgré la mondialisation croissante de la science, la recherche est encore centralisée dans les pays les plus riches. Malgré le déclin de l'intérêt pour la carrière scientifique aux États-Unis, ces derniers se situent largement en tête des pays à grande production scientifique. En effet, 33,6 % des articles mondiaux indexés par l'ISI sont nord-américains. Le Japon occupe le deuxième rang 9,5%, ensuite viennent le Royaume Uni (9%), l'Allemagne (8,7%) et la France (6,2%).

Les informations de l'ISI nous renseignent également sur les domaines scientifiques brésiliens les plus publiés à l'étranger. Si on considère toute la production indexée entre 1998 et 2002, l'agronomie est au premier rang avec 2,96% de la production mondiale. Ensuite viennent la physique (2,12%), les sciences spatiales (1,92%), la microbiologie (1,91%), l'étude des plantes et des animaux (1,87%), la pharmacologie (1,57%) et les mathématiques (1,51%). Ceux qui publient beaucoup ont davantage de chances d'être cités par des collègues brésiliens ou étrangers. Le nombre de travaux brésiliens mentionnés a également augmenté mais de manière plus discrète. Entre 1992 et 1996, les travaux brésiliens ont été cités en moyenne 1,8 fois par article. Entre 1998 et 2002, cet indice était de l'ordre de deux citations par article scientifique. Toutefois, les travaux brésiliens sont moins cités que la moyenne de la production mondiale dans tous les domaines d'étude. Avec 2,64 citations par travaux publiés, cet indice est à peine 16% inférieur à la moyenne mondiale. La psychologie et la psychiatrie sont les domaines les plus cités. Pour les

brésiliens, le renforcement de la Scientific Electronic Library Online (SciELO) est un autre paramètre indiquant leur souci de voir leurs travaux publiés. Cette bibliothèque électronique, financée par la FAPESP depuis 1997 avec le soutien du Centre Latino-Américain et du Centre d'Information Caribéen en Sciences de la Santé (Bireme), compte actuellement 123 périodiques brésiliens, consultables gratuitement. Le CNPq a également investi dans le SciELO depuis 2002.

P

ourquoi la science brésilienne a autant évolué ces dernières années ? La réponse est qu'il y a davantage de personnes qualifiées menant des recherches dans le pays et une forte croissance de la professionnalisation des activités de recherche dans les universités et les centres d'études. De nos jours, le nombre de jeunes qui entrent dans la vie académique et qui choisissent les sciences augmente constamment.

De 1993 à 2002, le nombre de chercheurs travaillant dans les universités

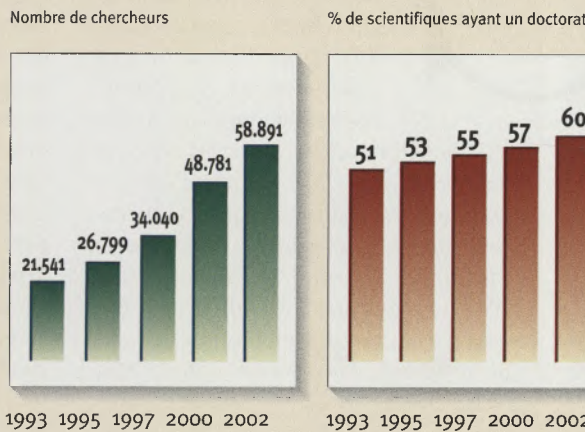
et les centres de recherche a triplé, conformément aux données du CNPq. Leur nombre est passé de plus de 20 mille à pratiquement 60 mille individus, parmi lesquels 60% sont aujourd'hui docteurs (voir tableau ci-dessous) et 46% des chercheurs sont des femmes. "Mais le nombre de femmes à la tête des groupes de recherche est moins important, environ 41%", déclare Jacqueline Leta, de l'Institut de Sciences Biomédicales de l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ), qui a mené une étude sur la participation féminine dans la recherche brésilienne. L'ensemble des chercheurs enregistré dans la base de données du CNPq n'inclut pas ceux travaillant dans le secteur privé et dont le nombre s'élève probablement à plus de 30 mille individus.

