Pesquisa FAPESP

2013_ÉDITION 2 WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR

MALADIE DE CHAGAS
Le parasite utilise une bulle avec des protéines pour envahir les cellules

EMBRAER
En vue d'innover l'entreprise investit dans des partenariats

COLONISATION
Pour le maintenir l'empire portugais a partagé le pouvoir

ENTRETIENS

MARCO ANTONIO ZAGO
L'USP allie gigantisme et haute qualité

RONALDO PILLI
Audace et innovation marquent la trajectoire de l'Unicamp

MARIA JOSÉ GIANNINI
L'Unesp concentre ses efforts pour obtenir des projets robustes

Les enzymes et les gènes de l'éthanol

L'avancée des connaissances de la biologie de la canne à sucre doit augmenter la production de biocarburants

Recherche FAPESP

2013_ÉDITION 2 WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR

24 COUVERTURE
Une application de la connaissance scientifique sur la canne à sucre pourra permettre le développement de nouveaux outils pour la production d'éthanol

ILLUSTRATION DE COUVERTURE FABIO OTUBO

ENTRETIENS

6 Marco Antonio Zago
Directeur de la Recherche de l'USP

12 Ronaldo Pilli
Directeur de la Recherche de l'Unicamp

18 Maria José Soares Mendes Giannini
Directrice de Recherche de l'Unesp

SECTIONS

4 Lettre de l'Éditrice
130 Art

POLITIQUE

30 Un programme pilote attire des scientifiques de l'étranger pour former de nouveaux groupes de recherche à São Paulo

33 Un groupe de recherche lance une base de données sur des composés chimiques susceptibles d'aider à la fabrication de médicaments

34 Les résultats du pays aux olympiades scientifiques encouragent les lycéens et révèlent les futurs chercheurs

40 Une nouvelle microsonde électronique commence à fonctionner à l'USP pour analyser les éléments chimiques des minéraux

44 Le rédacteur en chef de la revue Nature et un dirigeant de la Royal Society discutent, lors d'une rencontre à la FAPESP, des enjeux et les limites de l'ouverture des données scientifiques

SCIENCE

46 Des bioinformaticiens brésiliens créent des outils pour étudier des génomes

52 Des vésicules avec des protéines aident le parasite *Trypanosoma cruzi* à envahir des cellules hôtes

56 Des particules synthétiques réduisent la toxicité et amplifient l'action de médicaments contre le cancer

62 Des botanistes utilisent des plantes grimpantes pour comprendre l'origine de forêts brésiliennes

66 La région urbaine de Manaus est 3ºC plus chaude que la forêt

70 Des cartes tridimensionnelles détaillent la structure forestière et facilitent le contrôle des impacts de la fragmentation sur la végétation native

76 Une étude identifie des anomalies osseuses communes chez les baleines à bosse qui fréquentent la côte brésilienne

80 Le plus grand relevé d'étoiles jamais effectué reconstitue la région centrale de la galaxie

82 Des gaz soufflés par des explosions stellaires ont interrompu la croissance de galaxies naines

86 Des physiciens utilisent un laser pour synchroniser des oscillateurs microscopiques qui fonctionnent comme les balanciers des pendules

TECHNOLOGIE

88 Embraer investit dans des partenariats allant du développement de biocarburants à l'innovation en cabines

94 Des innovations dans le domaine des soins féminins et des crèmes solaires de l'entreprise Johnson & Johnson sont exportées dans le monde entier

98 Des développements technologiques dans des usines de revêtements de sols et de carrelage hissent le Brésil au rang de deuxième producteur mondial

104 Un eucalyptus transgénique produit 20 % de plus que l'arbre original

HUMANITÉS

108 Des études universitaires sur les besoins de la population aident chaque fois plus les gouvernements à adopter des mesures

112 L'empire lusitanien a su utiliser la liberté des élites locales et la religion missionnaire pour se maintenir pendant cinq siècles

120 Les archives révèlent les intérêts cachés du gouvernement américain en attirant les artistes brésiliens à New York

126 Des études analysent les œuvres du créateur de Brasilia, Oscar Niemeyer

FAPESP
FONDATION D'APPUI À LA RECHERCHE
DE L'ÉTAT DE SÃO PAULO

CELSO LAFER
PRÉSIDENT

EDUARDO MOACYR KRIEGER
VICE-PRÉSIDENT

CONSEIL SUPÉRIEUR
ALEJANDRO SZANTO DE TOLEDO, CELSO LAFER, EDUARDO MOACYR KRIEGER, FERNANDO FERREIRA COSTA, HORÁCIO LAFER PIVA, HERMAN JACOBUS CORNELIS VOORWALD, JOÃO GRANDINO RODAS, MARIA JOSÉ SOARES MENDES GIANNINI, JOSÉ DE SOUZA MARTINS, LUIZ GONZAGA BELLUZZO, SUELY VILELA SAMPAIO, YOSHIAKI NAKANO

CONSEIL TECHNIQUE & ADMINISTRATIF

JOSÉ ARANA VARELA
PRÉSIDENT-DIRECTEUR

CARLOS HENRIQUE DE BRITO CRUZ
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE

JOAQUIM J. DE CAMARGO ENGLER
DIRECTEUR ADMINISTRATIF

Pesquisa FAPESP
ISSN 1519-8774

CONSEIL ÉDITORIAL
Carlos Henrique de Brito Cruz (*Président*), Caio Túlio Costa, Eugênio Bucci, Fernando Reinach, José Eduardo Krieger, Luiz Davidovich, Marcelo Knobel, Marcelo Leite, Maria Hermínia Tavares de Almeida, Marisa Lajolo, Maurício Tuffani, Mônica Teixeira

COMITÉ SCIENTIFIQUE
Luiz Henrique Lopes dos Santos (*Président*), Adolpho José Melfi, Carlos Eduardo Negrão, Douglas Eduardo Zampieri, Eduardo Cesar Leão Marques, Francisco Antônio Bezerra Coutinho, Joaquim J. de Camargo Engler, José Arana Varela, José Roberto de França Arruda, José Roberto Postali Parra, Luis Augusto Barbosa Cortez, Marcelo Knobel, Marie-Anne Van Sluys, Mário José Abdalla Saad, Marta Teresa da Silva Arretche, Paula Montero, Roberto Marcondes Cesar Júnior, Sérgio Luiz Monteiro Salles Filho, Sérgio Robles Reis Queiroz, Wagner do Amaral, Walter Colli

COORDINATEUR SCIENTIFIQUE
Luiz Henrique Lopes dos Santos

DIRECTRICE DE LA RÉDACTION
Mariluce Moura

RÉDACTEUR EN CHEF
Neldson Marcolin

ÉDITEURS
Carlos Haag (*Humanités*); Fabrício Marques (Politique); Marcos de Oliveira (*Tecnologie*); Ricardo Zorzetto (*Science*); Carlos Fioravanti y Marcos Pivetta (*éditeurs spéciaux*); Bruno de Pierro et Dinorah Ereno (*éditeurs Assistants*)

TRADUCTION VERS LE FRANÇAIS
Éric René Lalagüe, Pascal Reuillard, Patrícia Reuillard, Jorge Thierry Calasans et Margherite Marie Bodinaud

ART
Mayumi Okuyama (*éditrice*); Ana Paula Campos (*Infographiste*); Maria Cecilia Felli et Alvaro Felippe Jr. (*éditeurs assistants*)

PHOTOGRAPHIES
Eduardo Cesar, Léo Ramos

MEDIAS ÉLECTRONIQUES
Fabrício Marques (*coordinateur*)
Internet *Pesquisa FAPESP online*
Maria Guimarães (*éditrice*)
Júlio Cesar Barros (*secrétaire d'édition*)
Rodrigo de Oliveira Andrade (*reporter*)
Radio *Pesquisa Brasil*
Biancamaria Binazzi (*productrice*)

COLLABORATEURS
Evanildo da Silveira, Fabio Otubo, Igor Zolnerkevic, Maria Hirszman, Valter Rodrigues (*banque d'images*), Yuri Vasconcelos

IMPRESSION IBEP gráfica

LA REPRODUCTION TOTALE OU PARTIELLE DES TEXTES ET DES PHOTOGRAPHIES EST INTERDITE, SAUF AUTORISATION PRÉALABLE

PESQUISA FAPESP Rua Joaquim Antunes, nº 727, 10º andar, CEP 05415-012, Pinheiros, São Paulo-SP – Brasil

FAPESP
RUA PIO XI, Nº 1.500, CEP 05468-901
ALTO DA LAPA, SÃO PAULO-SP – Brasil

SECRÉTARIAT POUR LE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE, POUR LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE
GOUVERNEMENT DE L'ÉTAT DE SÃO PAULO

LETTRE DE L'ÉDITRICE

Un avenir durable

Mariluce Moura
DIRECTRICE DE LA RÉDACTION

L'article de couverture de cette deuxième édition internationale 2013 de la revue *Pesquisa FAPESP* aborde une variété considérable d'études menées actuellement sur la canne à sucre par des chercheurs provenant de diverses institutions de l'état de São Paulo, mettant principalement l'accent sur la recherche génétique de la plante et la recherche d'enzymes capables de participer davantage au processus d'hydrolyse de la bagasse. L'objectif final de ces efforts, décrit à la page 6 par le rédacteur en technologie, Marcos de Oliveira, est de produire davantage d'éthanol à l'hectare. Bien que ce biocarburant soit très propre comparé au pétrole et qu'il provienne d'une source renouvelable, il faut qu'il devienne encore plus viable sur le plan économique. La longue et fructueuse tradition brésilienne en matière de recherches sur la canne à sucre contribuera fortement au développement de l'éthanol de deuxième génération.

Dans l'éthanol de première génération, le jus de canne à sucre est transformé en biocarburant par fermentation. Dans l'éthanol de deuxième génération, de puissantes enzymes seront utilisées pour briser les molécules de la bagasse et des feuilles de la canne pour pouvoir extraire davantage de sucre de cette biomasse à travers un processus d'hydrolyse. La génétique est un outil fondamental pour progresser sur cette voie, et le lancement du projet Genoma Cana en 1999, financé par la FAPESP, a été un premier pas décisif pour étudier en profondeur les gènes les plus importants de la plante. De nouvelles découvertes devraient maintenant donner l'élan nécessaire au procédé par hydrolyse et entrainer une hausse de la production brésilien–ne d'éthanol d'environ 5 milliards de litres par an, pour une production actuelle de 25 milliards de litres. Le Brésil n'est pas seul dans cette course. De nombreux laboratoires, aux États-Unis, en Angleterre et en Suisse, poursuivent les mêmes objectifs dans une course scientifique où le principal gagnant sera l'environnement.

Nous voulons également, dans ce numéro, mettre l'accent sur une nouvelle étude concernant la maladie de Chagas, menée par des chercheurs de l'Université de São Paulo (USP) et de l'Université Fédérale de São Paulo (Unifesp). Depuis la découverte de la maladie et de son agent infectieux, *Trypanossoma cruzi*, par le médecin et scientifique Carlos Chagas en 1909, des recherches sont menées incessamment pour comprendre les mécanismes d'action de ce parasite dans l'organisme et découvrir des ma-

Investissement en R&D

Dépenses en recherche et développement avec des ressources des états (DEPD) et du Produit Intérieur Brut (PIB))

ÉTATS	DEPD 2010 (en millions de reais)	GDP 2008 (en milliards de reais)	DEPD (en %)	GDP (en %)
Acre	3,6	6.730	0,1%	0,2%
Alagoas	9,2	19.477	0,1%	0,6%
Amapá	4,4	6.765	0,1%	0,2%
Amazonas	45,5	46.823	0,7%	1,5%
Bahía	120,4	121.508	1,7%	4,0%
Ceará	63,5	60.099	0,9%	2,0%
Distrito Federal	70,3	117.572	1,0%	3,9%
Espírito Santo	16,2	69.870	0,2%	2,3%
Goiás	23,1	75.275	0,3%	2,5%
Maranhão	16,5	38.487	0,2%	1,3%
Mato Grosso	33,8	53.023	0,5%	1,7%
Mato Grosso do Sul	11,8	33.145	0,2%	1,1%
Minas Gerais	213,9	282.522	3,1%	9,3%
Pará	21,3	58.519	0,3%	1,9%
Paraíba	31,7	25.697	0,5%	0,8%
Paraná	413,5	179.270	5,9%	5,9%
Pernambuco	58,2	70.441	0,8%	2,3%
Piauí	1,9	16.761	0,0%	0,6%
Río de Janeiro	488,9	343.182	7,0%	11,3%
Rio Grande do Norte	19,0	25.481	0,3%	0,8%
Rio Grande do Sul	92,9	199.499	1,3%	6,6%
Rondônia	0,3	17.888	0,0%	0,6%
Roraima	1,8	4.889	0,0%	0,2%
Santa Catarina	209,9	123.283	3,0%	4,1%
São Paulo	**5.012,2**	**1.003.016**	**71,6%**	**33,1%**
Sergipe	13,3	19.552	0,2%	0,6%
Tocantins	2,6	13.091	0,0%	0,4%
Total	**6.999,7**	**3.031.864**	**100%**	**100%**

Source: DEPD - Indicadores C&T MCT, http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/317045/Brasil_Dispendios_dos_governos_estaduais_em_pesquisa_e_desenvolvimento_P_D_por_execucao_segundo_regioes_e_unidades_da_federacao.html

nières de l'éviter. Comme le montre le reportage du rédacteur spécialisée Carlos Fioravanti (*page 52*), les chercheurs ont maintenant découvert comment *T. cruzi* s'installe dans une seule cellule, se différentie, se divise et envahit d'autres cellules, ce qui ouvre des perspectives pour le développement de nouvelles méthodes pour combattre et diagnostiquer les maladies tropicales. À ce sujet, il faut souligner que ces maladies touchent également aujourd'hui les pays des régions tempérées. Des autorités médicales étasuniennes, par exemple, annoncent déjà une recrudescence de la maladie de Chagas sur leur territoire, principalement chez les immigrants dans les états frontaliers du Mexique.

L'exemple d'Embraer, cité par l'article de technologie, troisième fabricant mondial d'avions à réaction derrière Boeing (États-Unis) et Airbus (Union Européenne), prouve qu'il est absolument judicieux de quitter le périmètre des centres de R&D des entreprises pour trouver ailleurs d'autres partenaires et apporter ainsi une valeur ajoutée croissante au produit fabriqué. Embraer a des partenariats avec des universités, des instituts de recherche et d'autres entreprises du secteur aéronautique dans le but de développer de nouveaux procédés de fabrication, des matériaux composites, des structures métalliques et des systèmes embarqués. L'un des projets en cours étudie la production de biocarburants à partir d'éthanol de canne à sucre. Ce travail, financé par la FAPESP, est mené en collaboration avec Boeing et des institutions paulistes de recherche.

• • •

Les trois reportages mentionnés décrivent des recherches menées à São Paulo et sont des exemples de l'importance donné par cet état à la science et à la technologie. Dans le tableau ci-dessus, nous pouvons voir qu'en 2010 l'état de São Paulo a investi plus de 3 milliards de dollars US, ce qui représente 71,6 % des dépenses publiques du pays en R&D. Il faut souligner que l'état de São Paulo représentait 33,1 % du PIB en 2008, soit l'équivalent de 430 milliards de dollars US.

LÉO RAMOS

Connexion avec la société

Mariluce Moura et Neldson Marcolin

PUBLIÉ EN OCTOBRE 2012

Marco Antonio Zago, tout autant habitué aux études génétiques et hématologiques qu'aux méandres sinueux de la politique scientifique, a assumé la Direction de la Recherche de l'Université de São Paulo (USP) en 2010 et s'est aussitôt confronté à un défi. Comment faire en sorte que des chercheurs réputés s'intéressent à nouveau à l'université qui les a formés ? Il s'est aperçu que de nombreux scientifiques issus de l'université s'étaient éloignés de l'institution. Pour Marco Antonio Zago, il est important de créer les conditions nécessaires pour que tous se connectent avec davantage de force à l'université et, de cette manière, à la société elle-même. «Il faut donner une certaine cohérence à la recherche dans l'université», déclare-t-il.

Les mesures prises par le Directeur de la Recherche ont pris la direction souhaitée. La création des Noyaux de Soutien à la Recherche (NAPs) multidisciplinaires, par exemple, calqués sur les modèles des Centre de Recherche Innovation et diffusion (Cepid), programme crée par la FAPESP en 2000, a attiré 118 groupes de chercheurs depuis 2010. L'Agence USP de l'Innovation est plus proche des chercheurs et les aide sur les questions liées aux brevets. Les nouveaux professeurs qui entrent à l'université sont encouragés à capter des financements externes et à intégrer les équipes de recherche. «Nous avons, sans aucun doute, réussi à améliorer l'université sur certains aspects», déclare Marco Antonio Zago. La bonne place obtenue dans tous les classements d'évaluation des universités le prouve, malgré le gigantisme de l'USP, chose inhabituelle dans les meilleures institutions qui investissent dans la recherche scientifique.

Marco Antonio Zago s'est formé à la Faculté de Médecine de l'USP de Ribeirão Preto. Il a passé une partie de sa carrière de chercheur à exercer la médecine. Il a été directeur clinique de l'Hôpital des Cliniques et directeur scientifique du centre de transfusion sanguine, les deux à Ribeirão Preto. En 2007, il a présidé le Conseil de développement Scientifique et Technologique (CNPq) et a créé les Instituts Nationaux de Sciences et de Technologie (INCTs), une tentative pour essayer de changer le modèle de production scientifique du pays.

En tant que chercheur, il a participé à une étude sur l'anémie falciforme et la thalassémie et a œuvré fortement à l'établissement de méthodes de diagnostic et de traitement de ces maladies. Il s'est mis à étudier la génétique des populations et a démontré de quelles régions d'Afrique venaient les esclaves emmenés au Brésil. Il a également eu une participation importante dans le domaine de la génomique en travaillant sur le séquençage de la bactérie *Xylella fastidiosa* et du génome du cancer. Leader du Cepid de Thérapie Cellulaire, il a, ces dernières années, concentré ses efforts sur l'étude des cellules

ÂGE 65 ans

SPÉCIALITÉ
Hématologie
et génétique

FORMATION
Université de São Paulo
(diplôme universitaire
et doctorat)

Université d'Oxford
(post-doctorat)

INSTITUTION
Université
de São Paulo

souche. Veuillez trouver ci-dessous, les principaux extraits de l'entretien.

Quelle est la fonction d'un Directeur de la Recherche dans une université de la taille de l'USP ?
C'est de donner une certaine orientation et de l'unité à la recherche développée par l'université. Quand je dis une certaine direction, il ne s'agit pas de faire ou de promouvoir une recherche orientée pour définir les lignes de recherche dans le sens traditionnel de terme. Ceci n'est pas possible dans une université comme l'USP. Nous sommes en termes de taille et de variété de domaines, l'une des plus grandes universités du monde. Il est difficile de trouver un domaine de la connaissance ou un sous domaine qui ne possède pas de spécialistes qualifiés à l'USP. L'activité de recherche est donc très hétérogène et possède différentes dimensions.

Que serait donc cette «certaine direction» ?
Peut-être de donner une cohérence et une synergie à la recherche à l'intérieur de l'université. Quand je suis arrivé ici, je me suis aperçu que le sens d'unité était limité. Les groupes réputés étaient ceux qui étaient le moins lié à l'université, ils devenaient indépendants et alléguaient que leurs financements provenaient de l'extérieur et non de l'USP.

Il y avait un certain détachement...
Oui, un détachement de l'université, qui amène à un certain degré de désagrégation.

Quelle place occupe l'USP parmi les plus grandes universités du monde ?
L'Unam (Université Nationale Autonome du Mexique) possède 270 mille élèves, tout comme l'Université de Buenos Aires. Il s'agit d'institutions qui n'ont pas de *numerus clausus*, donc tout élève qui le désire peut s'inscrire. D'un autre côté, quand nous regardons les meilleures universités du monde (celles que tout le monde cite comme exemples d'universités pour bien montrer que c'est le but à atteindre), sont celles des États-Unis, d'Angleterre, du Japon et de la Corée du Sud avec en moyenne 17 mille élèves. Beaucoup d'entre elles ont plus de 60% d'élèves dans le troisième cycle.

Et l'USP ?
Nous avons 91 mille élèves, parmi lesquels 30% en troisième cycle. Une des caractéristiques communes aux grandes universités qui sont très engagées dans la recherche, outre l'enseignement, est la mission de produire de la recherche scientifique et de transférer la connaissance. L'USP s'encadre dans cela. Il faut souligner l'engagement dans l'enseignement. Ceci est important car beaucoup de gens pensent que je suis parfois monomaniaque et que je pense que l'université de doit faire que de la recherche. Je ne le pense pas. Je comprends que le rôle fondamental de l'université est l'éducation et la formation des personnes qualifiées à des niveaux supérieurs.

L'USP s'encadre et se situe en bonne place parmi les universités de recherche ?
Elle est bien perçue dans tous les types de classement. Il ya une unanimité pour dire que l'USP est la première université d'Amérique Latine. Il y a d'autres bonnes universités au Brésil, mais elles sont peu nombreuses. Le club des universités de recherche au Brésil est très restreint.

Comment appréhender cette université multiple et donner de la cohérence aux activités de recherche menées par tant de groupes avec des objectifs différents ?
En premier lieu il faut faire en sorte qu'ils concentrent à nouveau leur attention sur le centre, qui est l'université et qu'à travers elle ils reprennent leur relation avec la société. Nous ne faisons pas de la recherche par dilettantisme, nous cherchons avant tout une nouvelle connaissance qui pourrait avoir une application immédiate ou non. La recherche ce n'est pas exclusivement l'activité de laboratoire, c'est toute l'activité créative y-compris le développement culturel, qui est de la responsabilité de l'université.

Y-compris l'art ?
L'USP contribue de manière importante aux arts et aux sciences humaines. L'université est très bien placée en sciences humaines, il suffit de regarder certains classements qui subdivisent les performances de l'université. Nous devons promouvoir un dialogue beaucoup plus intense entre ces différentes cultures universitaires. Quand je dis donner de l'unité ou de la cohérence, c'est faire en sorte que l'attention des professeurs, principalement ceux qui sont réputés, se tourne vers l'université et à travers elle vers la société. Une des méthodes employées pour y parvenir a été l'utilisation de financements propres pour soutenir la recherche. Ceci n'a jamais été fait, de manière intense, dans aucune université brésilienne. Cela a commencé ici, bien que le financement ne soit pas très important comparé à celui que l'USP emploie déjà dans la recherche. Nous investissons environ 2 milliards de reais par an dans la recherche, bien que cela ne soit pas visible pour tous.