La croissance du nombre de chercheurs a permis à la science brésilienne de s'atteler à des projets plus ambitieux, voire de concourir avec les plus grands centres internationaux dans certains domaines. "Jusqu'aux années 80, la communauté scientifique brésilienne était très réduite. Il y avait un esprit de famille dans la recherche", déclare Brito. "Tout le monde connaissait le prénom de ses collègues. Ce n'est plus le cas aujourd'hui." Les déclarations du recteur de l'Unicamp, qui étudie les tendances de la production scientifique nationale,

ne sont pas une critique aux anciennes générations. Absolument pas. Il y a toujours eu des gens qualifiés développant des travaux de qualité dans le pays, mais auparavant le nombre de chercheurs était limité. Ils faisaient partie d'un club réduit et fermé. Leur nombre n'aurait même pas permis de remplir un stade de football. Il y avait une certaine interaction entre ces chercheurs mais qui était surtout le fruit de bons rapports et de liens d'amitié, et non pas de projets pensés en commun avec la communauté scientifique et les agences de soutien. "La collaboration entre les chercheurs était fortuite. Maintenant ces collaborations sont institutionnelles", déclare José Fernando Perez, directeur scientifique de la FAPESP. Les groupes de

Davantage de chercheurs plus qualifiés

En 10 ans, le nombre de chercheurs a triplé dans les universités et les centres de recherche brésiliens et le pourcentage de docteurs a augmenté de 9%



Source: CNPq

Obs.: Les chercheurs du secteur privé ne sont pas inclus

recherches brésiliens ont également acquis davantage de maturité. "Ils ont dépassé l'ancienne vision compétitive et ont commencé à coopérer davantage", rajoute Perez.

L'État de São Paulo concentre 50% des recherches menées dans le pays. Il a été le pionnier dans cette nouvelle approche de la science, mettant l'accent sur de grands projets multidisciplinaires et favorisant le travail d'équipe pour atteindre des résultats significatifs. Les projets thématiques de la FAPESP, créés en 1990, sont un exemple de la maturité acquise par la science brésilienne. Jusqu'en 2001, la Fondation avait investi 230 millions de réaux dans 624 projets multidisciplinaires. Grâce au nombre croissant de chercheurs et une meilleure organisation, la recherche a pu développer des projets ambitieux comme le programme Biota,

institut virtuel qui regroupe 500 chercheurs dans le but de recenser l'ensemble de la biodiversité pauliste. La Fondation est également à l'origine d'un projet brésilien très ambitieux à travers un montage politico-financier qui a permis la concrétisation d'un projet international littéralement astronomique. Il s'agit de la construction de l'Observatoire du Sud pour la Recherche en Astrophysique, appelé Soar et récemment inauguré au Chili. Cet observatoire n'a pas d'égal sur la Terre. Son seul concurrent est le télescope Hubble. Il devrait donc donner une nouvelle impulsion à l'astrophysique brésilienne. La participation financière brésilienne à ce projet s'élève à 12 millions de réaux pour un coût total de 28 millions de réaux, ce qui permet au Brésil de bénéficier de 34% du temps d'observation du télescope andin (*voir reportage page 94*).

Sur le plan fédéral, de récentes initiatives ont encouragé le travail multidisciplinaire et multicentrique en regroupant les compétences complémentaires

nécessaires pour mener des recherches sur les grands thèmes scientifiques de base ou de recherche appliquée. La création par le MCT/CNPq du programme Institutos do Milênio (Instituts du Millénum) en 2001 s'insère dans ce contexte.

C

es projets favorisent le travail en réseau de nombreux chercheurs répartis dans différentes institutions et différents états. On recense actuellement 17 Insti-

tuts du Millénum travaillant sur des thèmes les plus divers comme les nanosciences, les mathématiques, la thérapie cellulaire, les ressources côtières et le génome des agrumes. Le lancement en 1996 du Programme de Soutien aux Centres d'Excellence (Pronex) est également une initiative qui a fortement stimulé les chercheurs brésiliens. "Ces deux programmes sont excellents et possèdent de nouvelles formes de financement à long terme mais leur mise en œuvre est problématique", déclare Luiz Davidovich,