Les financements alloués par la FAPESP et le CNPq se retrouvent dans ce montant ?
Non. Les 2 milliards de reais sont les montants budgétaires que l'USP distribue pour ses diverses activités. Une part considérable sert à payer les techniciens, l'infrastructure de laboratoire, les travaux, l'eau, l'électricité, la parcelle de temps complet correspondant à l'activité de recherche... Tout est payé par l'université. Dans les universités américaines, ces financements sortent du *grant* du chercheur. Il utilise ses ressources financières pour payer les bourses, les techniciens, la facture de téléphone et les rénovations du laboratoire, tout. Il se trouve que l'utilisation de ces fonds est diverse. Nous offrons une infrastructure de base et une participation financière qui apparait sur la fiche de paie et les personnes ne s'en aperçoivent pas. En outre, il y a l'argent de la FAPESP, distribué dans différentes propositions qui sont soumises à une évaluation externe où le mérite prédomine. Ceci introduit une composante de qualité pour la distribution du financement.

Comment est le programme de soutien à la recherche créé par la Direction de la Recherche ?
Dans deux appels d'offre interne, nous avons versé 73 millions de reais au cours de la première année de gestion en 2010/2011, et ensuite plus 73 millions de reais en 2011/2012. Pour cela nous avons invité les chercheurs à présenter des propositions de recherche qui seraient analysées selon le mérite, qui considèrent la formation d'un groupe pour une durée limité, et qui obligatoirement aient une connotation multidisciplinaire. Ils devaient également se focaliser sur un problème de société important, d'application immédiate ou d'analyse théorique. Ainsi, dans ces deux appels d'offre, nous avons sélectionné 43 projets au cours de la première année et 75 la deuxième, de telle manière que nous totalisons 118 noyaux ou centres de recherche. Nous les avons appelés NAP, Noyau de Soutien à la Recherche.

D'une certaine manière les NAPs se superposent avec les Cepid et les INCTs?
Vous parlez toujours avec le même individu. Il est vrai que l'idée pour que les personnes se réunissent autour d'un thème est apparue à partir de là. Je coordonne un Cepid depuis 2000. Quand je suis devenu président du CNPq, nous avons eu à nouveau l'idée d'essayer de faire quelque chose ayant cette même caractéristique. J'ai utilisé le modèle du Cepid et, dans ce qu'il était possible de faire à une échelle nationale, nous avons créé les INCTs, qui ont été et qui sont encore le plus grand programme de science et de technologie coordonné par le CNPq.

Les NAPs ont donc l'objectif clair de réunir davantage les chercheurs à l'université ?
Oui. Un soutien complémentaire est apporté par l'Agence USP de l'Innovation, aujourd'hui liée à la Direction de la Recherche. Elle a été entièrement reformulée et elle a la fonction importante de résoudre les problèmes des professeurs chercheurs liés, par exemple, à la rédaction des brevets, au traitement d'un point de vue légal, à la négociation avec les entreprises qui veulent autoriser les brevets, entre autres tâches. Aujourd'hui, les chercheurs reconnaissent que le panorama a changé. À tel point que l'USP est l'université brésilienne qui dépose le plus grand nombre de brevets auprès de l'INPI (Institut National de Brevet Industriel).

Cette donnée est intéressante car chaque fois que l'on parle de brevet d'universités, l'Unicamp se distingue.
Il y a une tradition, en fait l'Unicamp s'est organisée bien avant l'USP. Elle est hautement compétente dans ce domaine. De 2000 à 2006, l'USP déposait en moyenne 29 nouveaux brevets par an et est passée à 81 nouveaux brevets entre 2007 et 2011. Les données accumulées sur trois ans entre 2009 et 2011 représentent 231 brevets pour l'USP, 178 pour l'UFMG et 170 pour l'Unicamp. En outre, l'Agence d'Innovation a gagné d'autres fonctions. Elle agit, par exemple, de manière décisive dans le domaine éducatif. Si la principale contribution de l'université est l'éducation, nous allons également former des personnes avec un esprit innovateur. Ce ne sont pas les brevets que les chercheurs déposent qui vont changer le panorama du pays. Ce qui peut le changer c'est former les jeunes qui vont sortir de l'université et faire avancer les choses. Nous avons créé cette année un cours d'entreprenariat suivi par 200 étudiants.

Vous disiez, en 2009, que les INCTs pourraient changer le modèle de production scientifique dans le pays. Nous y sommes presque arrivés ?
Je pense que la grandeur et une partie des objectifs ont été abandonnées. Aujourd'hui le projet national de sciences et de technologie est d'envoyer des étudiants à l'étranger. Quand nous avons créé les INCTs nous avions un programme qui possédait un grand nombre de composantes, il n'était pas seulement bailleur de fonds, mais également planificateur et accompagnateur. Nous avons convaincu les FAPs (fondations de soutien à la recherche) à participer. La première à participer a été la FAPESP, et ensuite sont venues les autres. Nous avions un premier grand programme avec un unique objectif et duquel participait le CNPq, la Capes, les principales FAPs, Petrobras, le BNDES. Si ce programme avait suivi son cours initial, le rôle du Ministère des Sciences de la Technologie et de l'Innovation se serait développé, et non pas seulement comme bailleur de fonds. Il serait possible d'attirer plus d'argent que ce que le ministère est capable de faire et de réunir tous les acteurs pour discuter et résoudre les différences, les contrepoids de plus grande influence de la région Sud-est par rapport au Nord et au Nordeste, et ainsi de suite.

La recherche ne concerne pas seulement l'activité de laboratoire, mais toute l'activité créative

Quels sont les autres projets qui peuvent pousser les chercheurs de l'USP à se réunir davantage autour de l'université ?
Tout nouveau professeur recruté reçoit un financement pour pouvoir répondre à ses premiers besoins en tant que professeur, dès qu'il prouve qu'il a sollicité une demande d'aide à la recherche auprès de la FAPESP. Le succès de ce programme depuis 2010 est énorme car quand nous faisons les comptes de ce que nous avons investi et le retour de la recherche, c'est sept fois plus.

Nous allons aborder les classements. L'USP est en train de grimper dans tous les classements parce que l'université s'est améliorée ou parce qu'elle s'expose de manière plus efficace ?
Je pense que ce sont les deux choses. Elle s'est améliorée sur certains aspects et dans d'autres elle a commencé à obtenir de meilleurs résultats. Il y a des classements extrêmement objectifs, qui ne dépendent pas d'un sondage d'opinion, comme Webometrics Ranking of World Universities. Ce classement mesure le trafic internet et la quantité de documents disponibles. Nous nous sommes énormément améliorés dans ce classement (l'USP se situe à la quinzième place). Ceci en partie grâce à une meilleure organisation de l'université et également par le fait d'être plus connue ce qui augmente le trafic sur internet.

Et les autres classements ?
Les autres se basent sur la performance. Dans un classement important comme celui de Shanghai, qui donne une valeur plus importante à la recherche, nous voyons, en examinant les résultats, que l'USP a des résultats exceptionnellement bons. Cependant, ils utilisent des critères importants pour départager les premières places et dans lesquels nous n'avons pas de bonnes performances. Ils tiennent compte du nombre de vainqueurs de prix Nobel qui enseignent à l'université, du nombre d'anciens élèves ayant le prix Nobel et la médaille Fields etc. Ceci est important pour départager Cambridge, Harvard et MIT. À titre d'exemple, si une université mal classée recrute un prix Nobel, elle va grimper énormément dans le classement et cela peut

provoquer un énorme déséquilibre. Est-ce que cela veut dire que l'université s'est beaucoup améliorée ? Non.

Et les classements d'opinions ?
Certains sont plus influençables par ce type de facteur, sans aucun doute. Pour évaluer la recherche, nous disposons de données, comme le nombre de travaux publiés, le nombre de citations et l'impact des revues. C'est un ensemble d'informations qui nous donne une idée de l'état de la recherche, du moins dans les domaines expérimentaux. D'autres instruments qui vont améliorer les évaluations sont apparus récemment. Il y a Google Scholar, qui tient beaucoup compte de l'impact des sciences sociales. Et on recourt parfois à l'opinion de spécialistes.

C'est seulement un autre critère...
Subjectif, mais c'est un critère. Le classement le plus valorisé, dont les résultats devraient être connus cette semaine, est celui du Times Higher Education, le THE. 30% du classement est un classement de prestige. C'est-à-dire qu'ils demandent à un grand nombre de personnes du monde entier de se prononcer sur différentes universités. Ceci pèse dans le classement final. Cet aspect est peut-être celui qui a le plus influencé le fait que l'USP ait été très visible ou exposée d'une meilleure manière. Ce que l'individu de Paris ou de Hong Kong pense de l'USP ou des autres universités peut être influencé par le fait de connaitre des brésiliens, parce qu'il nous visite ou parce que les personnes d'ici sont allées visiter son université.

Ces opinions ont un impact dans le classement du THE?
Elles ont un impact très positif. Dans le classement de prestige que le THE a publié en début d'année, l'USP se situe parmi les 70 meilleures universités du monde. Ceci va certainement influencer le classement qui va sortir car il contient 70% d'évaluation objective, qui sont les indicateurs, et 30% d'opinion.

Qu'est-ce qui a été fait à l'USP en ce qui concerne la nécessité d'internationalisation de la recherche brésilienne ?
La manière d'avoir une internationalisation plus productive est d'établir des alliances avec un groupe sélectionné d'universités. Nous en choisissons certaines à la Direction de la Recherche et nous cherchons à réaliser des accords, des séminaires conjoints pour ensuite proposer des recherches bilatérales. Nous sommes actuellement en train de conclure un accord avec l'Université de Toronto, au canada, une des 15 ou 20 meilleures universités du monde, pour réaliser des conférences conjointes, et des appels d'offre pour la recherche en collaboration. Nous faisons la même chose avec d'autres universités importantes.

Nous allons maintenant passer à autre chose. Nous aimerions savoir ce qu'il en est de votre côté chercheur depuis que vous êtes devenus Directeur de la Recherche?
Il serait illusoire de penser que je puisse conserver le même type d'activité que j'avais au laboratoire quand je suis devenu président du CNPq, en 2007, et ensuite en assumant la Direction de la Recherche. Cette implication personnelle et intense au quotidien pour vérifier la méthode, examiner personnellement un résultat, refaire, monter des bancs d'expérimentation, cela je ne le fais plus. D'un autre côté, il y a un groupe de chercheurs qui travaillent avec moi depuis longtemps et avec qui j'ai des discussions pratiquement hebdomadaires.

Quel est, selon votre point de vue, votre plus grande contribution en matière de production de connaissance à l'USP?
Je diviserais ma contribution en trois périodes fondamentales. Dans la phase initiale, je suis allé à l'Université d'Oxford suivre un post-doctorat et je suis revenu, formé pour mener des recherches de base en biochimie sur les hémoglobines. À cette époque, j'ai travaillé avec le professeur David Weatherall, l'un des pionniers dans le domaine des hémoglobinopathies. Ayant exercé en tant que médecin dans le sud-est asiatique, il a vu un grand nombre d'enfants atteints de thalassémie, un type de maladie très spéciale et, en collaboration avec le biochimiste John Clegg, a mené des recherches sur le mécanisme de base de la maladie. Il y avait des évidences montrant que cette maladie était due à un déséquilibre dans la synthèse des deux chaines d'hémoglobine, alpha et beta. Elles sont très similaires, synthétisées sous le contrôle de gènes différents. Chez l'individu normal, il y a un équilibre; deux alphas et deux betas forment une chaîne d'hémoglobine. Ils ont développé une méthode permettant de mesurer la synthèse de ces chaînes. Ils ont ainsi démontré que la thalassémie provient d'un déséquilibre Quand je suis revenu au Brésil, je savais que ces maladies étaient communes ici et j'ai commencé à les étudier. J'ai rencontré un grand nombre de patients et j'ai réussi à établir des méthodes de diagnostic et de traitement pour ces maladies.

Il n'y avait pas de traitement à cette époque ?
Il n'y en avait pas. C'était très désordonné, il n'y avait pas de protocoles de segmentation, de traitement... J'ai fini par m'engager non seulement dans la recherche mais aussi dans des activités d'organisation et de traitement. J'ai convaincu le Ministère de la Santé à établir un programme pour le traitement des patients souffrant d'anémie falciforme. Le programme existe encore de nos jours et a également évolué vers le diagnostic néonatal.

Ce fut une contribution tant en termes de recherche de base que d'interférence directe dans l'application.
Tout à fait. Il y avait une autre composante de ces maladies qui était la thalassémie, une maladie complexe en termes de traitement car le patient doit recevoir des transfusions sanguines régulières. Il faut qu'il y ait un local pour les recevoir et les suivre mensuellement. Une des complications est l'accumulation de fer dans l'organisme. À cette époque, pour éliminer cet élément, il n'y avait qu'un médicament qui était administré par injection, et une injection de longue durée. Pour cela on utilisait une pompe à perfusion, qui n'existait pas au Brésil et il n'y avait aucune manière de l'importer. Avec un collègue, Sebastião Ismael, nous avons fabriqué une de ces pompes du temps de l'Ibecc (Institut Brésilien d'Éducation, de Sciences et de Culture) avec Isaias Raw.

La prévalence de la thalassémie dans la population est moindre que l'anémie falciforme ?
Cela représente la moitié, plus ou moins. La forme la plus grave d'anémie falciforme est due à l'homozygote du gène de l'hémoglobine S. La prévalence de l'hétérozygote touche plus ou moins 2 % de la population dans l'état de São Paulo (ceci varie d'un endroit à l'autre du pays car cette maladie a été apportée par le trafic d'esclaves. La fréquence est plus élevée dans les populations ayant un plus grand indice de gènes africains. La thalassémie est un autre type de modification du même gène beta qui quand l'individu est homozygote il a une maladie très grave.

Cette mutation est venue des régions méditerranéennes principalement d'Italie, Portugal, Espagne et un peu du Liban.

Ce furent ces études qui vous ont amené à un autre champ de la recherche, la génétique des populations ?

Tout à fait. Le monde a changé, tout le monde s'est mis à étudier l'ADN. Mon groupe a commencé à examiner dans les années 80, à Ribeirão Preto, l'ADN lié à certaines maladies et ensuite à la génétique populationnelle. Notre première étude s'est concentrée sur le gène de l'anémie falciforme (beta S). Dans des régions proches du gène, il y a des éléments que nous appelons polymorphismes, qui définissent les haplotypes. Dans le gène de l'anémie, conformément à l'endroit en Afrique, le gène beta S est toujours le même, mais l'haplotype auquel il est associé est différent. Quand nous examinons les noirs dans la population brésilienne qui souffrent d'anémie falciforme, nous observons le gène qui l'entoure. Ainsi il est possible de connaître la région africaine d'origine des ancêtres et recomposer l'historique de la traite des esclaves vers le Brésil. Une fois fait, nous avons eu une surprise. Le modèle des africains qui ont été emmenés au Brésil est très différents de ceux qui ont été emmenés aux États-Unis. Nous avons été les premiers à le démontrer.

Et c'est ce travail qui indique de quelles régions d'Afrique ils venaient ?

Oui. Environ 60 % venaient des régions avec un haplotype bantou, c'est à dire, du Mozambique, de la République Centrafricaine, d'Angola, du sud de l'Afrique. 30 % à 35 % venaient de la région du Bénin. 1 % à 2 % venaient de la région de Gambie et du Sénégal. Aux États-Unis, environ 60 % venaient du Bénin, 15 % du Sénégal et 15% de Gambie. Après avoir fait cette étude, j'ai trouvé un livre qui s'appelle *The atlantic slave traffic*, de Philip Curtin, qui en travaillant sur des documents primaires provenant des ports de départ et d'arrivée, montre des chiffres exactement identiques aux nôtres.

Votre troisième phase en termes de contribution concerne la génomique ?

Oui, à cette époque j'étais déjà éloigné de la médecine proprement dite. J'avais un groupe qui s'occupait de questions de génétique moléculaire et de génétique populationnelle, quand a commencé le séquençage de la bactérie *Xylella fastidiosa*, en 1998, une étape importante pour la science brésilienne.

Votre laboratoire dominait cette technologie?

Oui, mais le fait que programme génome mette l'accent sur ce travail nous a beaucoup aidé. Après la *Xylella* nous avons continué avec le génome du cancer avec Ricardo Brentani, de l'Hôpital du Cancer, et avec Andrew Simpson, de l'Institut Ludwig. C'est à ce moment là qu'à surgit l'opportunité de nous organiser autour d'un Cepid, en 2000, et nous avons décidé d'investir dans la thérapie cellulaire et dans les cellules souches avec succès. Nous avons avancés sur des points encore inconnus à l'époque. Les cellules mésenchymes, par exemple, étaient vues comme étant exclusive de la moelle osseuse. C'est nous qui avons démontré qu'elles existaient dans la veine ombilicale, dans l'artère saphène, et ensuite nous avons décrit qu'elles existaient dans pratiquement tous les tissus adultes et fœtaux, car c'est une cellule qui est présente sur la partie extérieure des petits vaisseaux, appelés péricytes. Notre contribution a été importante pour ce type de connaissance.

Les performances de l'USP sont exceptionnelles selon les résultats du classement de Shanghai

C'est votre travail le plus cité ?

Le plus cité c'est celui du séquençage de *Xylella*, avec plus de cent auteurs. Le deuxième est la première analyse faite au monde sur le modèle d'expression génique des cellules mésenchymes, en 2003. Et le troisième, c'est celui qui démontre que les cellules mésenchymes obtenues de sources très différentes ont un modèle et des propriétés très similaires aux péricytes et aux fibroblastes.

Vous avez vécu cette phase d'euphorie de la génomique et vous vivez cette phase actuelle où il est clair qu'il y a un long chemin à parcourir. Comment voyez-vous cette question aujourd'hui ?

En sciences c'est toujours comme ça. J'ai écris un livre avec Dimas Covas appelé *cellules souches, la nouvelle frontière de la médecine*, sur la thérapie cellulaire. Dans la préface je déclare que l'enthousiasme exagéré, en grande partie gonflé par la presse, se répète souvent. J'alertais sur le fait qu'il y avait à ce moment là, en 2006, une attente qui était absolument irréelle par rapport aux cellules souches, comme si cela allait sauver l'humanité dans les prochains jours. La technique de production des lignées de cellules souches embryonnaire est très compliquée. Ce fut la même chose avec la génomique. Il est actuellement difficile de voir un travail de biologie cellulaire moléculaire qui n'implique pas le séquençage de gènes. De là à penser que cela va résoudre toute la question de la connaissance relative à la biologie serait d'une grande naïveté.

Mais il y a eu des avancées.

L'histoire montre qu'aucun thème de la science ne se résout avec une technique ou une seule découverte. Nous avons fait un pas supplémentaire et nous avons amélioré la connaissance. Aujourd'hui nous avons déjà un médicament vendu en pharmacie qui a été développé car on a pris le gène d'une néoplasie, on l'a séquencé et on a découvert qu'il s'agissait d'un gène hybride qui modifiait la synthèse d'une protéine déterminée. L'industrie pharmaceutique a produit ainsi un inhibiteur qui est administré par voie orale et qui empêche le fonctionnement du gène, améliorant ainsi la santé de l'individu. Oui, la génomique produit donc des effets et va continuer à en produire. Il se peut que le fléau de l'*amarelinho* (petit-jaune, maladie des agrumes) causé par *Xylella*, n'ait pas été résolu, mais c'est une chose moindre par rapport aux bénéfices que nous avons déjà obtenus. ■

De l'audace à l'innovation

Fabrício Marques

PUBLIÉ EN DÉCEMBRE 2012

ÂGE 65 ans

SPÉCIALITÉ
Chimie organique

FORMATION
Université Publique de Campinas

(Diplôme universitaire et doctorat)

Université de Californie, Berkeley (3ème cycle universitaire)

INSTITUTION
Université Publique de Campinas

La carrière universitaire de Ronaldo Aloise Pilli, Directeur de la Recherche de l'Université Publique de Campinas (Unicamp), est liée à l'histoire de cette institution d'enseignement et de recherche qui est devenue l'une des plus importantes du pays. Selon le classement international des universités réalisé par Times Higher Education, elle se place entre la 251ème et la 275ème place, ne perdant, au Brésil, que de l'Université de São Paulo qui se trouve à la 158ème place. Pilli est entré à l'Unicamp en 1973 dans le septième groupe du cours universitaire de l'Institut de Chimie (IQ), Il a ensuite obtenu son doctorat, orienté par l'un des nombreux professeurs étrangers qui ont aidé à fonder l'université, l'américain Albert Kascheres. Il est ensuite devenu professeur titulaire de l'IQ en 2000, après avoir fait un post-doctorat à l'Université de Californie à Berkeley. Spécialiste en chimie organique, principalement de la synthèse des médicaments et des produits naturels, il est à l'origine de plus d'une dizaine de brevets, ce qui n'est pas surprenant dans une université qui n'est devancée que par Petrobras en nombre de dépôt de brevets auprès de l'Institut National de la Propriété Industrielle (Inpi) entre 2004 et 2008. Son travail en termes d'innovation n'a pas rivalisé avec sa carrière de professeur car il a formé 40 maîtres et docteurs dans le domaine de la chimie organique.

Le professeur Pilli est depuis 2009 à la tête de la Direction de la Recherche et il a mené un ensemble de stratégie visant à une internationalisation accrue de la recherche dans l'institution. L'une des stratégies adoptées a été un programme visant à attirer les professeurs visiteurs étrangers qui souhaiteraient passer deux ans à l'Unicamp avec la possibilité de passer un concours pour suivre la carrière de professeur à la fin de leur séjour. Des annonces passées dans des revues scientifiques internationales ont attiré des dizaines d'intéressés, onze d'entre eux ont été sélectionnés et se trouvent actuellement à Campinas. Il a également aidé à la réorganisation

de l'infrastructure de la recherche de l'institution en renforçant le soutien apporté aux professeurs en début de carrière et en coordonnant la création de laboratoires destinés à la recherche multidisciplinaire. Le professeur Pilli est marié, père de deux enfants et sur le point d'être grand-père. Il résume l'évolution de la recherche à Unicamp dans un entretien accordé à Pesquisa FAPESP:

Vous êtes entré à l'Unicamp comme étudiant universitaire en 1973. Qu'est-ce qui a changé dans la recherche de l'institution au cours de ces quatre décennies ?

L'Unicamp est née d'une idée ambitieuse car elle a été implantée sous l'égide de l'enseignement et de la recherche comme étant indissociables. Peu à peu les activités complémentaires sont également apparues et sont devenues définitives. À cette époque ce n'était pas le modèle suivi, du moins pour les universités brésiliennes. L'Unicamp a conçu son corps enseignant en ayant fortement à l'esprit la capacité de développer la recherche et l'enseignement du 1er, 2ème et 3ème cycles, ceci est une autre caractéristique très actuelle. Certains domaines se sont distingués rapidement grâce à la collaboration de chercheurs étrangers et brésiliens dans un temps relativement court. L'Université a initié son implantation en 1966. J'y suis arrivé en 1973 et en 1976, quand j'ai terminé mes études de 1er et 2ème cycles, l'Unicamp était déjà très performante en ingénierie, physique et sciences humaines. La chimie commençait à se développer.

Il y avait beaucoup de professeurs étrangers. Plus de la moitié des professeurs venait d'ailleurs quand l'université a été créée.

Il y avait également beaucoup de brésiliens qui avaient eu une expérience à l'étranger. Dans l'Institut de Chimie auquel j'appartiens, il y avait des professeurs originaires de l'USP, récents docteurs, qui sont venu ici en relevant le défi de construire une université à l'intérieur de l'état et dans laquelle peu de personnes croyaient. Je me rappelle que des professeurs ont refusé l'invitation pour aller travailler à temps partiel à l'Unicamp même sans se détacher de leur université d'origine. Ce fut une expérience osée. Cette figure de l'éminent professeur qui dictait toutes les règles n'a jamais existé à l'Unicamp. Chaque jeune professeur avait une totale liberté pour développer son domaine de recherche. Ceci fut important pour attirer les compétences et les talents. L'Unicamp a implanté le 3ème cycle presque simultanément aux cours de base, alliant recherche, enseignement et innovation. L'autre caractéristique est que le faux dilemme de la science de base contre la science appliquée n'a jamais divisé notre environnement universitaire. Il y avait des réserves pour ce qui est des partenariats avec les entreprises, mais ceci a été neutralisé quand la plupart de nos meilleurs universitaires ont démontré qu'il était possible de concilier une réputation solide avec un regard porté vers l'innovation. C'est ce qui est à l'ordre du jour actuellement au Brésil et le transfert de la compétence universitaire vers l'innovation a toujours fait partie de la vie de l'Unicamp.

Quelle est la taille de la contribution de l'Unicamp pour la recherche brésilienne ?

Si nous devions comptabiliser toute la production provenant de l'université, ce chiffre représenterait 15% du total brésilien. Si vous parlez d'articles indexés dans des bases de données, comme Web of Science, le chiffre est un peu plus bas. L'Unicamp est responsable d'environ 12% de la production scientifique dans le pays. En 2011, nous avons eu 4 mille articles publiés dans des périodiques indexés pour un contingent d'environ 1 800 professeurs. Cela représente plus de deux publications par chercheur, c'est la proportion la plus élevée dans les universités brésiliennes.

Dans quels domaines l'Unicamp se distingue le plus ?

L'Unicamp a une présence forte et durable dans le domaine des sciences naturelles. Les domaines de la physique, de la chimie, des mathématiques et de la biologie sont notoirement reconnus comme étant forts. Ceci apparaît nettement dans l'évaluation de ses programmes de 3ème cycle faite par la Capes (Coordination du Perfectionnement du Personnel de Niveau Supérieur), beaucoup avec la note 7. Nous avons de l'excellence dans les domaines du génie et dans le domaine médical. La Faculté de Sciences Médicales se distingue grâce à une politique visant à une sélection exigeante des nouveaux professeurs. C'est une Faculté de grande taille mais ses professeurs sont fortement engagés dans la recherche. L'Institut d'Études du Langage, l'Institut de Philosophie et de Sciences Humaines se distinguent dans le domaine des sciences humaines. Nous avons également le cours de l'Institut d'Art, qui est en train de gagner un espace important en termes de production artistique et universitaire. L'Unicamp élargit son leadership dans certains domaines. Ceci se reflète dans les Instituts Nationaux de Sciences et de Technologie. Ce n'est pas une coïncidence si nous avons neuf instituts, en médecine, physique, chimie et ingénieries.

Un des points forts de l'Unicamp est sa vocation en innovation. En nombre de brevets, elle se situe juste derrière Petrobras. Quelle est la recette pour avoir un corps de chercheurs ouvert à l'innovation ?

Quand le corps enseignant a été recruté à la fin des années 60, certains venaient de laboratoires de recherche d'entreprises. Plusieurs professeurs de l'Institut de Physique sont passés par Bell Labs, une référence mondiale à cette époque, et ils avaient déjà une vision ouverte sur la relation entre la recherche universitaire en connaissance de base et celle en connaissance appliquée. Nous n'avons jamais eu un système rigide et cela a favorisé les initiatives personnelles. Si vous avez une totale liberté pour orienter votre recherche vers une application ou un approfondissement de la connaissance de base, il est bien plus probable qu'apparaissent davantage d'innovations que dans un système dans lequel vous êtes soumis à une décision supérieure. Le fait que les professeurs se distinguent stricto sensu, pour avoir publié dans de bonnes revues, pour être reconnu à l'étranger, pour être cités et avoir des récompenses etc., est également un facteur important. Ceci a montré qu'il n'y avait pas d'incompatibilité entre le fait de développer la connaissance, de l'appliquer à une innovation et d'obtenir un brevet. L'université maintient un volume annuel de 50 dépôts de brevet auprès de l'INPI. Nous avons également les autorisations, ce qui est le plus important en termes de reconnaissance de l'utilité d'une invention.

Tout ceci explique cette seconde place auprès de l'INPI, juste après Petrobras. C'est inhabituel, car ce n'est pas ce qui se passe dans la plupart des pays. Une particularité du système d'innovation au Brésil est que l'université est l'un des acteurs les plus importants du scénario en matière d'innovation technologique. Nous devons maintenant avoir la capacité de déposer davantage de brevets et de technologies à l'étranger, pour devenir des players internationaux.

Quelle est la relation de l'Unicamp avec les entreprises ?

Inova, notre agence d'innovation, existe depuis 2003, mais bien avant cela il y avait déjà un bureau d'innovation actif. Ces dernières années nous avons reçu la visite de nombreuses entreprises avec qui nous gardons le contact. L'idée est de resserrer cette relation tout en conservant la mission de l'université qui est de former des ressources humaines de la plus haute qualité et d'avancer vers la connaissance. Sans perdre de vue cette mission, nous dialoguons avec tous les interlocuteurs, publics ou privés. Les financements destinés à la recherche viennent de contrats, d'accords, que nous faisons et établissons avec des entreprises publiques ou privés. La FAPESP finance environ 40% de notre budget de recherche. La Capes et le CNPq ont également une part importante. Mais environ un quart des financements destinés à la recherche viennent de contrats et d'accords avec des entreprises publiques et privés. Les entreprises viennent nous chercher car elles savent que les universités ont un intérêt à analyser leurs propositions.

Quels sont les principaux exemples ?

Petrobras, Braskem, Shell, CPFL, Repsol et Microsoft sont quelques exemples de ces partenariats récents. Il y a beaucoup de collaboration avec les entreprises du secteur médical intéressée par l'établissement de partenariats, tant pour les essais cliniques que pour la recherche de base.

Pourquoi encourager l'entrepreneuriat jusque dans le domaine de la danse et de la musique, avec l'offre de cours qui orientent les élèves à capter des financements à travers la Loi Rouanet ?

Notre agence d'innovation a des actions transversales, et c'est l'une d'entre elles, pour que l'université n'offre pas seulement une bonne formation technique à notre étudiant mais lui donne également les outils pour qu'il puisse créer sa propre entreprise, qu'il recherche des financements prévus par la législation et qu'il puisse devenir un entrepreneur. C'est une manière de le préparer au marché du travail qui aujourd'hui possède différents paramètres. Nous avons plus de 200 entreprises créées qui ont un certain lien avec l'université. Soit elles appartiennent à d'anciens élèves soit elles ont été conçues à l'intérieur de l'université. La plupart des entreprises ont de bonnes performances sur le marché brésilien et d'autres ont même des représentations dans d'autres pays.

Plus 200 entreprises ont été créées par des anciens élèves, dont certaines au sein de l'université

Au cours de votre gestion, la Direction de la Recherche a cherché à internationaliser davantage la recherche faite à l'Unicamp. Quel est le solde de cette période?

En premier lieu, nous avons essayé de faire en sorte, grâce à des initiatives concrètes, que les professeurs équilibrent les activités d'enseignement, de recherche et les activités complémentaires. Il est vrai que tout le monde n'arrive pas à développer avec excellence les trois piliers de l'université, mais il faut être attentif. En ce qui concerne le soutien, nous avons remarqué la nécessité de maintenir un soutien institutionnel pour couvrir certaines demandes que les agences de financement ne couvrent pas.

Par exemple...

Il s'agit de travaux, de la construction de nouveaux laboratoires. Dans cette administration nous sommes responsables de trois grands projets. L'un est un laboratoire central de technologie de pointe de prestation de service dans les domaines de la génomique et protéomique, de la bioinformatique et de la biologie cellulaire. Nous avons eu le soutien de la FAPESP à travers l'appel d'offre du Programme Équipements Multi-usagers et l'université investit 6 millions de reais dans la construction du bâtiment. L'autre initiative concerne le Centre Pauliste de Recherche en Bioénergie et qui concerne les trois universités publiques paulistes. La FAPESP participe à ce programme en finançant des projets de recherche. Nous avons reçu 15 millions de reais du gouvernement de l'état et nous sommes en train de rénover une zone de 4 mille mètres carrés qui abritera des laboratoires. Nous sommes en train de construire un bâtiment siège de plus de mille mètres carrés, nous sommes en train de conclure l'embauche de cinq professeurs qui travailleront dans le domaine de la bioénergie. Des financements sont prévus dans le budget de 2013 pour recruter cinq autres professeurs. Ajoutés aux chercheurs actuels, ils formeront un groupe de 50 professeurs travaillant dans le domaine de la bioénergie. Grâce à un appel d'offre interne qui a compté sur la participation d'un conseil externe pour évaluer les propositions, nous avons la possibilité d'embaucher des techniciens de niveau supérieur pour soutenir les activités de groupes de recherche ayant une solide réputation dans leur spécialité et une capacité reconnue de captation de financement. 45 embauches ont été autorisées pour des groupes soutenus par

des projets thématiques, INCTs, Multiusagers et collaboration internationale. Finalement, nous avons lancé les Laboratoires Intégrés de Recherche (LIP) qui hébergeront les recherches de nature interdisciplinaire. Cette structure accueillera des chercheurs durant une période déterminée pour développer des projets financés par des bailleurs de fonds externes. Nous avons également lancé deux appels d'offres en infrastructure, pour rénover des laboratoires de recherche. L'Unicamp a été pionnière en mettant en place une unité de soutien au chercheur, visant principalement à aider le chercheur pour les prestations de compte des projets afin de l'exonérer de l'obligation plus administrative. Nous avons aujourd'hui cinq employés travaillant sur place et deux autres dans des unités qui ont une forte demande pour ce type de service et qui, grâce à la captation de financements par projets thématiques de la FAPESP, ont pu faire appel à un employé pour la gestion de ces projets.

Le soutien est attelé à la capacité de capter des financements ?

Chaque unité peut demander à la Direction de la Recherche le recrutement d'un employé qui fournira des services administratifs dans la gestion des projets à partir de trois projets thématiques. Ceci est lié à la captation de financements. Nous devons avoir une contrepartie à l'investissement qui se fera à travers le paiement de salaires et d'autres avantages. Nous espérons que ceci se développera et que les unités justifieront chaque fois plus les recrutements de ce type de professionnel pour soutenir la gestion des activités.

Comment l'université a-t-elle renouvelé son corps de chercheurs ?

Nous avons eu une forte hausse en matière de recrutement des professeurs. La prévision pour l'année prochaine est de recruter 75 nouveaux professeurs. Il faut leur offrir les conditions nécessaires pour commencer leurs activités, pour qu'ils puissent monter leur groupe, capter des financements et attirer les étudiants. Nous avons une petite aide initiale qui s'élève à pratiquement 50 mille reais par professeur. Il peut déjà solliciter 15 mille reais de ce montant total dès qu'il soumet sa demande d'aide à la recherche à des agences de financement national ou international. Cette somme sert à adapter le local de travail, acheter des équipements, des réactifs, etc. Si cette aide est approuvée, il a aussi droit à une bourse de master. Un jeune professeur a souvent des difficultés pour attirer des apprenants car il est encore en train de construire sa réputation universitaire. Cela l'aide à être sûr qu'il pourra compter sur un élève de master. Nous avons également aujourd'hui environ 1.500 boursiers en initiation scientifique. Si ce jeune chercheur associe à cette aide initiale certains boursiers en initiation scientifique, il peut en un ou deux ans constituer un petit groupe de chercheurs qui pourra se consolider et attirer d'autres chercheurs.

Comment se déroulent les efforts pour attirer des professeurs étrangers ?

Bien que l'Unicamp ait été créée grâce à un fort apport d'expériences internationales, au fil des ans et pour divers motifs, cette situation s'est inversée. Ceci est un portrait du système national du 3ème cycle. Une des initiatives lancées est de chercher à attirer les professeurs étrangers. Un brésilien installé à l'étranger ou un étranger qui souhaiterait venir à l'Unicamp peut être indiqué par une unité d'enseignement et de recherche dans le programme professeur visiteur. La seule obligation pour cette unité est qu'avant la fin de la deuxième année, un concours soit ouvert dans le domaine de spécialisation de ce professeur, car le fait qu'il soit invité signifie qu'il s'agit d'un domaine stratégique. Si l'unité a besoin d'un spécialiste en systèmes numériques, elle peut inviter un bon chercheur dans ce domaine pour qu'il reste durant deux ans. Cela lui permet de bien connaître notre système universitaire et nous permet de bien le connaître et il peut ensuite participer au concours à la fin de cette période. Nous avons actuellement 11 professeurs dans ce programme. Sept sont étrangers et quatre sont des brésiliens qui étaient à l'étranger et qui sont revenus. Nous nous servons également de ce budget pour financer la visite de courte durée, entre 15 et 60 jours, de chercheurs étrangers réputés dans leurs domaines afin d'accélérer le processus d'insertion de nos jeunes professeurs dans des collaborations internationales. Les professeurs dont les propositions sont approuvées reçoivent des financements pour visiter le laboratoire partenaire à l'étranger durant la même période temps. Dans les deux cas de figure, il est prévu qu'un étudiant en doctorat ou post-doctorat puisse visiter le laboratoire partenaire.

Pourquoi les classements des performances universitaires sont tant importants pour les universités? Que fait l'Unicamp pour améliorer les performances ?

L'Unicamp est une université de taille moyenne, dont la vocation est la recherche de qualité. Nous avons environ 30 mille étudiants. Nous ne prévoyons pas de devenir une université de plus de 40 ou 50 mille étudiants. La production scientifique augmente de manière naturelle, mais il n'y a aucune indication nous permettant de dire que l'université sera plus grande que ce qu'elle est. En regardant le classement, on se demande s'il mesure la qualité ou la quantité de production de l'université. Quel que soit le paramètre utilisé, l'Unicamp est l'une des meilleures universités brésiliennes, il suffit de comparer les nombres de cours de troisième cycle avec des notes 6 et 7 délivrées par la Capes, la production universitaire par professeur, la demande pour suivre un enseignement de troisième cycle ou la recherche de cours universitaires de base. Nous encourageons les unités à dialoguer avec des institutions étrangères réputées. Différents workshops ont été et seront réalisés avec des universités de renommée internationale. Nous espérons que cela pourra créer des liens plus durables. Envoyer un étudiant à l'étranger pour 6 mois et le faire revenir ne nous intéresse pas. Ceci ne change pas la perception de la communauté scientifique par rapport à l'Unicamp. Il faut que nous nous engagions dans de grands projets et collaborations et que nos travaux gagnent plus de visibilité.

J'aimerais que vous me parliez de votre trajectoire, vos trois périodes à l'étranger...

J'ai suivi un post-doctorat de deux ans à l'Université de Californie, à Berkeley, et j'ai ensuite fait deux séjours de courte durée en tant que professeur visiteur en Allemagne et en Angleterre. J'appartiens à une génération pour qui un un post-doctorat à l'étranger était obligatoire.

Toute la communauté universitaire attendait qu'après le doctorat vous alliez dans une université réputée à l'étranger, pour revenir ensuite et établir votre propre ligne de recherche. J'ai reçu l'aide de mon conseiller de doctorat, Albert Kascheres, nord-américain, pour choisir les bons groupes à l'étranger. J'ai eu la chance d'aller dans un groupe qui se distinguait dans mon domaine qui est la synthèse organique. J'ai pu apprendre, revenir au Brésil et monter un laboratoire de synthèse asymétrique et de produits naturels. Jusqu'à cette époque il n'y avait pas d'efforts importants qui se concentraient sur la synthèse des médicaments dans le domaine agricole et alimentaire. Ma trajectoire commence en 1973. Après quatre ans d'études universitaires et quatre ans de doctorat je suis allé à l'Université de Californie, à Berkeley. Je suis revenu à la fin de l'année 1984 et 1985 fut ma première année ici en tant que chercheur indépendant. Il s'agit de 27 ans de travail en chimie organique, plus 40 étudiants de troisième cycle formés et plus de deux dizaines d'élèves en initiation scientifique. J'ai eu également des expériences administratives en tant que directeur de l'Institut de Chimie et maintenant en tant que Directeur de la Recherche.

J'aimerais parler de votre contribution en tant que chercheur. Votre domaine est la chimie organique. D'où vient cet intérêt ?

J'ai une formation de chimiste et ma spécialisation c'est la chimie organique. C'est elle qui s'occupe de la transformation de la matière organique simple en produits plus complexes. J'ai débuté mon doctorat en étudiant certaines réactions de cycloaddition qui est une famille importante de réactions organiques, l'étudiant d'un point de vue méthodologique, et étudiant dans quelle situation elle aurait lieu et comment elle se déroulerait. Au cours du post-doctorat, je me suis mis à étudier la synthèse, la préparation en laboratoires de produits naturels, les substances chimiques trouvées dans la nature, et qui ont une certaine utilité pratique, mais qui ne peuvent pas être extraite de la nature dans la quantité voulue. À titre d'exemple, on peu citer les médicaments. De nombreux médicaments sont inspirés de produits naturels, mais la nature de peut pas offrir la quantité voulue pour traiter un grand nombre de personnes. C'est là qu'entre la synthèse organique, car elle produit en laboratoire ce que la nature a mis des milliards d'année à produire dans une quantité permettant au plus grand nombre d'y avoir accès. J'ai fait mon post-doctorat dans le domaine de la synthèse de l'antibiotique érythromycine qui à l'époque était le saint graal de la synthèse organique, une structure des plus complexes qu'on pouvait synthétiser et produire en laboratoire. Quand je suis revenu au Brésil, j'ai appliqué la méthodologie dans un domaine différent, relatif aux phéromones, substances que les insectes utilisent pour communiquer entre eux. De nombreuses phéromones ont une importance directe dans l'agriculture. À cette époque, les substances n'étaient pas aussi complexes que celles que j'avais étudiées durant mon post-doctorat. Les conditions structurelles que nous avions me permettaient d'appliquer cette connaissance dans un domaine moins complexe mais non moins important car ces substances sont utilisées pour le contrôle des ravageurs. À mesure que les conditions de recherche s'amélioraient, j'ai commencé à travailler davantage dans la synthèse des médicaments et des produits naturels plus complexes, outre les méthodes catalytiques pour la synthèse de produits naturels. Aujourd'hui, je me concentre sur la combinaison de mes compétences en synthèse organique et la partie chimie médicale. Je collabore avec différents groupes pour que ce que je produis en laboratoire puisse être testé par rapport à différentes activités biologiques, comme l'activité anticancéreuse.

La synthèse organique produit en grande quantité ce que la nature a mis des milliards d'année à créer

Vous avez deux projets sur le cancer, n'est-ce pas ?

J'utilise actuellement une méthodologie visant à réunir différents domaines de la connaissance à la recherche de nouvelles structures qui puissent interférer dans le métabolisme des cellules du cancer. Nous avons plusieurs collègues qui s'occupent de la partie synthèse des nouvelles molécules, des groupes qui traitent de la partie biologie structurelle, de l'activité enzymatique, des études pharmacologiques etc. Enfin, il y a différentes compétences qui travaillent ensemble pour que notre travail ne se contente pas seulement de la production d'une nouvelle molécule, mais qu'il puisse évaluer également son potentiel et, à partir de là, redessiner de nouvelles substances plus efficaces que celles que nous avons observées. Il s'agit d'une interface entre la chimie organique, la chimie médicale et un domaine appelé biologie chimique et qui consiste à utiliser des outils chimiques pour comprendre les processus biologiques. C'est l'évolution naturelle de quelqu'un qui a commencé par étudier les processus de base, peu à peu s'est orienté vers la synthèse de produits naturels plus complexes, pour déboucher ensuite sur l'application de cette expertise et collaborer avec des groupes qui peuvent évaluer l'activité biologique de ce composé. Aujourd'hui, on ne peut déjà plus imaginer que nous puissions développer de nouvelles molécules sans évaluer leurs retombées, soit comme nouveaux matériaux, soit comme agents antiparasitaires, ou autres. ■

L'art de brûler les étapes

Fabrício Marques

PUBLIÉ EN MARS 2013

La microbiologiste Maria José Soares Mendes Giannini coordonne depuis 2009 un ensemble d'initiatives afin d'élever la qualité de la recherche au sein de la jeune Universidade Estadual Paulista (Unesp). À la tête de la Direction de la Recherche de l'institution depuis ces quatre dernières années, elle a coordonné différentes initiatives qui ont permis d'augmenter le nombre de projets thématiques de 130%, d'élever la captation des financements à des niveaux inédits et de faire croître de 42% la production d'articles scientifiques. Elle a recouru à un ensemble de stratégies pour lutter contre les déséquilibres naturels d'une institution qui possède des campus répartis dans 24 villes. L'une des méthodes utilisées a été de réunir les efforts de différents chercheurs autour de projets plus solides. L'autre a été d'encourager la coopération internationale de la science produite par l'université, en incitant les professeurs à publier leurs travaux dans des revues réputées et en invitant des chercheurs étrangers. Elle a également créé des bureaux de soutien au chercheur dans chacune des unités de l'Unesp, exonérant les professeurs des tâches bureaucratiques liées à la prestation de comptes de leurs projets. Ces bons résultats lui ont permis de prendre ensuite les rênes de la Direction de la Recherche pour les quatre prochaines années, durant la toute nouvelle gestion du Président de l'université Julio Cezar Durigan.