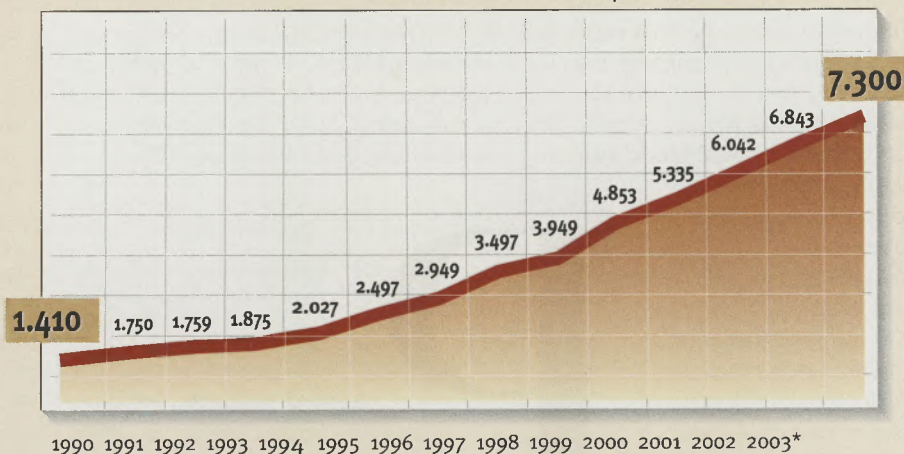
de l'Institut de Physique de l'UF RJ et coordinateur de l'Institut du Millénum sur l'Information Quantique.

Financement irrégulier - Le financement fédéral irrégulier des sciences et de la technologie freine leur développement. Le pays leur consacre 1% du Produit Interne Brut (PIB), desquels 60% proviennent du pouvoir public (Gouvernement Fédéral et à un niveau moindre les états) et 40% du secteur privé. Les nations développées consacrent proportionnellement deux ou trois fois plus de subventions à ce secteur. L'investissement privé dans la recherche brésilienne est encore faible, mais la situation a déjà été plus dramatique. Il y a quelques années, les subventions versées par les entreprises ne représentaient que 10% du total dépensé par les sciences. "L'objectif est d'investir au moins 2% de notre PIB avec une plus grande participation du secteur privé", déclare le médecin Eduardo Moacyr Krieger, de l'Institut du Coeur (InCor), à São Paulo, et président de l'Académie Brésilienne de Sciences (ABC). Grâce au soutien de la FAPESP et à un trio d'universités publiques de premier ordre (USP, Unicamp et Unesp), São Paulo est un état privilégié dans le contexte national. Il souffre moins des variations budgétaires

Un sang nouveau pour la recherche

Le pays forme aujourd'hui cinq fois plus de docteurs qu'il y a dix ans

Nombre de nouveaux docteurs diplômés



*Donnée préliminaire

Source: Capes/Coordination des Statistiques et des Indicateurs du MCT

res gouvernementales destinées à la recherche. (Voir ci-dessous tableau de l'évolution des fonds fédéraux destinés à la science ces dernières années).

Dans les autres états brésiliens, où le système public en matière de sciences dépend davantage des subventions gouvernementales et de l'infrastructure des universités fédérales, la vulnérabilité est plus grande et génère des situations quasi irréelles. "Il y a des îlots d'excellence dans un océan de misère", déclare Davidovich. "À l'UFRJ, nous possédons des laboratoires modernes situés dans des édifices sans éclairage, avec des gouttières et des murs qui risquent de s'effondrer." Pour renverser cette situation, certaines équipes de pointe originaires de différents états brésiliens essaient d'établir des partenariats avec des centres possédant de meilleures conditions financières. "Durant les moments de crise, la meilleure solution est d'intensifier la coopération avec des collègues de São Paulo et de l'étranger", déclare le neuroscientifique Iván Izquierdo, de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul (UFRGS).

Comment expliquer l'ascension de la recherche brésilienne sur le plan international depuis les années 90, sans une augmentation expressive et régulière des subventions destinées à la science? La réponse est un secret de polichinelle. Le Brésil a poursuivi une politique publique mise en oeuvre dans les années 60 et a construit un système d'enseignement universitaire, principalement dans les universités publiques. C'est de cet enseignement universitaire que sortent les nouveaux docteurs en sciences qui font croître la recherche nationale. Jusqu'aux années 80, les aspirants chercheurs voulant se spécialiser dans des domaines de pointe avaient peu d'options et le chemin le plus court était de prendre l'avion et de s'envoler vers les États-Unis ou l'Europe avec en poche une bourse délivrée par une agence de soutien nationale (ou même étrangère). De nos jours ce n'est plus le cas. "À mon

époque il fallait partir à l'étranger pour se spécialiser en biologie moléculaire des plantes", déclare Marie-Anne Van Sluys. "Maintenant il est possible de passer son doctorat ici, tout en apprenant des techniques de pointe". L'enseignement universitaire s'est répandu dans le pays. En 1990, les programmes nationaux d'enseignement universitaire ont formé 1.410 docteurs. L'année dernière, près de 7.300 personnes ont reçu ce diplôme au Brésil (voir graphique page ci-contre).