Née au Portugal, Maria José vit au Brésil depuis l'âge de trois ans. Toute sa formation en microbiologie et en immunologie s'est faite à l'Université de São Paulo, capitale de l'état, avec des stages de courte durée à l'étranger. En 1983, une invitation pour travailler à la faculté de Sciences Pharmaceutiques d'Araraquara de l'Unesp, institution qui vient de fêter ses 90 ans, l'a emmené au cœur de l'état, où elle fut, à la fin des années 90, l'un des artisans de l'implantation d'études universitaires de troisième cycle en analyses cliniques. «En moins de 10 ans nous avons réussi à sortir d'un cours non reconnu vers un concept 6 (niveau d'excellence) de la Capes. «Ce fut un grand travail», se rappelle-t-elle. Mariée, mère de 2 enfants, l'un adulte et l'autre adolescent, Maria José partage son temps entre son bureau dans la capitale où elle se rend du lundi au jeudi, et Araraquara, du vendredi au dimanche, où se trouve son laboratoire et où elle habite avec sa famille. Chaque année elle visite toutes les unités de l'Unesp. «C'est important pour que tous les chercheurs se sentent soutenus et que nous puissions être à leur écoute». Elle maintient également un contact continu grâce à l'appareil de visioconférence qui se trouve à côté de sa table. Elle est membre du Conseil Supérieur de la FAPESP depuis 2010. Ci-dessous, les principaux extraits de son entretien:

Comment coordonner les efforts de recherche dans une université qui a des campus répartis dans 24 villes ?

La Direction de la Recherche est récente à l'Unesp. Elle a commencé au cours de la gestion du professeur Marcos Macari (Président de l'université entre 2005 et 2008). Le professeur José Arana Varela a été le premier Directeur de Recherche et j'ai ensuite assumé le poste. Nous en sommes à la troisième direction. L'Unesp est une université de recherche, bien qu'elle soit également forte en termes d'enseignement et d'activités complémentaires. Mais elle possède une caractéristique singulière: c'est l'université de tout l'état de São Paulo. Nous sommes la plus grande université *multi campus* du pays, et peut-être du monde. Si vous dessinez un cercle de 100 kilomètres autour de chacune de ces 24 villes, vous compléterez la carte de l'état de São Paulo. Nous avons aujourd'hui une science de qualité dans les moindres recoins de cet état et il est fondamental qu'il en profite. Nous faisons face, bien sûr, à des asymétries et le Directeur de la Recherche de l'Unesp doit essayer de les surmonter.

La recherche à l'Unesp a commencé de manière plus forte dans des unités traditionnelles comme le campus d'Araraquara. Comment disséminer un même modèle dans toutes les unités ?

Les Facultés de Pharmacie et d'Odontologie qui viennent d'avoir 90 ans cette année vivaient déjà un processus incluant la recherche, à l'instar de

SPÉCIALITÉ Mycologie

FORMATION
Université de São Paulo (USP)

INSTITUTION
Faculté de Sciences Pharmaceutiques d'Araraquara Universidade Estadual Paulista (Unesp)

PRODUCTION SCIENTIFIQUE
117 articles scientifiques, 10 chapitres de livres. Elle a orienté 27 élèves de masters, 15 de doctorat et 26 d'initiation scientifique. Elle a supervisé 7 stages de post-doctorat

LÉO RAMOS

l'ancienne Faculté de Philosophie, de Sciences et de Lettres d'Araraquara (FFCLA), aujourd'hui Institut de Chimie et Faculté de Sciences et de Lettres. Mais ce n'est pas seulement là-bas que nous avons commencé de manière plus forte car nous l'avons également fait dans le domaine agraire à Jaboticabal. Si vous regardez le pourcentage de recherches menées dans notre université en sciences agraires, vous verrez que le nombre est très significatif, incluant également d'autres unités. Les Instituts de Chimie, de Physique Théorique, de Biosciences de Botucatu, à Rio Claro, font partie des unités dont les recherches sont les plus internationalisées. Au début, en 1976, 14 campus ont été créés, 10 de moins qu'aujourd'hui. L'université a aujourd'hui 36 ans et, au fil du temps, d'autres unités ont été créées. Même les plus récentes mènent déjà des recherches de qualité et offrent des programmes d'études de troisième cycle. Nous avons des professeurs étrangers qui travaillent à Ilha Solteira, à São José do Rio Preto et dans différentes autres unités. Si nous n'avions pas une université publique de qualité, combien d'étrangers attirerions-nous pour mener des recherches de pointe ? L'évolution de cet historique est croissante et, en 2005, nous avons vécu un tournant décisif. Nous avions cartographié les groupes de recherche, les types de publication et les périodiques dans lesquels nous publiions et nous avions détecté beaucoup de problèmes. Aujourd'hui non. Nous avons une recherche renforcée, croissante et ascendante, contribuant avant tout au développement de la science et de la technologie dans le pays. Ces quatre dernières années, nous avons recruté quatre mille professeurs, plus de 60 chercheurs, plus de 30 postes de niveau supérieur ont été créés pour répondre à la demande en termes de grands équipements et ce contingent de personnes hautement qualifiées va consolider la recherche de l'Unesp. Notre principal objectif aujourd'hui est d'internationaliser chaque fois plus la recherche pour la rendre plus contemporaine, avec un impact national et international. Nous faisons en sorte de devenir des agents actifs de la promotion du développement scientifique et technologique de l'état et du pays pour le transférer à la société.

Pourriez-vous citer des données concernant cette évolution ?

Je vais comparer 2007 et 2011, car les données de 2012 ne sont pas encore totalement consolidées. Si nous comparons les deux périodes quadriennales, nous avons une augmentation de 42% de la production scientifique dans la base de données ISI, de Thomson Reuters. C'est bien significatif. L'un des objectifs de la Direction de la Recherche, quand nous l'avons assumé, était de compléter et de réunir les compétences pour construire une science de qualité, renforçant ainsi les capacités institutionnelles autour de propositions novatrices. À cet effet, nous avons réalisé une série de séminaires et de *workshops* thématiques en invitant différentes universités étrangères et brésiliennes. Les discussions ont été menées pour promouvoir une avancée sur des thèmes liés à la frontière de la connaissance et conformément au calendrier national. Des groupes de recherche issus de différents domaines ont participé aux discussions au cours de ces rencontres. Ainsi, nous bénéficions d'une science plus transversale, inter, multi et transdisciplinaire. Les différents regards produisent de la qualité, une vision différente qui n'est pas toujours exploitée par des groupes focalisés sur une seule discipline. C'est ce que nous essayons de faire ici à l'Unesp. Le principal enjeu, lié à l'éloignement entre les divers campus, est de transformer des groupes isolés en groupes qui s'insèrent davantage dans l'Unesp elle-même et en dehors d'elle. Nous avons des groupes très forts, comme ceux dans le domaine des matériaux céramiques et de la nanotechnologie, ceux des produits naturels, le noyau informatique scientifique, le Grid Unesp qui développe un excellent travail international et qui répond également à l'université elle-même. Nous avons des groupes coordonnant les programmes Cepid de la FAPESP, les Instituts Nationaux de Sciences et de Technologie, à l'instar de celui lié aux relations internationales, et les instituts de nanotechnologie et de physiologie comparée. Nous avons aussi l'Institut Confúcio, considéré comme étant le meilleur du monde. Nous avons des groupes consolidés et notre travail est de faire en sorte que davantage de groupes se distinguent dans leur domaine de connaissance.

Un de vos soucis a été d'augmenter la production en ingénierie et en sciences humaines, pour qu'elle soit comparable à celle des sciences du vivant. Où en êtes-vous dans cette démarche ?

Les sciences du vivant sont fortement incluses et représentent pratiquement 70% de la production de l'Unesp. Les deux domaines qui présentaient un grand déséquilibre étaient ceux du génie et des sciences humaines. Nous avons alors créé les projets Renove Ingénieries et Renove Sciences Humaines. L'objectif n'était pas seulement de fournir des financements à travers l'appel d'offre, mais que ces projets réunissent les compétences dans ces différents domaines. Je pense que nous avons déjà obtenu un retour positif. Des forums d'ingénierie et récemment de sciences humaines ont été montés pour créer des liens de coopération et des liens avec l'innovation. Onze cours de génie ont été créés dans notre université. Trois cours ont déjà été lancés, celui du génie environnemental, à São José dos Campos, et ceux des bio-processus à la Faculté de Pharmacie et de génie chimique à l'Institut de Chimie d'Araraquara. Certains sont encore en cours d'implantation et sans aucun doute contribueront à augmenter les ressources humaines spécialisées sur des bases plus technologiques qui sont nécessaire à l'état et au pays.

Les chercheurs sont réceptifs à ces initiatives ?

Oui, ils sont réceptifs. Les forums ont compté sur un grand nombre de participants et ils ont été justement réalisés pour localiser et reconnaître les compétences existantes dans les universités mettant l'accent sur les grands domaines de la connaissance. Ces actions ont favorisé les incitations et le parrainage pour la publication de différents livres électroniques (*e-books*), dans les séries, Enjeux Contemporains, domaine des sciences humaines et des frontières, dans des domaines de la connaissance d'intérêt national comme la nanotechnologie, la bioénergie, les produits naturels, les aliments, la sécurité alimentaire et autres, pour diffuser de manière plus efficace les travaux des grands groupes de recherche. Mais on s'est aperçu qu'il fallait d'autres actions et nous avons élargi le programme Renove en impliquant davantage de groupes de l'université qui étaient avant exclus

du processus de recherche. Il y a en effet un contingent de professeurs qui se sont tournés précocement vers la gestion et qui n'ont pas mené de carrières liées à la recherche. Nous avons alors décidé de lancer le programme multidisciplinaire Renove Geral pour attirer les professeurs qui se trouvent en dehors de la logistique de soutien. Une évaluation est réalisée et outre les financements alloués, une bourse d'initiation scientifique est également fournie, tout cela pour qu'ils se remettent à faire des recherches, à publier et à s'engager dans une ligne de recherche et de programmes de troisième cycle.

Le nombre de projets thématiques approuvés a augmenté. Dans quelle proportion ?
Le nombre de projets thématiques a augmenté de près de 130%. En termes de montants financiers, la croissance a été de près de 340%. Nous savons que la recherche a besoin de ressources humaines qualifiées et d'une bonne infrastructure en matière de recherche. Pour cela, nous avons obtenu des financements très significatifs de la FAPESP dans le Programme Équipements Multi-usagers, de la Finep dans l'appel d'offre infrastructure (augmentation de 340%), de la Capes et du CNPq. L'infrastructure de la recherche s'est améliorée et nous avons aujourd'hui beaucoup de *facilities*, beaucoup de nouvelles constructions, de nouveaux laboratoires. Il a fallu créer de nouveaux espaces et réunir les compétences nécessaires pour que la recherche puisse se développer. C'est à cet effet qu'ont été institutionnalisés les instituts spéciaux avec la présence de chercheurs provenant de différents campus. Quatre instituts spéciaux ont été approuvés par des organismes collégiaux. L'un est l'Institut de Bioénergie dont le siège est à Rio Claro mais associé à huit autres laboratoires, créé avec les autres universités publiques pauliste et également lié au Centre Pauliste de Recherche en Bioénergie. Un programme de troisième cycle conjoint à trois universités a été créé, ce qui est fantastique en termes d'expérience. L'Institut de la Mer a été créé à São Vicente, réunissant les compétences de différents campus. Il y a un groupe fort à Rio Claro dans le domaine de la géologie, nous avons là-bas le Centre de Géosciences Appliquées au Pétrole (Unespetro), fortement lié à Petrobras. Nous avons aussi l'institut de Biotechnologie à Botucatu, qui abrite également l'animalerie centrale et dans lequel collaborent d'autres groupes, issus de différents campus, sur différentes thématiques. L'Institut des Politiques Publiques et des Relations Internationales, qui se trouve aujourd'hui sur la place de la Sé [N.T. : à São Paulo], a été également créé. Il offre des cours de troisième cycle et la possibilité d'avoir un espace capable de répondre aux calendriers actuels et aux mouvements futurs, et avec l'objectif de se transformer en noyau de diffusion de l'université, grâce à des débats plus larges. Les financements très significatifs, pour la création de ces instituts, sont venues par le biais de projets soumis et approuvés par le Ministère des Sciences de la Technologie et de l'Innovation, du Secrétariat de Développement Économique des Sciences et de la Technologie de l'état de São Paulo; de la Banque Santander, de la Finep; et de l'université elle-même, qui a fortement investit pour adapter les espaces aux nouvelles exigences d'une université d'enseignement et de recherche contemporaine.

Il ya une donnée importante qui est la formation des docteurs.
Nous sommes la deuxième université du monde en nombre de docteurs formés, environ mille par an. Il y a en première place l'USP, ensuite nous, puis l'Unicamp et des universités étasuniennes.

Les programmes de troisième cycle ont un lien très fort avec la recherche. Comment se déroule cette interaction à l'Unesp ?
Le nombre de cours a augmenté. Il y a plus de 90 doctorats, plus de 100 masters, totalisant 122 programmes de troisième cycle. En nombre de cours, c'est la deuxième université brésilienne. La qualification des programmes est en hausse croissante avec des notes 5, 6 et 7 délivrées par la Capes. Nous voulons plus, ce qui sera naturel au fur et à mesure que la recherche des divers groupes avance.

Quel est l'impact de la recherche de l'Unesp pour le développement du Brésil profond ?
Il y a quelques années, l'étude d'un groupe dans le domaine économique a montré que nous contribuions énormément à l'économie locale dans les villes où se trouvaient des unités de l'Unesp. Mais je pense que nous pouvons contribuer encore plus, et le directeur des activités complémentaires, la vice-présidente et nous-mêmes travaillerons pour que l'Unesp s'intègre davantage dans les villes et développe des partenariats avec les mairies dans des programmes complémentaires que nous menons déjà et qui pourront également déboucher sur des recherches véritablement novatrices. Nous avons des unités dans des villes très riches, comme Araraquara, et dans des endroits où nous savons que l'IDH est très bas, comme Vale do Ribeira où nous sommes en train de créer un cours d'ingénierie de la pêche, en partenariat avec la mairie. Les mairies réalisent également un grand travail avec l'Unesp dans diverses villes pour que la science soit présente à ces endroits.

Quelle est la situation de l'Unesp dans les classements internationaux ?
Nous avons attirés l'attention à ce sujet à partir du Plan de Développement Institutionnel durant la gestion du Président de l'Université Herman Voorwald, en 2009. L'objectif établit dans la planification stratégique de l'université est de faire partie des 200 meilleures universités du monde. Nous avons ainsi un objectif et nos actions soutiennent cette démarche.

Quelle est l'importance d'avoir un objectif de cette nature ?
Cela nous aide évidemment beaucoup. Je plaisante dans mes présentations en disant que dans certains classements nous y sommes arrivés. Par exemple, dans le classement de SCimago nous sommes à la 174ème place, nous sommes la troisième université brésilienne et la cinquième ibéro-américaine. Il nous faut encore gagner des places par rapport à d'autres universités. Nous avons 36 ans, et un classement qui en dit long sur la jeunesse de l'Unesp est celui de Times Higher Education pour le classement des meilleures universités qui ont moins de 50 ans. Plus de 2 mille universités sont analysées et nous nous classons parmi les 100 meilleures du monde. Dans le classement QS nous occupons une place assez intéressante, la 17ème d'Amérique Latine, et si nous détaillons

plus la recherche nous occupons la 7ème place. Nous nous sommes beaucoup développés, nous avons brûlé les étapes et cela n'est pas facile à faire en sciences.

Comment brûler les étapes ? Faire appel à des gens de l'extérieur?
Oui. L'idée de créer des instituts spéciaux va dans ce sens. Nous sommes dans une phase de recrutement de chercheurs, car nous avons la carrière de professeur et celle de chercheur. Dans les instituts de recherche il y aura fondamentalement des chercheurs travaillant avec des professeurs et des apprenants. La responsabilité des chercheurs est tournée vers la recherche et la formation de ressources humaines, mais de troisième cycle. L'idée est de faire venir des étrangers dans ces locaux. Nous avons travaillé à l'Institut de la Mer, à l'Institut de Biotechnologie et de Bioénergie, nous avons des coopérations avec des groupes internationaux. L'Institut de la Mer, par exemple, collabore fortement avec l'Allemagne, dans des universités comme Heidelberg et Kiel, également avec l'Université de Porto et en partenariat avec l'Afrique du Sud. Nous avons une coopération avec l'Université de Louvain, en Belgique, avec laquelle nous cofinançons l'envoi et la venue de chercheurs. Nous avons des groupes hautement internationalisés. L'Institut de Physique Théorique (IFT) est le seul en Amérique Latine à héberger une unité du Centre International de Physique (ICTP), organisme de l'Unesco. L'année dernière, ils ont fait venir plus de 80 étrangers de grand renom. L'Unesp s'internationalise de manière croissante sans le domaine des sciences exactes et des sciences biologiques. Même un domaine comme les sciences humaines qui n'apparaissait pas dans les publications internationales commence à être publié. C'est un indicateur de ce que nous sommes en train de faire avec l'Unesp et qui s'appelle une université de classe mondiale.

L'Unesp a créé des bureaux dans toutes ses unités pour aider les chercheurs à faire face à la gestion bureaucratique de leurs projets. Comment s'est déroulé ce processus ?
Ce fut une longue discussion et ce ne fut pas facile. L'idée originale était de mettre un bureau dans chaque campus, mais nous nous sommes aperçus que cela ne donnerait pas de bons résultats, car chaque unité, dans chaque campus, a une manière différente de travailler. Nous avons alors créé un bureau de recherche dans chaque unité et dépendant de celle-ci. Nous embauchons actuellement un employé dans chaque bureau pour exonérer le chercheur des tâches liées à la prestation de comptes. Dans certaines unités nous avons réalisé une deuxième embauche basée sur différents indicateurs, principalement celui de l'internationalisation, pour répondre justement à ceux qui font de la coopération internationale, réalisent des projets thématiques et des *workshops* internationaux. Nous aurons également un troisième employé qui sera recruté pour travailler avec l'innovation. L'idée est de faire le lien entre chercheurs et entreprises dans un même bureau.

Comment cela fonctionnera-t-il ?
Il y aura un local pour recevoir les entreprises et collaborer avec elles. Ainsi nous complétons l'idée que je me fais d'un bureau et qui est de répondre aux domaines de la recherche, de l'internationalisation et de l'innovation. Il faut aider le chercheur et travailler à la captation de financements.

Vous commencez maintenant une nouvelle gestion de quatre ans. Quels sont les objectifs et les nouvelles demandes ?
Nous travaillons déjà sur différents aspects, mais nous allons élargir nos actions en faveur d'une plus grande inclusion des professeurs récemment embauchés et qui sont l'avenir de l'université. Nous sommes en train de travailler fortement pour qu'ils aient une bonne infrastructure, s'insèrent dans des groupes forts de recherche et créent des lignes de recherche novatrices. Nous avons un appel d'offre spécial destiné aux premiers projets et nous allons maintenant l'élargir. Nous allons travailler dans des domaines qui, bien qu'ils produisent beaucoup, ne sont pas très internationalisés. Ainsi nous les encouragerons à se focaliser sur cet aspect. Un autre point concerne l'innovation, qui est l'interaction entre l'université et l'entreprise. Comme ce lien existe déjà dans différentes villes de l'état de São Paulo qui disposent de pôles technologiques, nous allons développer une plus grande collaboration avec les mairies pour pouvoir créer et consolider les noyaux technologiques.

Pour parler de votre carrière, votre formation a eu lieu à l'USP...
Oui. Je me suis formée en pharmacie et biochimie et j'ai commencé à travailler durant ma première année d'étude de troisième cycle. Mon premier emploi a été dans un laboratoire de la mairie et j'ai travaillé ensuite au laboratoire Fleury, où j'ai beaucoup appris, mais je ne voulais pas travailler de manière routinière. Je suis allée à la Faculté de Médecine de l'USP, dans laquelle j'ai travaillé pendant 10 ans à partir de la quatrième année de faculté, travaillant en mycologie médicale et qui consiste en l'étude de champignons d'intérêt médical, matière encore non étudiée dans mon cours. J'ai travaillé avec Carlos da Silva Lacaz, un des grands spécialistes des champignons, un grand maître et un humaniste. J'ai découvert que j'aimais la recherche et le professorat et aussi d'avoir un nouveau défi à relever chaque jour. Je pense que la recherche c'est ça, découvrir un nouveau chemin dans chaque résultat. J'ai rencontré différentes personnes qui ont été très importantes, de grands maîtres en mycologie et en immunologie, comme les professeurs Antônio Walter Ferreira, mon conseiller de master et de doctorat, Mario Camargo, de l'Institut de Médecine Tropicale, Vera Calich, de l'ICB, qui m'a beaucoup encouragée. Quand j'ai choisi le thème de mon travail je me suis aperçue que je ne voulais pas faire de mycologie classique car je commençais à me passionner pour l'immunologie. J'ai commencé à mener des recherches sur le diagnostic sérologique de la paracoccidioïdomycose, maladie importante en Amérique Latine. J'ai développé des marqueurs, des réactifs et des méthodes encore non appliquées à cette maladie comme la recherche d'antigènes dans la circulation sanguine des patients. De cette manière on pourrait donner un diagnostic et commencer le traitement de manière précoce. J'ai eu comme conseillères la professeur Aoi Massuda et la professeur Maria Aparecida

Shikanai Yasuda, nous avons eu deux articles importants publiés à ce moment là, fruit de mon doctorat. Quand j'ai conclu mon doctorat, j'ai été invité par la Faculté de Pharmacie d'Araraquara. Ce fut un grand défi à relever car, à São Paulo, je circulais aisément entre la Faculté de Médecine et l'Institut de Médecine Tropicale et j'ai défendu une partie de ma thèse à l'Institut de Sciences Biomédicales où viendrait le professeur Erney Camargo. J'avais différents laboratoires avec une grande infrastructure pour l'époque. Il y avait un cours de mycologie clinique à la Faculté de Pharmacie d'Araraquara mais pas de recherche menée dans ce domaine. J'ai accompagné la structuration de la recherche à l'Unesp depuis 1983. La professeur Deise Falcão, microbiologiste, connaissait ma spécialisation et bien qu'elle soit bactériologiste, m'a appelé pour travailler sur un projet de grande envergure financé par la Finep. Ce vécu avec la bactériologiste m'a montré que je ne voulais plus continuer à mener des recherches sur le diagnostic. J'ai suivi des stages de courte durée à l'étranger et au Brésil et j'ai commencé à étudier des modèles d'interaction entre le champignon et son hôte. J'ai commencé à implanter des modèles *in vitro*, que j'utilise jusqu'à aujourd'hui, et j'ai contribué à la découverte de molécules qui font le lien entre le champignon et son hôte. J'ai commencé à travailler sur les adhésines, qui sont des molécules d'interaction et nous étudions actuellement les invasines.

Vous avez eu un projet à la FAPESP sur ce modèle...

J'en ai eu plusieurs. J'ai coordonnée un projet thématique avec le professeur Gil Benard et qui est déjà conclu, essayant de réunir les connaissances du modèle *in vitro* avec celui de l'homme, et également un autre projet avec la professeur Célia Maria Soares, de l'Université de Goiás. Nous avons ensuite participé avec elle à un appel d'offre Genoprot de la Finep et plus récemment à un appel d'offre infrastructure financé par la Finep, afin d'implanter les plateformes omiques dans notre laboratoire. Durant mon parcours j'ai eu un grand professeur qui malheureusement est mort l'année dernière, Henrique Lenzi, du département de pathologie de l'Institut Oswaldo Cruz. C'était une personne fantastique en tant qu'être humain, un grand humaniste, un connaisseur de la science. Il nous a beaucoup aidé durant les discussions et l'implantation de nouvelles technologies. Aujourd'hui, compte-tenu du changement du projet pédagogique du cours de pharmacie, une autre ligne de recherche a été implantée, avec un fondement plus technologique. Nous sommes en train de créer une plateforme pour développer des antifongiques et des bioréactifs. Cette plateforme n'a été possible que grâce au soutien des programmes de la FAPESP, comme le programme Biota-Fapesp et le programme Bioprospecta, en collaboration avec les groupes de Chimie de la professeur Vanderlan Bolzani, Maysa Furlan de la professeur Ana Marisa Fusco Almeida, qui est mon assistante, ainsi que d'autres chercheurs. Les choses ont été ardues à construire mais comme j'ai toujours cherché à travailler en collaboration, je n'ai pas rencontré tant de difficultés. Il est important de souligner qu'un an avant de venir à la Direction de la Recherche, j'ai fait appel à une assistante, la professeur Ana Marisa. Sans son aide cette plateforme antifongique n'aurait pas vu le jour. Nous sommes actuellement en train de travailler sur un prototype.

Quel est ce prototype ?

Certaines substances sur lesquelles nous travaillons ont révélé avoir du potentiel dans des essais *in vitro*, et nous nous acheminons vers des essais *in vivo* en utilisant également de nouvelles formulations pour vérifier la possibilité de leur application en tant qu'antifongique. J'espère que ce travail conjoint débouchera sur un produit novateur. Nous nous focalisons également sur les antifongiques antibiofilms microbiens, car les microorganismes sous cette forme sont plus résistants. La formation de biofilms est un modèle classique pour certaines maladies liées à des pathologies où certains champignons et bactéries s'associent à une structure multicellulaire complexe pour faire naître des points de contamination constants. Une matrice se forme et les antifongiques et les antibactériens n'arrivent plus à atteindre les sites d'action. Nous sommes en train d'étudier la formation de biofilms dans des maladies endémiques et nous avons déjà décrit cela dans l'histoplasmose, travail d'une apprenante de la professeur Ana Marisa, et dans la paracoccidioïdomycose, maladie sur laquelle j'ai le plus travaillé depuis que j'ai commencé à étudier à la faculté de Médecine. C'est une maladie négligées parmi les fongiques et qui ressemble à la tuberculose.

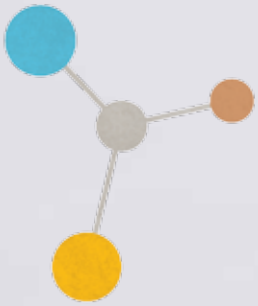
Ce que j'ai construit dans ma carrière de chercheur n'a pas été facile, mais comme j'ai toujours privilégié la collaboration, je n'ai pas rencontré tant de difficultés

La recherche des entreprises pharmaceutiques ne s'y intéresse pas

Les maladies causées par des champignons font généralement partie des maladies négligées. La mycologie est considérée comme étant le parent pauvre de la microbiologie. Vous avez la bactériologie, la virologie et ensuite, la mycologie. Mais elle a pris de l'ampleur compte-tenu d'une plus grande prévalence chez certains groupes de patients, de la plus grande longévité des populations et des maladies immunosuppressives. Vous augmentez les conditions de vie, mais vous ouvrez la possibilité d'installation d'agents dits opportunistes. Nous avons aujourd'hui un nombre croissant de maladies causées par des champignons qui n'avaient même pas été décrits comme agents pathogènes. Ce qui n'est pas le cas du *Paracoccidioides brasiliensis* qui a toujours été considéré comme étant un agent pathogène primaire. Il a été décrit en 1908 par Adolfo Lutz et c'est une des maladies fongiques de grand intérêt pour le Brésil. Nous avons contribué tout d'abord au diagnostic et maintenant nous travaillons principalement avec les adhésines qui nous servent de cibles pour découvrir de nouveaux médicaments. ■

Entre les sucres et les gènes

Une application de la connaissance scientifique sur la canne à sucre pourra permettre le développement de nouveaux outils pour la production d'éthanol



Marcos de Oliveira

PUBLIÉ EN OCTOBRE 2012

Les plus vieux diraient que la canne à sucre est en train de vivre un bouleversement total compte-tenu du volume d'études génétiques, physiologiques et agronomiques dont elle a fait l'objet depuis ces dernières années. Ces études visent à connaître plus profondément la plante et ses particularités afin d'augmenter la productivité de cette graminée apportée au Brésil par les portugais au XVI[e] siècle. L'objectif final est de produire davantage d'éthanol à l'hectare. Ainsi, les recherches menées visent à adapter davantage la canne à sucre à la deuxième génération de production d'éthanol, quand les enzymes vont profiter des sucres récupérés de la bagasse de canne à sucre pour la formation d'une espèce de soupe et produire ensuite plus de biocarburants. Ainsi, des chercheurs appartenant à différentes institutions brésiliennes ont un œil sur la recherche de base et l'autre sur l'avenir du processus industriel de production d'éthanol. L'avancée de la connaissance scientifique dans ce domaine a commencé en 1999 avec le lancement du projet Génome Canne, financé par la FAPESP. Les derniers résultats obtenus confirment que le chaume et les feuilles de la canne à sucre possèdent plus de sucres (substances essentielles pour la production d'éthanol), dans la portion hémicellulose que dans la cellulose, une découverte qui peut changer les orientations de la production d'éthanol de deuxième génération dans l'avenir.

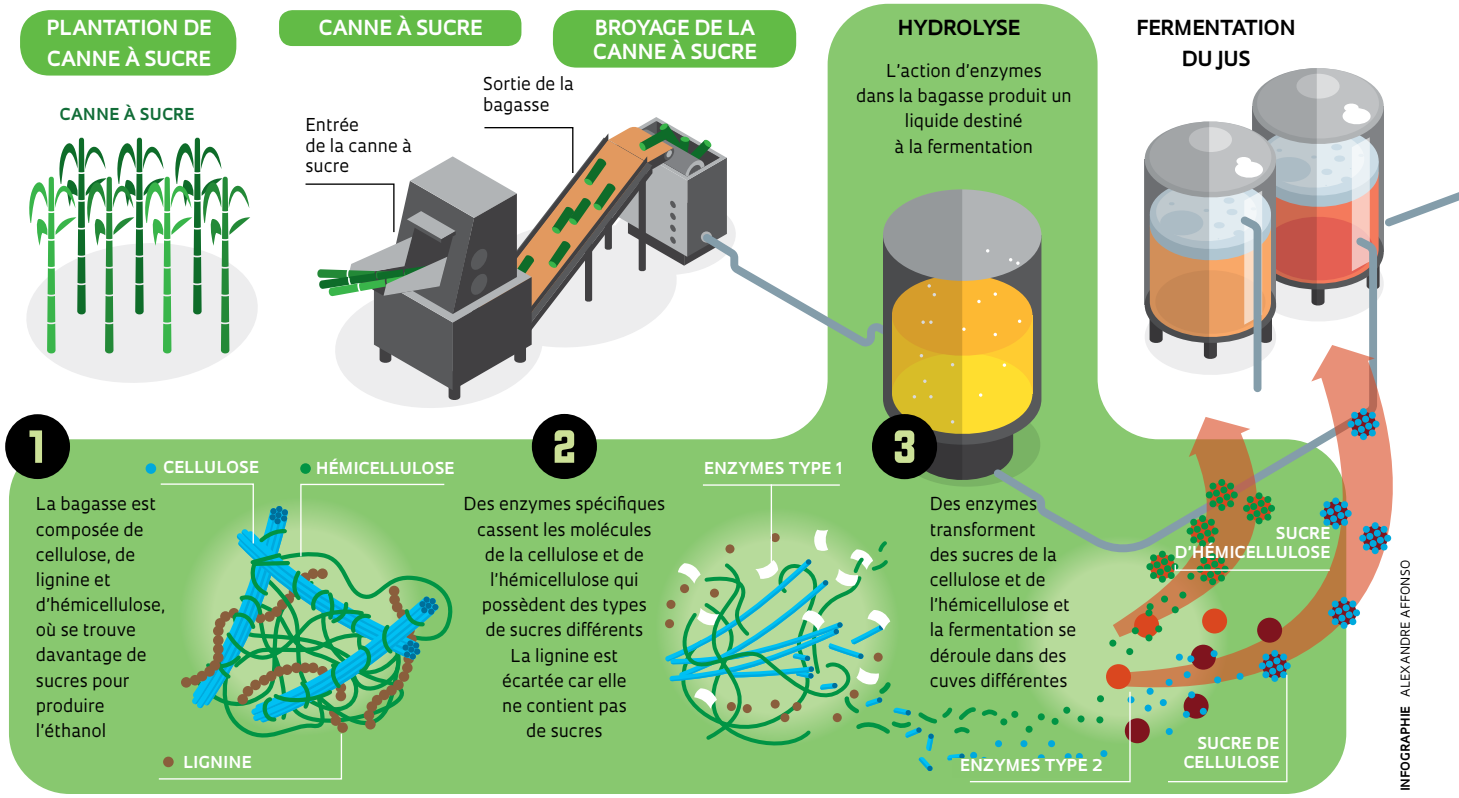
«Nous avons réalisé des études sur la paroi cellulaire du chaume et les feuilles de canne à sucre qui indiquent la présence d'environ 30 % de sucres dans la cellulose, 50 % dans l'hémicellulose, outre 10% de pectines. La technologie qui est en train de se dessiner pour la deuxième génération d'éthanol repose uniquement sur la cellulose, alors que les polymères de sucre des hémicelluloses, qui contiennent des sucres complexes comme les arabinoxylanes, les bêta-glucanes et les xyloglucanes, sont laissés de côté, outre les pectines, qui ensemble représentent 70 % des sucres de la paroi cellulaire de la canne à sucre», déclare Marcos Buckeridge, professeur à l'Institut de Biosciences de l'Université de São Paulo et coordonnateur de l'Institut National des Sciences et de la Technologie (INCT) du Bioéthanol, qui rassemble 31 laboratoires dans cinq états brésiliens. Sur les parois cellulaires de la canne à sucre, les hémicelluloses et les pectines, localisées entre les microfibrilles qui sont des agglomérés de molécules de cellulose, possèdent de nombreux sucres composés de cinq atomes de carbone et pour cela ne sont pas viables pour les levures (*Saccharomyces cerevisiae*) utilisées dans la fermentation du jus de la canne à sucre. Ces levures sont habituées

Pousses de canne à sucre transgénique à l'Institut de Chimie de l'USP

ILLUSTRATION PEDRO HAMDAN **PHOTOGRAPHIE** LÉO RAMOS

L'avenir de la deuxième génération d'éthanol

Après l'utilisation du jus de canne à sucre dans la première génération, on utilise la bagasse et les feuilles dans le processus d'hydrolyse. La fermentation traditionnelle à l'aide de levures qui transforme les sucres en éthanol se déroule dans l'étape finale



INFOGRAPHIE ALEXANDRE AFFONSO

avec le saccharose, formé de glucose et de fructose et trouvé dans le jus de canne ou même dans le glucose de la cellulose et de certaines hémicelluloses, et qui possède six atomes de carbones.

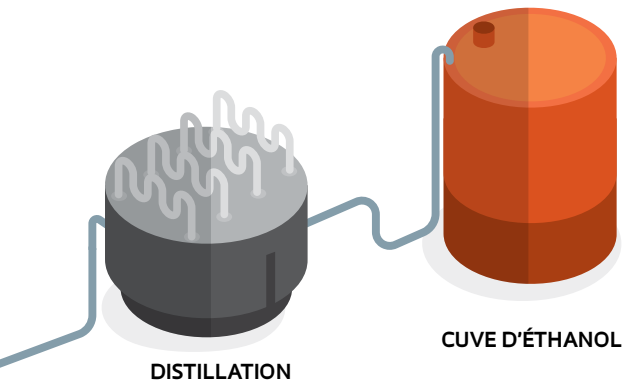
La future exploitation des pentoses de la bagasse par hydrolyse, qui sont des sucres à cinq atomes de carbones, pourrait déboucher sur une augmentation de la production brésilienne d'éthanol de plus de 5 milliards de litres, pour une production actuelle d'environ 25 milliards de litres. Les pentoses pourront également être utilisés dans des applications biotechnologiques, dans des aliments et des médicaments, apportant ainsi une valeur ajoutée à la bagasse. Dans les processus de deuxième génération, les enzymes forment un liquide qui sert également à alimenter les propres levures. «Il y a des tentatives visant à produire des lignées de *Saccharomyces*, y compris au Laboratoire National des Sciences et de la Technologie du Bioéthanol (CTBE), ainsi que dans d'autres institutions et entreprises brésiliennes et étrangères, qui sont capables d'utiliser les sucres à cinq atomes de carbone. Les anglais et les suédois ont déjà démontré que cela était possible, mais tout est réalisé en laboratoire et dans un environnement stérilisé. Ce n'est donc pas encore suffisant pour les usines brésiliennes. Il faut que les levures soient robustes pour survivre

5 milliards de litres d'éthanol supplémentaires sont prévus avec l'utilisation des sucres de l'hémicellulose

à la présence d'autres microorganismes, comme les bactéries, qui existent dans un environnement non stérilisé», déclare Marcos Buckeridge, qui est également directeur scientifique du CTBE, à Campinas, état de São Paulo.

Il y a encore de nombreux doutes, même en ce qui concerne les expérimentations liées à l'étape la plus importante qui est l'hydrolyse de la cellulose. «Il y a déjà une bonne connaissance du processus de prétraitement, mais nous devons encore mener des recherches sur les différentes options nous permettant de réaliser l'hydrolyse de manière à ce que l'industrie puisse l'absorber rapidement et de manière économique et durable», dit le professeur Rubens Maciel Filho, de l'Université Publique de Campinas (Unicamp), l'un des coordonnateurs du Programme FAPESP de Recherche en Bioénergie (Bioen) duquel participe également l'INCT Bioéthanol. «Des évaluations technoéconomiques et de durabilité sont nécessaires. Dans ce cas il s'agit d'analyses sur la consommation d'eau et sur l'utilisation de produits chimiques dans le processus d'hydrolyse», déclare Maciel Filho.

«Aujourd'hui, dans les expérimentations de deuxième génération, la bagasse qui a été séparée, après la première génération quand on extrait le jus de la canne pour faire l'éthanol, passe par un processus



CUVE D'ÉTHANOL

DISTILLATION DE L'ÉTHANOL

de rupture des parois cellulaires pour obtenir la cellulose qui est entourée d'hémicellulose et de lignine, un polymère qui ne possède pas de sucre», dit Marcos Buckeridge. La rupture est actuellement réalisée à l'aide de vapeur à haute pression. Ainsi, la paroi cellulaire de la bagasse se desserre et les composants sont séparés à l'aide de solvants, d'acides et d'enzymes. «C'est l'usage de la force. Un effort est produit pour se débarrasser de tout ce qui entoure la cellulose», déclare le professeur de l'USP. «Notre intention est de commencer le processus d'hydrolyse sur le terrain et de produire de la canne à sucre mieux préparée pour la deuxième génération, pour faciliter l'hydrolyse et pour qu'il ne soit plus nécessaires de laver la bagasse, car cela retire beaucoup de sucre du matériel».

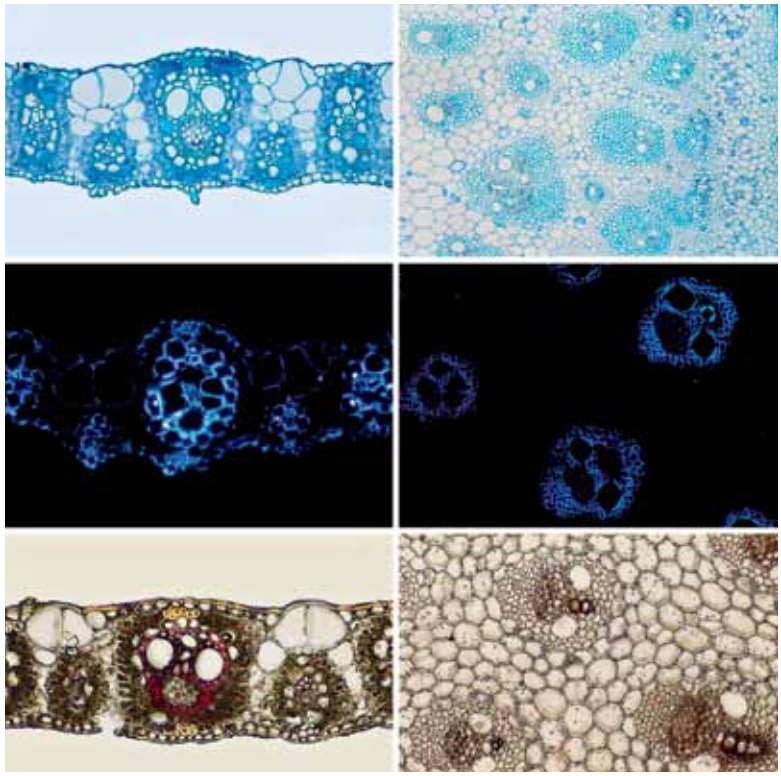
La canne à sucre du futur aurait des caractéristiques similaires à la papaye, qui est plus douce et plus tendre une fois cueillie et avoir mûri

Dans un article qui sera publié dans la revue *BioEnergy Research*, Rubens Maciel Filho, accompagné par deux autres chercheurs de son groupe à l'USP et par deux autres chercheurs du Centre de Carbohydrates Complexes de l'Université de Géorgie, aux États-Unis, décrivent la recherche qui identifie les fractions de chaque polymère de sucre dans la canne à sucre et font des observations sur la complexité de la paroi cellulaire et sur la difficulté de trouver les clés chimiques ou un code qui permettraient de mieux profiter de la chaîne des polysaccharides. Ils pensent également que le résultat de la composition des sucres dans la canne à sucre pourrait amener un changement dans le processus de deuxième génération. En se basant sur les données actuelles, Marcos Buckeridge imagine que la meilleure solution possible pour l'avenir serait d'utiliser la canne entière dans le processus d'hydrolyse après que le jus soit extrait dans la première génération.

«La biologie des parois cellulaires est au cœur de ces avancées et elle est essentielle pour réaliser des progrès technologiques dans le domaine des biocarburants durables et les biomatériaux», commente le professeur Leonardo Gomez, du Département de Biologie de l'Université de York, en Angleterre. Leonardo Gomez, qui est argentin, est venu au Brésil en 2010 pour connaître le CTBE. «Selon de nombreux spécialistes, le développement des biocarburants de deuxième génération est favorisé par une industrie de première génération déjà bien implantée. Le Brésil possède ainsi un environnement propice pour que cela puisse se développer. Mais il s'agit seulement d'un potentiel, quelqu'un doit assumer le risque et investir dans le domaine sur un plan industriel», déclare Leonardo Gomez.

Dans la pratique et pour parvenir à une avancée du processus visant à produire de l'éthanol de deuxième génération, Marcos Buckeridge met en avant un prétraitement physiologique qui laisse la plante plus malléable et qui facilite le traitement durant l'hydrolyse. «Il s'agit d'une substance qui, quand elle est appliquée sur de jeunes plants, inhibe une enzyme de la canne à sucre qui va produire des phénylpropanoïdes, qui sont les précurseurs de la lignine, la substance qui lie les sucres dans la paroi cellulaire et qui favorise la résistance mécanique de la plante. Nous ne savons pas encore vraiment ce qui se produit, mais il a été possible, grâce à ce composé d'augmenter de 30 % le traitement des xylanes, qui représentent 50 % de la composition des hémicelluloses», dit Marcos Buckeridge. L'utilisation de cette substance, composée d'acide pipéronylique de la canne, a été brevetée et déposée par Marcos Buckeridge auprès de l'Institut National de la Propriété Industrielle (INPI) et par son ancien post-doctorant Wanderley dos Santos, professeur à l'Université Fédérale du Paraná (UFPR), qui teste actuellement le produit sur le terrain. «Nous devons encore l'améliorer et essayer d'en réduire le coût», dit Marcos Buckeridge.

Une autre solution pour la deuxième génération est en train d'être élaborée dans le cadre du Bioen, où 13 groupes de chercheurs participent à la création d'une super-canne, avec plusieurs variétés agronomiques et génétiques de haute qualité destinées à la première et la deuxième génération. L'une de ces plantes possède une plus grande capacité de photosynthèse. Les chercheurs ont déjà identifié au moins quatre gènes responsables de la capture de la lumière solaire. Ces gènes pourront être liés à l'augmentation du taux de croissance du nombre de cellules et par conséquent à une hausse de la production de saccharose. La création de plantes transgéniques fait partie des outils biotechnologiques pour la création de cette super-canne. Dans ce cas, le procédé transgénique ne se limiterait pas seulement à l'insertion de gènes externes mais à l'activation ou à la désactivation de gènes de la canne à sucre. «Nous pourrions également créer des plantes avec des parois cellulaires plus adaptées à la deuxième génération», déclare Marcos Buckeridge.