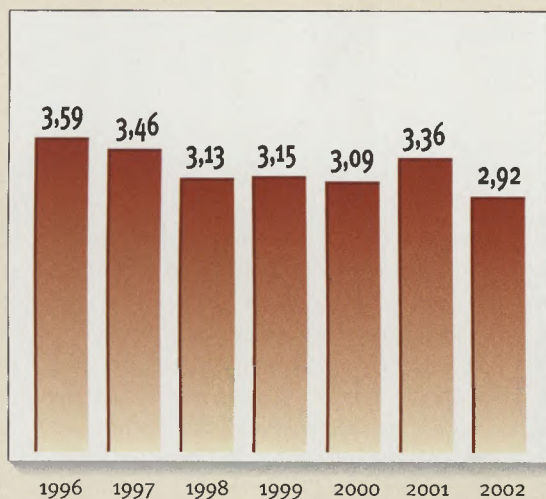
universités, dûment financées et encouragées, afin d'élever l'excellence et le poids de la recherche de base brésilienne. Certains docteurs émigreront inévitablement vers les grands centres internationaux. Et les autres? De nombreux jeunes chercheurs choisiront le secteur privé où ils pourront résoudre deux problèmes, tout d'abord d'ordre personnel en trouvant un emploi et ensuite d'ordre structurel pour l'économie du pays (encourager la recherche et l'innovation dans le milieu entrepreneurial).

José Fernando Perez de la FAPESP, Fernando Reinach de l'Institut de Chimie de l'USP et le président d'Allelyx, entreprise brésilienne de biotechnologie, ont récemment proposé un projet visant à aider les nouveaux docteurs et l'innovation. Les entreprises qui embauchent de jeunes chercheurs pour mener des activités de Recherches et de Développement pourraient bénéficier d'une exonération des charges sociales, inhérentes au recrutement de ces individus. Cet encouragement serait valable durant les dix premières années après l'obtention du diplôme. Les auteurs de cette idée estiment que 50 mille nouveaux docteurs pourraient bénéficier de cette proposition dans les dix prochaines années. "L'impact de cette mesure sera immédiat", déclarent Perez et Reinach. "Les coûts d'em-

bauche diminueront de 50%". Dans un département de recherche, c'est le recrutement qui coûte le plus cher aux entreprises. Cette mesure pourrait avoir des effets bénéfiques pour le pays car elle favoriserait une augmentation des offres d'emplois, la création d'entreprises de base technologique, un accroissement des investissements privés dans l'enseignement universitaire et un plus grand rapprochement entre l'université et l'industrie. La science brésilienne a déjà réalisé un bond important. Maintenant c'est au tour de l'innovation. •

L'incertitude des fonds gouvernementaux

Total des fonds fédéraux appliqués
Dans la Recherche et le Développement
(en milliards de réaux en 2002)



Source: Système Intégré d'Administration Financière du Gouvernement Fédéral (Siafi).
Graphique élaboré par le MCT

Obs.: Montants exprimés en réaux en 2002 et actualisés par l'Indice Général des Prix - Transmission interne (IGP-DI) de la Fondation Getúlio Vargas (FGV)

Le futur de la science brésilienne, principalement en matière de technologie et d'innovation, dépendra des opportunités offertes à cette vague croissante de docteurs qui représente un capital humain précieux. Au 21^{ème} siècle, peu de pays forment autant de docteurs que le Brésil chaque année. Mais quel sera l'avenir de cette main d'oeuvre hautement qualifiée? Il n'y a pas (et il ne peut y avoir) assez de place pour tous ceux qui aspirent au métier de chercheur dans les centres nationaux de recherche. Une partie de ces chercheurs sera cependant absorbée par les