Images microscopiques pour l'analyse des feuilles de canne à sucre (*en haut gauche*) et du chaume (*en haut à droite*). Fluorescence appliquée dans des cellules (*photo du milieu*) et présence de lignine (*en rouge photo du bas*), où il est également possible d'identifier différentes cellules intactes avec un format circulaire et pleines de jus

PHOTOS 1 INCT-BIOÉTHANOL 2 LÉO RAMOS

«Penser de la sorte peut sembler futuriste, mais le Bioen possède des gènes relatifs à la paroi cellulaire transformée, avec lesquels nous pensons faire de la «canne-papaye», par exemple». Cette canne futuriste aurait quelques caractéristiques identiques à la papaye, qui est plus sucrée et plus tendre une fois cueillie et avoir mûri.

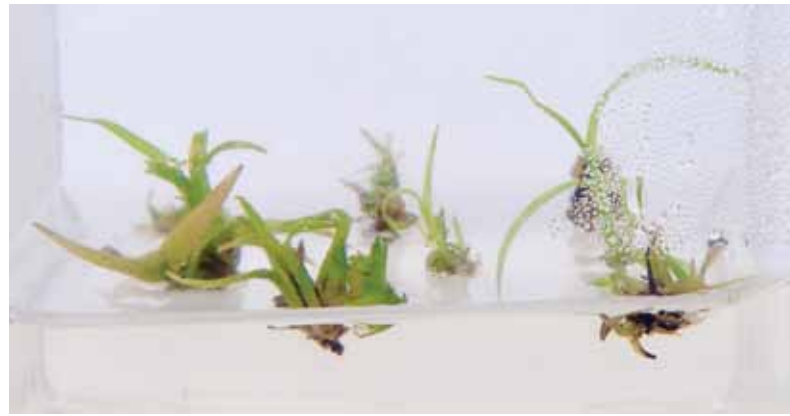
«Nous avons déjà 380 gènes liés au saccharose et plus de mille relatifs à la résistance à la sècheresse», déclare la professeur Glaucia Mendes Souza, de l'Institut de Chimie (IQ) de l'USP, qui avec la professeur Marie Anne van Sluys, de l'Institut de Biosciences de l'USP, dirige la recherche génomique de la canne à sucre dans le cadre du Bioen et qui compte sur la participation du professeur Marcelo Menossi, de l'Institut de Biologie de l'Université Publique de Campinas (Unicamp). 250 de ces gènes sont en train d'être testés sur des pousses de canne à sucre disposées dans des tubes, des cuves et des pots à l'IQ de l'USP ou dans des serres à l'École d'Agriculture Luiz de Queiroz, de l'USP, à Piracicaba, dans des expérimentations coordonnées par la professeur Helaine Carrer, qui analyse l'expression des gènes. L'expression des gènes de la canne à sucre sur du tabac est également testée, il s'agit d'une plante plus facile à manipuler en laboratoire et qui sert de modèle pour ce type d'expérimentation. Deux gènes de la canne à sucre liés à la résistance à la sècheresse ont déjà été exprimés dans le tabac et ont fait l'objet d'un brevet déposé à l'INPI.

Pour transformer la plante avec des gènes d'intérêt il faut des promoteurs nécessaires, des outils biotechnologiques comme des séquences d'ADN où le gène va s'exprimer. C'est dans ces molécules que les chercheurs vont moduler la super-expression ou la désactivation des gènes. «Cette année, nous avons déposé un brevet concernant 10 promoteurs de canne à sucre qui vont permettre l'expression des gènes de manière différente», déclare Glaucia Mendes Souza. En ce qui concerne les parois cellulaires de la canne à sucre, Glaucia Mendes Souza déclare qu'elle a déjà développé des plantes avec des gènes désactivés liés à la production de lignine. «La lignine gêne l'exécution de la deuxième génération car elle complique l'extraction des polysaccharides, mais quand nous désactivons sa production, dans certaines expérimentations, la verse se produit, situation dans laquelle la plante se couche sur le sol. Nous devons trouver des variétés qui nous permettent de trouver un juste milieu, en diminuant la présence de lignine mais en maintenant la plante debout», explique Glaucia Mendes Souza.

A l'autre extrémité de la recherche académique liée à l'hydrolyse se trouvent les études visant à obtenir des enzymes chaque fois plus efficaces pour rompre les parois cellulaires de la canne à sucre, extraire les sucres et préparer le matériel pour la production d'éthanol. Mais quelles enzymes utiliser pour le traitement des différents polysaccharides présents dans la paroi cellulaire de la plante ? Certaines enzymes utilisées par l'industrie alimentaire, par exemple, sont en train d'être testées avec la canne à sucre mais elles ne résolvent pas tout. «Ces enzymes industrielles sont principalement produites par des champignons», explique le professeur Richard Ward, du Département de Chimie de la Faculté de Philosophie, Sciences et Lettres de Ribeirão Preto, à l'USP, et du CTBE, qui a déjà réussi à créer deux enzymes multifonctionnelles agissant sur les hémicelluloses. Il s'agit d'enzymes chimériques produites par des bactéries.

«Nous savons que la cellulose est le composant le plus caché par rapport aux autres polysaccharides présents dans la paroi cellulaire de la canne à sucre et l'enjeu est de créer des enzymes qui détruisent et dégradent, de manière programmée, les autres composants, qui sont également une source importante de sucres, jusqu'à arriver à la cellulose», explique Richard Ward. «Il est important de développer les enzymes les plus appropriées pour chaque polysaccharide. Cependant il est encore difficile de trouver de bonnes enzymes à faible coût. Elles sont aujourd'hui commercialisées à des dizaines de dollars le kilo. Cela peut sembler bon marché mais nous devons penser au traitement de centaines ou même de milliers de tonnes de matériel lignocellulosique par jour dans les usines». Richard Ward explique que l'objectif est de créer des enzymes chimériques, où chacune attaquerait plus d'un polymère de la bagasse de la canne à sucre. «Ceci est important princi-

L'appareil digestif des blattes est l'objet d'études pour trouver des enzymes pour la deuxième génération de production d'éthanol



Pousses transgéniques: outils biotechnologiques où sont utilisées des stratégies d'activation et de désactivation de gènes de la canne à sucre

palement pour les hémicelluloses qui possèdent un ensemble hétérogène de polysaccharides».

De nouvelles recherches menées sur les enzymes sont apparues, inhabituelles mais se basant sur la plus pure observation de la nature. À la recherche d'enzymes qui détruisent la cellulose et le matériel lignocellulosique, comme la bagasse, le professeur Ednildo Machado, de l'Institut de Biophysique, de l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ), étudie la composition enzymatique de l'appareil digestif de deux blattes, *Periplaneta americana*, commun dans les grandes villes, et *Nauphoeta cinerea*, créées pour alimenter des animaux en captivité comme des lézards et d'autres reptiles. «Lors d'expérimentation en laboratoire, j'ai alimenté des blattes avec seulement de la bagasse de canne à sucre et elles ont réussi à digérer les parois cellulaires de ce matériel pour survivre de manière très positive», déclare Ednildo Machado. C'est ainsi qu'il a commencé à penser aux possibles enzymes de l'appareil digestif de ces insectes qui pourraient être utiles dans la deuxième génération de production d'éthanol.

Ednildo Machado a été présenté à Marcos Buckeridge au cours du Congrès Brésilien de Biochimie en 2010 et, à partir de là, ont noué une étroite relation. Il était présent au CTBE, et diverses expérimentations ont été réalisées. «Nous avons réussi à identifier certaines enzymes qui sont produites par des bactéries à l'intérieur de l'appareil digestif des blattes. Nous ne savons pas encore si ces bactéries étaient déjà là ou si l'insecte les a acquises du matériel, dans ce cas la bagasse». La blatte peut également produire les enzymes par le biais de champignons et de protozoaires et a une grande facilité pour s'alimenter d'un large éventail de déchets, outre le fait de s'adapter facilement à cette diversité. «Cette caractéristique nous a permis d'identifier chez ces insectes une série d'enzymes qui sont excellentes dans différents processus technologiques», déclare Ednildo Machado. Le prochain pas sera justement d'identifier quels sont les microorganismes qui produisent les enzymes. Pour cela il faut séquencer tous les ADN présents dans l'intestin de la blatte, dans un processus appelé métagénomique, qui permet d'identifier les espèces et les gènes impliqués dans la production d'enzymes spécialisées pour rompre la cellulose et l'hémicellulose de la bagasse de canne à sucre. Une fois les gènes identifiés, il est possible de les cloner dans des bactéries comme *Escherichia coli* et ainsi viabiliser la production de ces enzymes à une échelle industrielle. Le même procédé commence à être utilisé par le professeur Richard Ward pour produire en laboratoire les enzymes qui attaqueront la paroi cellulaire de la canne à sucre.

Le développement de ces nombreux outils pourront aider la canne à sucre à produire davantage d'éthanol dans les prochaines années. «Ces 10 dernières années, nous avons vu une augmentation exponentielle de la recherche et de l'investissement technologique afin d'utiliser la biomasse comme un substitut renouvelable et durable du pétrole», déclare Leonardo Gomez, de l'université de York. «La recherche actuelle menée dans le domaine de la composition de la biomasse présente déjà un nouveau potentiel pour l'énergie biorenouvelable». D'après lui, la production d'éthanol et de produits chimiques avec des performances élevées à partir de la biomasse n'est possible qu'avec une connaissance détaillée et multidisciplinaire de la biologie et de la biochimie de la biomasse. ■

Projets

1. Institut National de Sciences et de Technologie (INCT) du Bioéthanol – nº 2008/57908-6; **Modalités** Projet Thématique du Programme FAPESP de Recherche en Bioénergie (Bioen); **Coordonnateurs** Marcos Silveira Buckeridge – USP; **Investissement** 2.896.588,59 reais et 303.342,92 de dollars US (FAPESP);
2. Sugarcane signaling and regulatory networks – nº 2008/52146-0; **Modalités** Projet Thématique du Programme FAPESP de Recherche en Bioénergie (Bioen); **Coordonnateurs** Glaucia Mendes Souza – USP; **Investissement** 3.390.743,73 reais et 1.174.768,67 de dollars US (FAPESP);
3. Identification, caractérisation et ingénierie d'enzymes qui dégradent la paroi cellulaire des plantes – nº 2010/18850; **Modalités** Projet Thématique; **Coordonnateurs** Richard John Ward – USP; **Investissement** 491.952,05 reais et 313.495,03 de dollars US (FAPESP).

Articles Scientifiques

DE SOUZA, A.P. et al. Composition and structure of sugarcane cell walls: implications for cell wall hydrolysis and second generation bioethanol. **BioEnergy Research**. *In press.* set. 2012.
BEGCY, K. *et al.* A novel stress-induced sugarcane gene conferstolerance to drought, salt and oxidative stress in transgenic tobacco plants. **Plos One**. v. 7, n. 9, e44697. set. 2012.
FURTADO, G.P. et al. A designed bifunctional laccase /b-1,31,4 - glucanase enzyme shows synergistic sugar release from milled sugarcane bagasse. **Protein Engineering, Design & Selection**. *In press.* set. 2012.

PHOTOGRAPHIES 1 INCT-BIOÉTHANOL **2** LÉO RAMOS

Alliance de haut niveau

Un programme pilote attire des scientifiques de l'étranger pour former de nouveaux groupes de recherche à São Paulo

Fabrício Marques

PUBLIÉ EN NOVEMBRE 2012

Deux projets thématiques ont déjà été approuvés dans le cadre du *São Paulo Excellence Chairs* (Spec), un programme pilote de la FAPESP qui vise à établir des collaborations entre des institutions de l'état de São Paulo et des chercheurs de haut niveau vivant à l'étranger. L'un des projets va faire venir au Brésil le couple de scientifiques Victor et Ruth Nussenzweig, tous deux âgés de 84 ans. Brésiliens installés aux États-Unis depuis les années 1960, ils sont devenus une référence internationale en matière de vaccins et de traitements contre le paludisme. Andréa Dessen de Souza e Silva, Brésilienne vivant en France, a également vu son projet sélectionné dans le cadre du programme et dirigera un groupe de recherche au Laboratoire National de Biosciences (LNBio), à Campinas. Depuis 2000, elle est à la tête d'un groupe de recherche en pathogénie bactérienne de l'Institut de Biologie Structurale de Grenoble.

L'objectif du programme Spec est d'attirer au Brésil des scientifiques renommés pour coordonner des projets thématiques au sein des universités et laboratoires de l'état de São Paulo. Les chercheurs continuent d'être rattachés à leurs institutions d'origine, mais ils s'engagent à rester au Brésil 12 semaines par an pendant les 5 années (minimum) que dure le projet et à coordonner un groupe de boursiers de la FAPESP – parmi lesquels des postdoctorants, doctorants et étudiants d'initiation scientifique. Hernan Chaimovich, assesseur spécial de la Direction Scientifique de la FAPESP, indique que «la venue de chercheurs de haut niveau a pour but d'organiser des noyaux de recherche dans des domaines où nous visons l'excellence, et de permettre que ces groupes avancent plus vite». D'après lui, l'initiative s'insère dans la stratégie de la FAPESP d'encourager l'internationalisation de la science de São Paulo : «La mission de la FAPESP est d'améliorer la qualité de la science, de la technologie et de l'innovation dans l'état de São Paulo, et c'est pour ça que nous recherchons l'internationalisation. Nous voulons que les groupes formés par des initiatives tel que le Spec soient capables d'obtenir des soutiens d'agences

de financement internationales». Le programme est ouvert aux institutions et chercheurs possédant un curriculum de haut niveau et qui sont intéressés par des partenariats.

Des recherches développées aux États-Unis par le couple Nussenzweig ont donné naissance à des prototypes de vaccins testés dans les années 1980, mais ils ne garantissaient qu'une immunité pour de courtes périodes. Depuis 1960, ils sont reliés à l'Université de New York où ils travaillent jusqu'à aujourd'hui sur le parasite du paludisme. À l'heure actuelle, ils sont engagés sur deux fronts : la recherche d'un vaccin contre le paludisme causé par le parasite *Plasmodium vivax* et des techniques pour mettre K.-O. les protéines essentielles au développement du parasite.

Deux projets ont été approuvés dans le cadre du programme et deux autres sont en cours d'évaluation

Le couple Ruth et Victor Nussenzweig à São Paulo : projet thématique et formation d'un centre de recherche à l'Unifesp

LÉO RAMOS

NOUVEAUX INHIBITEURS

Le projet thématique qui sera coordonné par Victor et Ruth Nussenzweig à l'Université fédérale de São Paulo (Unifesp) propose de caractériser les enzymes indispensables au développement du plasmodium et de trouver de nouveaux inhibiteurs en vue du développement de médicaments contre le paludisme. Victor Nussenzweig indique qu'il va «faire venir un chercheur chinois qui travaille depuis 4 ans avec [lui] à New York» et qu'il a aussi l'intention de «recruter d'autres docteurs et postdocteurs». Ils travailleront à l'Unifesp avec des chercheurs qu'ils ont accueilli à l'Université de New York à l'occasion de doctorats ou de postdoctorats, à l'exemple des professeurs Maurício Martins Rodrigues, Sérgio Shenkman et Nobuko Yoshida. La déclaration d'octroi du projet doit être signée au cours des prochaines semaines.

En juillet 2012, Andréa Dessen de Souza e Silva est devenue la première chercheuse sélectionnée dans le cadre du programme pilote. Diplômée en ingénierie chimique de l'Université de l'état de Rio de Janeiro (UERJ) en 1987, elle est partie vivre aux États-Unis pendant 25 ans. Avant de s'installer en France, elle a suivi un doctorat à l'Université de New York et un postdoctorat à l'Albert Einstein College of Medicine puis à l'Université de Harvard. Elle s'est spécialisée dans l'étude de la structure de protéines en utilisant des techniques de biochimie et cristallographie : «J'ai toujours travaillé avec la structure de protéines liées à la médecine. J'ai déjà travaillé avec le VIH, avec l'inflammation». Elle étudie actuellement la virulence de bactéries par le biais de l'étude de la structure tridimensionnelle des protéines qui forment la paroi bactérienne. L'objectif est de comprendre les structures pour faire la synthèse et la réparation de la paroi bactérienne, et tenter de bloquer les processus infectieux. «Les structures qui favorisent la résistance aux antibiotiques sont une des cibles visées», précise-t-elle. Et c'est ce point du travail qu'elle développera à Campinas.

Cela faisait déjà un certain temps que la chercheuse voulait revenir au Brésil : «Mais j'ai un poste à Grenoble et deux jeunes enfants, je ne voulais pas rentrer définitivement. La configuration du Spec est parfaite». L'an dernier, elle a donné une conférence au LNBio et engagé des discussions avec le directeur du laboratoire, Kleber Franchini, pour collaborer avec l'institution. En plus de l'embauche par le LNBio d'un assistant de recherche qui a suivi un postdoctorat avec elle en France – le Brésilien David Neves –, le groupe comptera aussi deux boursiers de doctorat et un de postdoctorat : «Le groupe de Campinas est coordonné par une personne en qui j'ai toute confiance». D'après elle, ce programme va permettre un échange important de chercheurs entre les institutions de Campinas et Grenoble. Deux autres projets sont évalués par la FAPESP dans le cadre du Spec, un dans le domaine des changements climatiques et l'autre en science des matériaux. Chaimovich précise que «les propositions peuvent être faites dans n'importe quel domaine de connaissance, à condition qu'elles impliquent des chercheurs de haut niveau». ■

Diversité organisée

Un groupe de recherche lance une base de données sur des composés chimiques susceptibles d'aider à la fabrication de médicaments

PUBLIÉ EN OCTOBRE 2012

Des études sur la quête de médicaments sur des espèces de Rubiaceae, comme le caféier, alimentent l'instrument *en ligne*

H.ZELL / WIKICOMMONS

Des informations détaillées sur 640 composés chimiques extraits de la biodiversité brésilienne sont disponibles sur Internet à l'adresse suivante : www.nubbe.iq.unesp.br/nubbeDB.htlm. Cette base de données est le fruit de 15 années de recherche du Groupe de Bioessais, Biosynthèse et Écophysiologie de Produits Naturels (NuBBe) de l'Universidade Estadual Paulista (Unesp) d'Araraquara. Vanderlan Bolzani, professeur de l'Institut de Chimie (IQ) de l'Unesp et membre de la coordination du programme Biota-FAPESP, déclare : « Nous avons constaté que nos résultats de recherche, publiés dans plus de 170 articles, pourraient être plus utiles s'ils étaient organisés en une base de données plutôt que fragmentés. Nous possédons des informations précieuses sur la diversité chimique des espèces étudiées et avons décidé de les mettre à disposition pour que d'autres chercheurs puissent les utiliser dans des études additionnelles». La base de données a été conçue en collaboration avec le professeur Adriano D. Andricopulo, du Laboratoire de Chimie Médicinale et Computationnelle (LQMC) de l'Institut de Physique (USP, São Carlos) et son étudiant de doctorat Ricardo N. Santos, boursier de la FAPESP.

PROPRIÉTÉS IDENTIFIÉES

L'instrument réunit diverses informations telles que l'origine des composés, l'espèce d'où ils ont été isolés, leurs propriétés chimiques et les activités biologiques identifiées. Le résultat de la recherche en ligne permet aussi de voir la structure chimique, un tableau d'informations sur les composés, et de télécharger la structure en trois dimensions. La base de données du NuBBe est composée de 80 % de composés isolés de plantes, 6 % de champignons ou microorganismes, 7 % de composés synthétiques inspirés de produits naturels, 5 % de composés semi-synthétiques et 2 % de produits de biotransformation (modifiés par des enzymes). Un ensemble de propriétés aide à déterminer si le composé pourrait être utilisé dans la production de nouveaux médicaments. D'après Vanderlan Bolzani, « la base est chimiquement diversifiée et riche. Il s'agit d'une source intéressante pour l'identification de composés bioactifs à tester dans d'autres essais plus sophistiqués». Son travail sur la quête de substances anticancérigènes sur des espèces de Rubiaceae brésiliennes, réalisé dans les années 1990, est l'un des plus anciens de la base de données.

La systématisation des données à été faite par une équipe de six techniciens et chercheurs, sur une période de deux ans. Quant au site, il a été idéalisé par Leandro Figueira, maître en informatique. « Une boursière d'initiation scientifique nous a aidé à analyser tous les articles du NuBBe et à obtenir les données sur les composés», précise Marilia Valli, elle-même doctorante de l'Institut de Chimie de l'Unesp et boursière de la FAPESP. Dirigée par Vanderlan Bolzani, sa thèse sur le potentiel des produits naturels du NuBBe pour la planification rationnelle de nouveaux agents anti-tumeurs devrait être achevée en 2013. L'un des objectifs du projet est de croiser les informations du NuBBe avec le Système d'Information Environnementale (Sinbiota), qui met en rapport des informations issues des projets du programme Biota-FAPESP et une base cartographique. Si ce n'est pas encore disponible, Madame Bolzani affirme cependant que le but est «montrer les espèces auxquelles sont liés les composés ainsi que l'habitat dans lequel elles vivent. Nous espérons que cette base sera le point de départ pour une banque de données nationale de toutes les substances déjà isolées des biomes brésiliens. Nous devons sensibiliser les collègues à la valeur que représenterait cette tâche». ■

Fabrício Marques

CLUBS
FIGHTERS

Pour l'amour des SCIENCES ET DES CHALLENGES

Les résultats du pays aux olympiades scientifiques encouragent les lycéens et révèlent les futurs chercheurs.

PUBLIÉ EN MARS 2013

Premier Brésilien à remporter une médaille à l'Olympiade Internationale de Physique (déjà médaillé de bronze en 2002, en Indonésie), Ronaldo Pelá, actuellement âgé de 27 ans, souligne que l'expérience de la compétition dans les concours scientifiques entre adolescents a eu une grande influence sur sa décision de devenir chercheur. Il est effectivement aujourd´hui professeur au département de Physique de l'Institut technologique aéronautique (ITA) de São José dos Campos. « Cela a été décisif pour ma vocation » , dit Pelá qui a obtenu un doctorat en 2011 en étant boursier de la FAPESP. « Participer à une olympiade entre étudiants de l'enseignement secondaire, dit-il, est un formidable encouragement pour partir à la recherche de connaissances avancées et prendre goût aux challenges intellectuels; autant de compétences précieuses dans de nombreux domaines et, en particulier, dans la carrière scientifique » . « La routine implacable des examens fait qu'à un certain moment, vous perdez complètement la peur de passer des examens » , se souvient-il. L'an dernier, Pelá a reçu le Prix du meilleur article de jeune scientifique, au cours de la Conférence internationale de physique des semi-conducteurs qui s'est tenue à l'Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), à Zurich, en Suisse. Il est actuellement l'un des leaders du groupe des matériaux semi-conducteurs et de nanotechnologie (GMSN) de l'ITA, où il travaille sur la simulation des matériaux semi-conducteurs magnétiques.

D'ailleurs, ce groupe, compte deux étudiants de premier cycle qui ont déjà été lauréats de médailles aux olympiades scientifiques. En effet, Pelá s'est toujours intéressé à connaître les médaillés qui rentrent à l'ITA pour y obtenir un diplôme d´ingénieur. Il y a quelques années, il y a créé un groupe d'étude qui aide les étudiants à concourir à un prix donné aux jeunes physiciens, organisé chaque année par l'Ins-

Le professeur de l'ITA, Ronaldo Pela, (*premier plan*) et deux de ses élèves, Ivan Guilhon (*assis*) et Cássio Sousa (*debout*): médailles olympiques et penchant pour la recherche

LÉO RAMOS

Des étudiants de plus de 100 pays prennent part à l'Olympiade Internationale de Mathématiques à Amsterdam (2011). Les médaillés brésiliens souhaitent devenir médecins, ingénieurs et chercheurs

titut de physique théorique (IFT) de l'UNESP. L'année dernière, Ivan Guilhon Mitoso Rocha, élève ingénieur de 21 ans, a été classé premier au concours de l´IFT et se dit enclin à faire une carrière universitaire. « Je veux faire une maîtrise en physique. J'ai récemment fait un stage en technologie de l'information dans une institution financière et j´en ai conclu que ce n'est pas ce que je souhaite faire dans l'avenir » , dit Ivan qui mène déjà une recherche de premier cycle sur l'alliage de trois matériaux: le graphène, le silicène et le germanium. Originaire de Fortaleza, capitale de l'État de Ceará, sa collection personnelle comprend une médaille d'argent reçue à l'Olympiade Internationale de Physique (Mexique, 2009); une médaille d´or reçue à l'Olympiade Brésilienne de Physique et une médaille de bronze à l'Olympiade Brésilienne de Chimie et de Mathématiques. De son côté, Paulo Sousa Cássio dos Santos, 19 ans, originaire de l´État de São Paulo, hésite encore entre la carrière universitaire et le secteur privé. Il estime qu´il encore trop tôt pour prendre une décision. « Participer aux olympiades donne une énorme expérience » , a déclaré Cássio qui a remporté une médaille d'argent à l'Olympiade Internationale de Science Junior (Corée du Sud, 2008); une médaille de bronze à l'Olympiade Internationale de Physique (Croatie, 2010) et d'or à l´Olympiade Brésilienne de Physique et de Robotique, entre autres. Ses recherches de premier cycle portent sur le graphène et ses variantes. « La caractéristique commune des médaillés est qu'ils aiment la science et les challenges; autant d´intérêts qui stimulent l'apprentissage autodidacte. Tous glanent les connaissances de leur propre chef » , dit Lara Kühl Teles, professeur de l'ITA et leader du groupe de recherche constitué en 2007 autour du programme Jeunes Chercheurs de Centres Émergents, lancé par la FAPESP et par le professeur de l'ITA, Marcelo Marques.

L'exemple de l'ITA est révélateur de l'espace et de l'importance que les olympiades scientifiques sont en train de prendre au Brésil. L'organisation des olympiades régionales et la préparation des étudiants aux challenges internationaux, généralement réalisées avec le soutien des universités, ne cesse de faire croître la performance du Brésil sur le tableau d´honneur des médaillés. Ces succès contrebalancent les médiocres résultats du pays dans le classement international de l'apprentissage scolaire. Le professeur Euclydes Marega Junior, de l'Institut de physique de São Carlos, USP, participe depuis 14 ans à l'organisation de l'Olympiade Brésilienne de Physique et prépare l'équipe nationale à l'olympiades internationale de cette discipline. Il déclare: « Nous apprenons de l'expérience; nous avons renforcé l'entrainement des étudiants et aussitôt la performance du Brésil a considérablement augmenté depuis la médaille de bronze de Ronaldo Pelá en 2002. Ces deux dernières années, nous avons obtenu un médaille d'or et d'argent». Ces bons résultats se répètent dans d'autres compétitions et, notamment, lors de l'Olympiade Internationale de Mathématiques où le Brésil a remporté l'an dernier une médaille d'or, une d'argent et trois de bronze, en compensation des années 2010 et 2011 où il n´a pas remporté d´or. Par la suite, lors de l'Olympiade Internationale de Chimie de 2012, les Brésiliens ont remporté une médaille d'argent et trois de bronze.

Un autre exemple de cette professionnalisation provient d'une équipe de jeunes ingénieurs, pour la plupart diplômés de l'Ecole Polytechnique de l'USP, qui a créé une société pour entraîner l'équipe du Brésil à l´Olympiade Internationale Junior de Science (IJSO) et au Tournoi International des Jeunes Physiciens (IYPT). La société B8 Projetos Educacionais tire parti de l'expérience de plusieurs de ses associés fondateurs qui ont participé à ces olympiades quand ils étaient au lycée. « Les étudiants les plus brillants manquent de stimulation et de challenge à ce niveau et nous contribuons à apporter des solutions à cette situation », affirme l'ingénieur en électricité Marcio Martino, un des partenaires, qui compte une médaille d'or au Tournoi International du Brésil des Jeunes

« Les lauréats aiment les challenges et partent à la recherche de la connaissance de leur propre chef » , explique Lara Kühl Teles, de l'ITA

Physiciens (IYPT), une d'argent et une de bronze à l'Olympiade de Physique dans son curriculum. Dès 2007, cette entreprise a mis en place une étape nationale pour l'Olympiade Internationale Junior de Science (IJSO) au cours de laquelle elle sélectionne l'équipe de compétition internationale qui, l'an dernier, a concouru en Iran. A cette occasion, le Brésil a remporté une médaille d'or, trois médailles d'argent et deux médailles de bronze, outre une autre médaille d'or lors d'une compétition expérimentale inédite. En 2011, la phase nationale de l'IYPT a également été mise en place au Brésil. Il s'agit d'une compétition dont le format est différent du traditionnel. Vingt équipes de diverses villes du Brésil sont installées dans un amphithéâtre à São Paulo pour participer aux épreuves pratiques dans lesquelles une équipe s'efforce de résoudre un problème, la deuxième équipe questionne la solution proposée et la troisième équipe évalue et questionne la performance des deux premières équipes, devant un jury qui observe. Chacune des cinq meilleures équipes fournit un représentant au tournoi international.

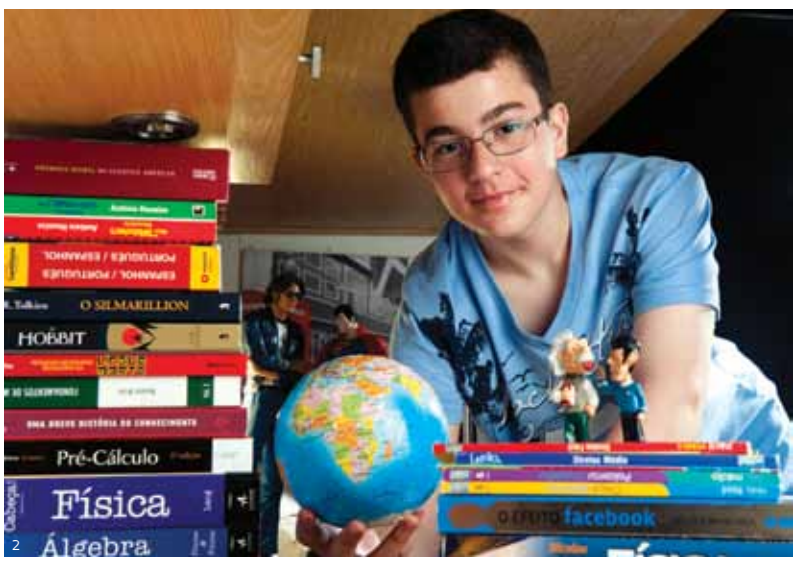
Il est évident qu'il n'y a pas que l'environnement universitaire qui profite des talents ainsi révélés. « Nous avons vu des médaillés devenir médecins, ingénieurs, enseignants, et d'autres qui ont suivi une carrière universitaire » , explique Nelly Carvajal, secrétaire de l'Olympiade Brésilienne de Mathématiques (OBM), promue par l'Institut des Mathématiques Pures et Appliquées (IMPA). Il arrive que l'IMPA, à son tour, s'attache certains de ces talents, comme le coordinateur de l'Olympiade Brésilienne de Mathématiques (OBM), Carlos Gustavo Moreira, 40 ans, qui a remporté l'or (Chine, 1990) et le bronze (Allemagne, 1989) à l'Olympiade Internationale de Mathématiques. Le mathématicien Artur Avila, qui se partage entre IMPA et l'Institut de Mathématiques de Jussieu à Paris, a remporté l'or (Canada, 1995). Avila a été nominé pour recevoir la médaille Fields, la plus haute distinction pour les mathématiciens de moins de 40 ans.

Il est évident qu'une reconnaissance lors d'une olympiade internationale est un puissant tremplin qui ouvre droit à des bourses dans les études secondaires, à de bonnes écoles et des à offres d'emploi après l'obtention du diplôme. « Les olympiades se sont révélées être un excellent moyen de sélectionner les meilleurs, et cela est bien connu des grandes entreprises et des institutions de recherche du monde entier » , déclare Ricardo Anido, professeur à l'Institut d'Informatique de l'Unicamp qui participe à l'organisation de l'Olympiade Brésilienne d'Informatique et des Marathons universitaires de cette discipline placée sous la houlette de la Société Brésilienne de Calcul Numérique, et qui aide aussi à la préparation de l'équipe brésilienne pour l'Olympiade Internationale d'Informatique. Anido observe que ce qui attire particulièrement les médaillés sont les emplois dans des conglomérats comme Google et Facebook. « Les entreprises se disputent les professionnels de talent et même certaines d'entre elles adoptent des attitudes discutables sur le plan de l'éthique. Jusqu'à tout récemment, une grande entreprise avait pris l'habitude d'inviter tous les lauréats du marathon brésilien d'informatique à faire des stages, bien que le marathon soit parrainé par son concurrent. Maintenant, cela s'est calmé » , dit Anido.

Gabriel Dalalio, 21 ans, en dernière année de génie informatique à l'ITA, passe actuellement trois mois en Californie, en stage chez Facebook. « J'ai l'intention de travailler dans la programmation et je suis en train d'évaluer mon expérience aux États-Unis pour décider d'y rester ou de retourner travailler au Brésil » , explique l'étudiant qui a remporté des médailles de bronze aux deux éditions de l'Olympiade Internationale d'Informatique. « Je l'ai mis dans mon CV et j'ai annoncé que je compte participer au marathon mondial, en Juillet, en Russie. Mon patron chez Facebook m'a également dit avoir participé au marathon. Ils cherchent des gens extrêmement performants en informatique. Un médaillé de bronze, ils savent bien ce que cela représente » , dit-il.

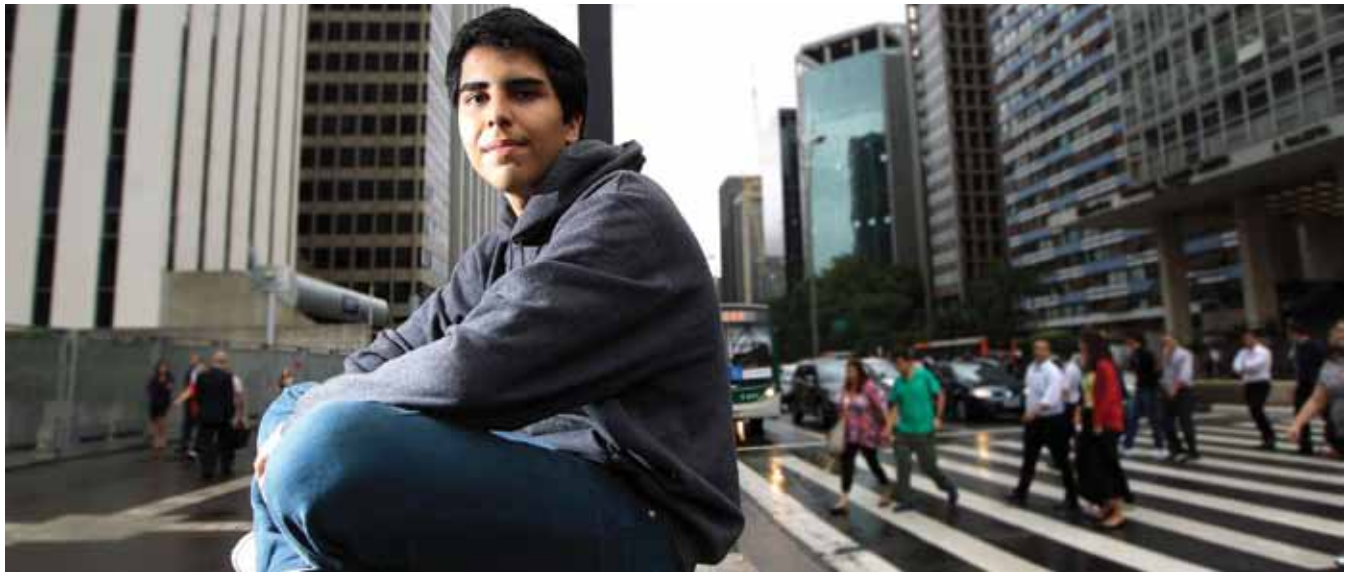
Une constante chez tous les nombreux médaillés est la volonté d'aider les plus jeunes qui commencent à concourir aux olympiades. Ricardo Anido révèle

Matheus Camacho, qui a remporté une médaille d'or sans précédent à l'Olympiade Internationale Junior des Sciences en Iran, trouve les cours du lycée ennuyeux et répétitifs



2

PHOTOS 1 AFP/VALÉRIE KUYPERS 2 LÉO RAMOS

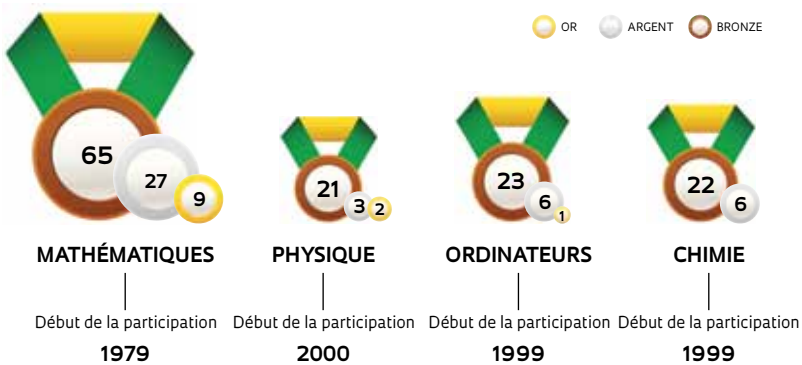


Gustavo Haddad Braga: sept médailles internationales, a renoncé à la Faculté de Médecine de l'USP pour le MIT

qu'il a l'habitude de réunir les élèves déjà récompensés par une médaille et de leur demander leur aide pour formuler des sujets d'épreuves, ce qu'ils acceptent spontanément. « J'ai récemment passé quatre jours à Tiradentes, à plancher sur les questions destinées à l'Olympiade Brésilienne d'Informatique. Et, à la fin, ce sont eux-mêmes qui nous remercient » , dit le professeur. Régis Prado Barbosa, 22 ans, originaire du Ceará, étudiant en génie informatique à l'ITA, a découvert sa vocation de professeur de mathématiques en aidant à préparer les lycéens à l'Olympiade Internationale de Mathématiques. Il a, en effet, participé à plusieurs éditions de la compétition dans lesquelles il a remporté deux médailles d'argent (Vietnam en 2007 et l'Espagne en 2008) et une médaille de bronze (Slovénie, 2006). « J'ai été impressionné par cette expérience. J'aime créer des problèmes très difficiles et je suis encore plus heureux de voir un étudiant trouver une meilleure solution que la mienne. J'ai choisi l'ingénierie informatique pour ouvrir des horizons, mais j'ai découvert que j'aime enseigner par dessus tout » , dit-il.

Médailles du Brésil

Les résultats du Brésil aux olympiades scientifiques internationales



Une préoccupation majeure cependant rode autour des organisateurs des olympiades nationales: la tendance des médaillés à quitter le Brésil tout de suite après leur diplôme. « Nous perdons nos talents » , dit Euclydes Marega Junior. « Nous organisons les olympiades, nous révélons précocement des talents qui, par la suite, se portent candidats dans des universités étrangères comme Harvard et le MIT où ils sont acceptés » , se plaint-il. « Il est relativement facile à un médaillé d'obtenir une bourse d'études à l'École Polytechnique et d'aller étudier en France avec une bourse de 1.000 euros par mois. Nous perdons nos talents pour 1000 euros ! Il nous faut créer des mécanismes pour les garder au Brésil. Ils ont besoin d'incitations pour rester. Il ne s'agit pas que de bourses, mais aussi de leur proposer des défis qui les occupent, ainsi que de bons mentors » , explique le professeur. Pour Ricardo Anido, les médaillés devraient pouvoir être admis dans les universités brésiliennes sans concours d'entrée. « Ce serait un atout de poids, susceptible de les faire rester au pays. Car, les universités étrangères les acceptent sur simple analyse de leur curriculum » , dit-il.

L'étudiant Gustavo Haddad Braga, 18 ans, propriétaire d'une des plus vastes collections de médailles du pays, dont 50 médailles nationales et 7 médailles internationales, y compris l'or en compétition internationale de physique (Thaïlande, 2011), a récemment quitté le Brésil pour faire un premier cycle au Massachusetts Institute of Technology (MIT). Originaire de São José dos Campos, il s'est inscrit en Faculté de Médecine à l'USP pendant six mois en attendant le résultat de la sélection du MIT. Une fois admis, il a obtenu une bourse du CNPq pour passer son diplôme aux Etats-Unis. Il nourrissait déjà le projet de faire ses études à l'étranger bien avant d'arriver dans l'enseignement secondaire et d'obtenir un tel palmarès aux olym-

piades. « La première fois que j'ai entendu parler du MIT, j'étais en quatrième, quand j'ai rencontré le père d'un étudiant accepté au MIT. J'ai pensé que le MIT devait être un endroit particulièrement intéressant » , se souvient-il. Il ne sait pas encore s'il suivra les cours d'informatique ou de génie électrique au MIT, il devra choisir en fin de première année, mais, d´ores et déjà, il envisage de revenir au Brésil après son diplôme. En exerçant sa fibre créatrice entrepreneuriale, il a mis en place, avec quelques collègues, trois affaires prometteuses. L'une d'elles est un site contenant des conseils sur la façon de postuler aux universités nord-américaines. L'autre est un service qui met en contact des étudiants brillants et des entreprises souhaitant parrainer leurs études à l'étranger et qui, en compensation, recevront l'étudiant en stage à la fin de ses études. La troisième est une application capable de mettre discrètement en contact sur Facebook des personnes ayant un intérêt commun: la recherche d'un(e) copain/copine ou d'un(e) petit(e)-ami(e), par exemple. L'idée de ce service lui est venue l'année dernière, quand il a pris part à un championnat de programmation et de création d'entreprise à Miami, qui lui a valu un prix de 50 000 dollars aussitôt investi dans l´affaire.

L'expérience personnelle d'un lauréat médaillé à une olympiade de sciences sort de l´ordinaire. Gustavo Haddad Braga, par exemple, connaît des pays que peu de jeunes de son âge ont eu l´occasion de visiter. Parmi les endroits où se sont tenues les olympiades, on trouve la Corée du Sud, l'Azerbaïdjan, la Chine, la Croatie, la Pologne et la Thaïlande. La routine des études est ardue et exige du temps disponible ainsi que de l'intérêt pour s'attaquer à des connaissances qui ne seront exploitées que dans l'enseignement supérieur. La

La routine des études des médaillés est ardue et occupe beaucoup de temps et de volonté à la recherche de la connaissance

toute dernière révélation parmi les médaillés brésiliens attire précisément l'attention en raison de sa facilité à absorber des connaissances de pointe. Matheus Camacho, 14 ans, a remporté une médaille d'or à l'Olympiade Internationale de Sciences Junior, tenue en Iran en Décembre. Il a bien répondu à toutes les questions de physique, de chimie et de biologie de l'épreuve pratique, basée sur une expérience d'électrophorèse (technique de séparation de molécules) de l'ADN. Il a aussi remporté la médaille d'argent au classement général individuel où le rendement de l'élève est soumis à trois évaluations: objective, théorie discursive et expérimentale.

L'exploit est doublement impressionnant car qu'il vient juste de rentrer en troisième, alors que les deux autres membres de son équipe sont en terminale. Ce n´est que l´année dernière qu´il a eu un premier contact avec la chimie et la biologie. Quant à la physique, il avait quelques notions pour avoir étudié de son propre chef. Matheus aime les études, mais il entretient des rapports ambigus avec son lycée. Tous les matins, il suit les cours de la classe de Troisième au collège Objetivo à São Paulo, où il trouve les cours très répétitifs, surtout la physique, la chimie et la biologie. Il dit n'apprendre des nouvelles choses qu'en Portugais, qui n'est pas sa matière de prédilection. Par contre, l'après-midi il fréquente les cours préparatoires avancés en vue des olympiades dans le même collège, y compris les samedis; c´est alors qu´il aborde des matières qui l'interpellent davantage telles que le calcul différentiel. Tous les soirs, il étudie une heure ou deux, sans pour cela renoncer à garder le contact avec ses anciens camarades de classe. Il fait un peu d´exercice physique tous les jours et, depuis l'enfance, il est fan des Beatles. « Il s'est souvent plaint des cours qu´il trouve ennuyeux et répétitifs » , dit Simone, sa mère. « Nous essayons de lui apporter ce dont il a besoin. S'il demande un livre, je le lui achète. Quand il m'a dit qu'il était sûr d´aller en Iran, avant même la dernière sélection nationale, j'ai été surpris par autant de conviction et n'ai pu que l'encourager. Au fond, je pense qu'il savait qu'il pouvait atteindre son but», a déclaré le père, Carlos Henrique, colonel des Forces Armées. « J'ai rencontré des gens du monde entier et ça a été une expérience très intéressante» , dit Matheus qui ne sait encore quelle carrière suivre, mais qui aime explorer les sites de Harvard et du MIT et qui garde les deux institutions dans sa ligne de mire. ■ **Fabrício Marques**

L'étudiant de l´ITA, Gabriel Dalalio, à San Francisco: sa médaille de bronze à l´Olympiade d'Informatique lui a servi de passeport pour obtenir un stage chez Facebook

PHOTOS 1 CLAYTON DE SOUZA/ESTADÃO 2 FACEBOOK

L'essence **des pierres**

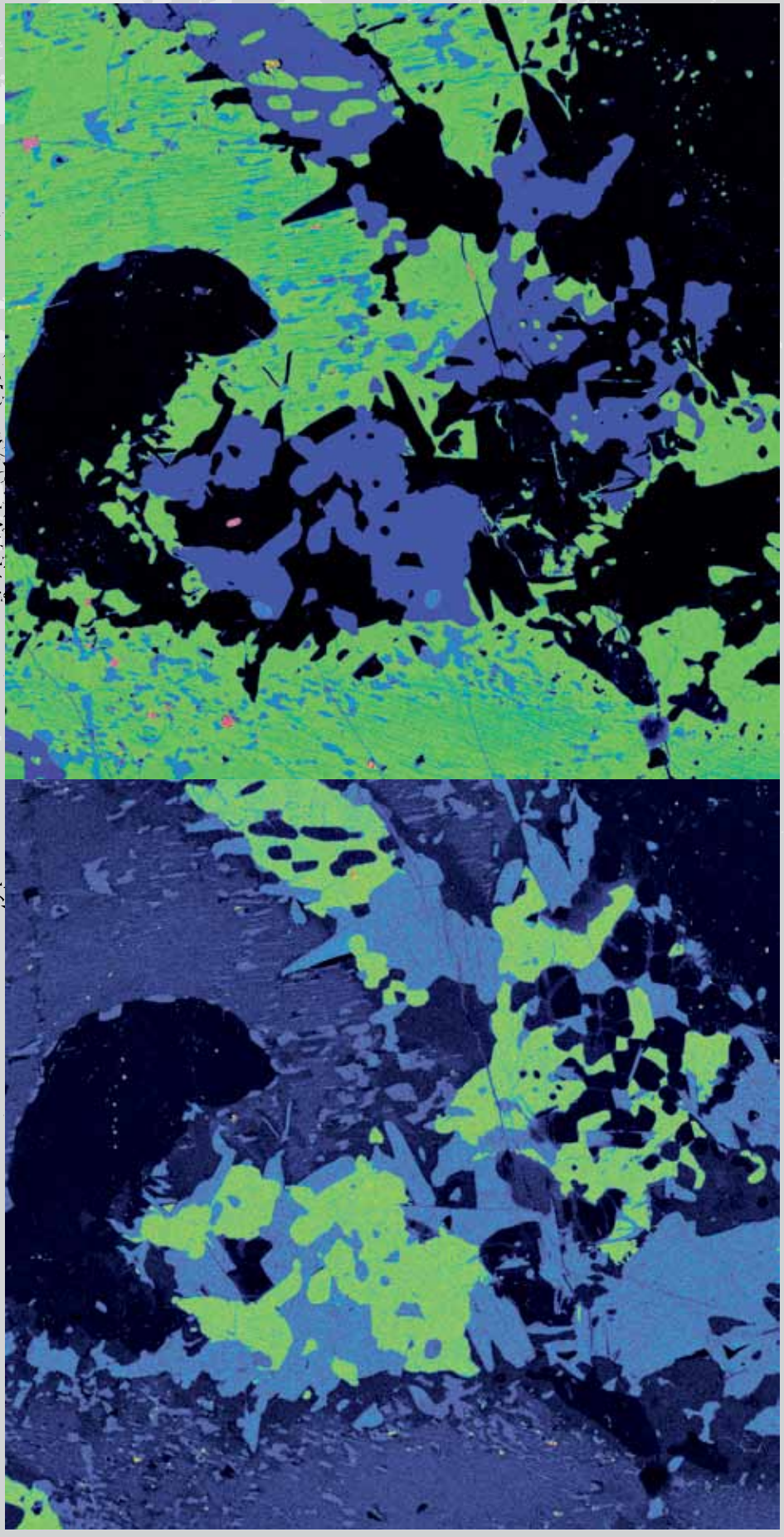
Une nouvelle microsonde électronique commence à fonctionner à l'USP pour analyser les éléments chimiques des minéraux

Marcos de Oliveira
PUBLIÉ EN JANVIER 2013

La nouvelle version d'un appareil rendu célèbre par les astronautes d'Apollo qui ont ramené des roches de la Lune entre 1969 et 1972, fonctionne dans un bâtiment spécialement construit à cet effet à l'Institut de Géosciences de l'Université de São Paulo (USP). La microsonde électronique est un outil de recherche capable d'identifier et de quantifier rapidement les éléments chimiques présents dans un minéral. La microsonde a pris de l´importance à la suite des missions lunaires, quand l'agence spatiale américaine (Nasa) a distribué des échantillons aux institutions de différents pays. Le fait de savoir qu'un minéral de roche contient du calcium, du fer ou une terre rare est important pour mieux comprendre la nature géologique d'un milieu particulier mais, également, pour déceler l´existence de matériaux présentant un intérêt pour l'exploitation minière ou industrielle. Cet appareil peut également servir en métallurgie pour analyser les composants d´un alliage métallique ou encore permettre de découvrir les subtilités chimiques de la formation des dents.

Ce matériel, acquis auprès de l'un des deux uniques fabricants au monde, l'entreprise japonaise Jeol - l'autre étant la société française Cameca - coûte 1,6 millions de dollars américains et est entièrement financé par la FAPESP. Il remplace, tout en proposant davantage de fonctions, une microsonde achetée en 1992 dans le cadre d'un programme de financement de l'USP et de la Banque Interaméricaine de Développement (BID) complété par la FAPESP. Cette ancienne microsonde avait, à son tour, remplacé un modèle américain datant de 1971, le tout premier installé dans le pays, acheté entièrement avec des fonds de la BID. Ce premier modèle, muni d'un système de capture de données compliqué et manuel, enregistrait les informations sur les cartes perforées d'un ordinateur connecté à la machine qui se trouve

IMAGES DU LABORATOIRE MICROSONDE DE L'IGC-USP



Images obtenues par la microsonde à technique de dispersion de la longueur d'onde et de rayons X, en haut, la présence d'aluminium dans un échantillon de minéral silicaté, en bleu; en dessous présence de calcium, en vert

encore à l'Institut de Géoscience. Le plus ancien appareil avait trois spectromètres à rayons X, tandis que le plus récent a cinq de ces dispositifs couplés à la microsonde. Ce genre de spectromètre fait l'analyse des éléments chimiques présents dans le minéral au moyen de la lecture de la longueur d'onde générée par le canon à faisceau d'électrons, au moment où il touche l'échantillon. Le résultat est une radiation de rayons X, dont la longueur d'onde est spécifique à la matière irradiée captée par un cristal à l'intérieur de la microsonde. Il se charge de reconnaître la longueur d'onde de l'élément chimique et son intensité à un point spécifique du matériau.

«Au tout début, l'exploitation du premier appareil a été très difficile et a exigé une préparation et une analyse plus compliquée et détaillée de l'échantillon. Déjà, la seconde génération de l'appareil avait cinq spectromètres et la dernière montre finalement une plus grande automatisation du processus d'analyse, une meilleure résolution de l'interface graphique et une luminosité accrue des images. Il sera possible d'obtenir des images de meilleure qualité, à l'exemple des minéraux contenant du manganèse et du cadmium qui ont la propriété d'émettre de la lumière à l'impact des électrons. Une autre chose d'importance réside dans la plus grande sophistication des conditions de vide que parcourt le faisceau d'électrons sans être absorbé par les molécules d'air avant d'atteindre l'échantillon», dit Celso de Barros Gomes, professeur émérite de l'Institut de Géosciences, qui a monté et qui dirige le Laboratoire de Microsonde Électronique de l'Institut, également responsable de l'achat de trois machines en 1971, 1992 et 2012. «Il s'agit d'un cycle historique», dit-il.

La microsonde est utilisée par les étudiants de maîtrise et de doctorat, mais elle sert également aux études menées par les entreprises telles que Vale et Petrobras

SUR UN MATELAS DE SABLE

Pour recevoir la nouvelle microsonde, il a fallu construire un nouveau laboratoire de 90 m² au rez-de-chaussée de l'Institut de Géosciences. La grande sensibilité du nouvel équipement a demandé un lieu à l'abri de l'interférence des champs magnétiques des autres appareils de l'institut. La microsonde a 1,80 mètre de haut et est intégrée à une table équipée de divers équipements et de trois écrans destinés à la vérification des résultats. L'équipement est posé sur une sorte de matelas isolant constitué d'un trou d'un mètre de profondeur rempli de sable dont la fonction est d'absorber les vibrations dues à la circulation automobile autour de l'immeuble. La microsonde est également enveloppée par une cage de Faraday qui n'est autre qu'un cadre métallique assurant le blindage électrostatique de l'équipement.

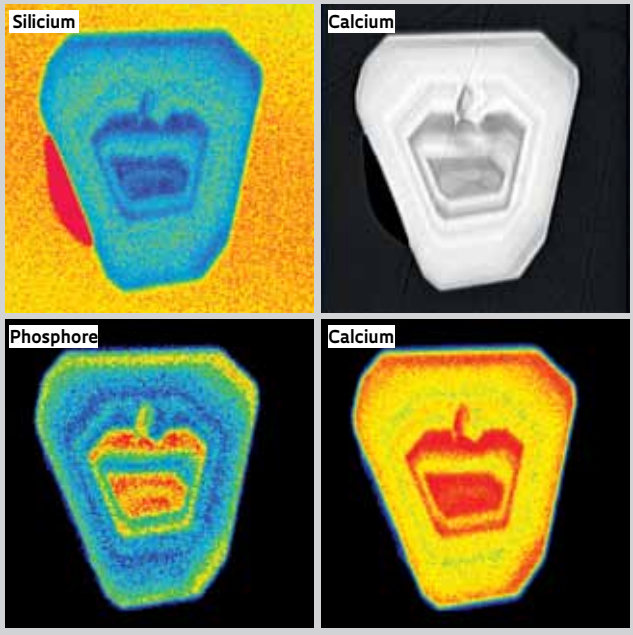
Inauguré le 14 décembre, le nouveau laboratoire est prêt à recevoir, avec davantage d'efficacité, les partenaires et les consultations que les anciennes microsondes avaient l'habitude de traiter. «Nous fournissons des services aux sociétés minières, telles que CPRM et Vale le plus particulièrement, qui travaillent avec une grande diversité de produits miniers», dit Gomes. «Nous faisons aussi des études pour Petrobras». Le produit de ces services sert à l'entretien du laboratoire. Mais, la principale demande en microsonde, ces dernières années et selon le professeur Celso Gomes, vient principalement des étudiants de maîtrise et des doctorants de l'Université de São Paulo (USP), de l'Universidade Estadual Paulista (UNESP), de l'Université d'État de Campinas (UNICAMP), de l'Université Fédérale du Paraná (UFPR), de Pernambouc (UFPE) et de Bahia (UFBA) qui réservent tour à tour l'utilisation de l'équipement. «Nous avons également reçu des chercheurs de divers pays d'Amérique latine et d'Afrique, notamment du Mozambique et d'Angola,», dit Gomes. «Grâce à ce nouvel appareil, nous souhaiterions réaliser des études de pointe et nous rapprocher du domaine de l'odontologie afin d'analyser la distribution des éléments chimiques dans les dents et d'étudier la nature et le comportement de la dentition », dit-il.

«Cette nouvelle microsonde est extrêmement riche en possibilités», dit le professeur Marcos Aurélio de Oliveira Farias, de l'Institut de Géoscience et des

Composition des éléments

Images de la microsonde montrant le zonage chimique d'un minéral

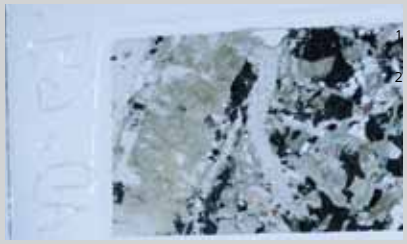
Un grain de britolite, minéral qui contient une concentration de phosphate de calcium. Les images en couleur faites par rayons X quantifient la présence d'éléments chimiques déterminés. En noir et blanc, la variation de la tonalité montre la présence de calcium dans les zones sombres



IMAGES DE JEAN WOLFF / UNIVERSITÉ DE L'ÉTAT DE WASHINGTON

PHOTOS D'EDUARDO CESAR

1. La microsonde au fond, avec les écrans et les dispositifs qui composent l'équipement



2. Lame de verre portant le substrat de roche préparé pour l'analyse

Sciences Exactes de l'Universidade Estadual Paulista (UNESP) de la ville de Rio Claro. «Elle offre beaucoup plus de possibilités et permet de réaliser plus d'expériences en moins de temps. La sonde précédente était déjà très performante, mais il était nécessaire de prévoir des arrêts fréquents pour assurer sa maintenance, ce qui avait fini par former une file d'attente de six mois environ», dit Oliveira. «Pendant environ trois ans, elle a été la seule sonde à desservir la communauté universitaire du pays, les autres étant en panne, comme c'est le cas à l'Université de Brasilia (UnB)», explique t-il. Il rappelle que récemment l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ) et l'UnB ont acheté une microsonde; outre l'autorisation d'acheter un de ces appareils accordée à l'UNESP par l'organisme de Financement des Études et des Projets (FINEP) par et le Ministère de la Science et de la Technologie.

INFORMATIONS GÉNÉTIQUES

Bien que les industries métallurgiques possèdent déjà ce type d'instrument, la formation de nouveaux géologues requiert des microsondes en milieu universitaire et, plus particulièrement, en cette période d'expansion rapide des grandes entreprises du secteur, telles Petrobras et Vale. «Quantifier les éléments est la raison d'être de la Géologie. En effet, cette quantification permet de déterminer les conditions de pression et de température à laquelle ces minéraux se sont formés à des kilomètres de profondeur. Ils fournissent en quelque sorte une information génétique sur la composition chimique du matériau analysé », explique Gomes. Ces informations et les diverses autres informations obtenues de la microsonde sont particulièrement importantes dans le cas des minerais car elles favorisent une meilleure compréhension du potentiel d'une mine et influencent son aménagement en fournissant des indications sur l'infrastructure nécessaire à son exploitation.

«Aujourd'hui, la microsonde fait partie de la culture scientifique de la Géologie», dit Celso de Barros Gomes, USP

Pour commencer l'analyse des échantillons de roches prélevés sur le terrain, les chercheurs qui souhaitent utiliser la microsonde préparent le matériau – c'est le cas de l'USP qui met un technicien à disposition – et l'affinent au micron près (1 micromètre est égal à 1 millimètre divisé par mille). Cette fine couche de roche est fixée avec une colle transparente à la lame de verre qui sera insérée dans la microsonde. À ce niveau, la couche est émincée au point de s'incorporer presque au verre. L'échantillon a été auparavant examiné au microscope optique pour connaître son épaisseur qui doit varier entre 30 et 40 microns. L'échantillon est placé ensuite dans un métaliseur pour recevoir une couche de carbone qui le rendra conducteur.

«Quand il nous arrive d'avoir affaire à un échantillon inconnu dont nous ignorons tout des minéraux qui le composent, nous utilisons la technique de la dispersion d'énergie (WDS, son acronyme anglais) qui permet de faire un balayage de tous les éléments chimiques du tableau périodique des éléments et qui indique, par exemple, si ce matériau est un feldspath ou un tout autre minéral», explique le professeur Celso Gomes. Il est possible d'identifier le minéral par sa composition chimique. Pour quantifier les éléments présents ou déterminer le pourcentage de silicium, fer, aluminium ou magnésium, par exemple, présents dans chaque minéral de roche, les géologues utilisent une microsonde à technique de dispersion de longueur d'onde (WDS, son acronyme anglais) qui, outre la finalité première, peut indiquer, par exemple, les conditions de formation du matériau.

«Actuellement, ces techniques sont bien connues et largement répandues mais, dans le passé, au tout début de l'arrivée des microsondes sur le marché, entre les années 1960 et 1970, il a été difficile de convaincre la communauté universitaire de son importance. La diffusion de cette technique s'est faite par les données présentées lors de congrès, de conférences, de cours, de stages et grâce à la publication d'articles scientifiques», dit Gomes. «Nous avons commencé il y a 40 ans à mettre en place un processus de persuasion et, aujourd'hui, la microsonde fait partie de la culture scientifique de la Géologie du Brésil», dit-il. ■

Projet

EMU: Acquisition d'une nouvelle microsonde électronique pour l'Institut de Géoscience de l'USP. Nº 2009/53835-7; **Modalité** Programme. Equipements multi-usagers; **Coordinateur** Celso de Barros Gomes - USP; **Investissement** 473 729,58 reais et 1 662 330,00 dollars US (FAPESP).

Une science plus ouverte

Le rédacteur en chef de la revue *Nature* et un dirigeant de la Royal Society discutent, lors d'une rencontre à la FAPESP, des enjeux et les limites de l'ouverture des données scientifiques

Bruno de Pierro

PUBLIÉ EN MARS 2013

« L'ouverture des données en soi n'a aucune valeur, car une science ouverte c'est beaucoup plus que la simple mise à disposition de données scientifiques», estime le physicien anglais Philip Campbell, rédacteur en chef de la revue Nature, l'une des revues scientifiques les plus prestigieuses au monde. De passage à São Paulo, Philip Campbell a participé à la rencontre Science as an Open Enterprise: Open Data for Open Science, réalisée le 25 février à la FAPESP, où, dans un auditorium rempli, il a parlé des enjeux et des transformations liés à l'ouverture des données scientifiques. Durant l'évènement, le directeur scientifique de la Fondation, Carlos Henrique de Brito Cruz, a parlé des perspectives d'ouverture des données scientifiques au Brésil. Le président-directeur du Conseil Technico-Administratif de la FAPESP, José Arana Varela, le Secrétaire des Relations Extérieures de la Royal Society, Martyn Poliakoff, ont participé en tant que médiateurs.

Les discussions ont tourné autour d'un rapport publié en juin 2012 par la Royal Society. Dans ce rapport, la plus ancienne société scientifique du monde souligne la nécessité d'appréhender l'ouverture de données scientifiques chaque fois plus nombreuses, mais dont le contenu n'est pas toujours intelligible ou de l'intérêt des chercheurs. «De rapides changements technologiques ont créé de nouvelles formes d'acquisition, de stockage, de manipulation et de transmission d'ensembles de données qui favorisent de nouveaux moyens de communication et de collaboration», déclare Martyn Poliakoff. L'étude fait suite à une polémique déclenchée en 2009, au Royaume-Uni, sur des messages e-mails envoyés par des climatologues qui ont été piratés et publiés. Les messages suggéraient qu'un scientifique avait essayé de cacher des données contraires aux évidences du réchauffement planétaire. Une enquête a écarté l'hypothèse de fraude mais l'affaire a déclenché des débats sur la nécessité d'avoir une science plus ouverte.

Philip Campbell explique que les données scientifiques ne doivent pas être simplement accessibles mais qu'elles doivent être traitées pour devenir compréhensibles et réutilisables. Le physicien souligne que l'une des raisons qui font de l'ouverture des données un thème qui ne peut être remis à plus tard est que la science pourrait gagner davantage notre confiance grâce à la réplication et à la reproductibilité des données de recherche. Selon lui, cela permettrait de lutter contre les fraudes dans le monde universitaire et d'élargir la participation publique dans la science.

Un exemple de collaboration publique est présenté dans le rapport de la Royal Society. En 2011, un foyer d'infection intestinale provoquée par Escherichia coli est apparu en Allemagne et s'est répandu en Europe, affectant environ 400 mille personnes. Les médecins hambourgeois n'arrivaient pas à trouver une solution, car, à première vue, la bactérie était identique à celles d'autres souches. Le problème n'a été résolu qu'après que les données sur le génome de la souche de E. coli soient devenues accessibles et publiées sur un site à la portée de n'importe quel chercheur. Peu de temps après, environ 200 rapports scientifiques

La technologie a créé de nouveaux moyens de communication et de collaboration scientifique, comme le montre le rapport

Philip Campbell, de la revue *Nature* (*à gauche*), et Martyn Poliakoff, de la Royal Society: l'ouverture peut augmenter la participation publique dans la science

PHOTOGRAPHIES LÉO RAMOS

ont été publiés et ont indiqués ce qui pourrait être fait pour stopper l'épidémie.

«De nous jours, l'information détermine comment les scientifiques doivent s'adapter aux changements technologiques, sociaux et politiques, avec de profondes implications dans la manière comment la science est conduite et communiquée», déclare Martyn Poliakoff. Le chimiste a également parlé d'un projet auquel il participe et appelé PeriodicVideos (www.periodicvideos.com), qui propose des vidéos ludiques de diffusion scientifique. Le projet a commencé en 2008, à partir d'un partenariat entre l'Université de Nottingham et la BBC de Londres.

TROIS MODÈLES

Un autre thème discuté au cours de cette rencontre, outre la publication des données produites par la recherche, a concerné l'élargissement des outils utilisés pour avoir accès aux articles publiés dans les revues scientifiques. Campbell a rappelé qu'il existe aujourd'hui trois modèles pour la publication ouverte d'articles. Le premier met librement l'article à disposition au bout d'une période maximum de 6 à 12 mois après sa publication. Dans le second, l'article peut être consulté au moment de sa publication et le troisième modèle est une version hybride, qui ne met librement à disposition qu'une partie du contenu si l'auteur paie une taxe pour une diffusion immédiate. Questionné sur les effets que pourraient causer l'ouverture de données sur la communication scientifique, principalement pour le journalisme d'information scientifique, Philip Campbell ne croit pas que l'ouverture améliorera forcément le processus de communication. D'après lui, peu importe si les articles sont librement accessibles ou mis à disposition au moyen du paiement d'une taxe, car les bonnes revues évalueront toujours leurs résultats et ne publieront que les meilleurs. Ce qui peut se passer, selon lui, c'est que le feedback peut être plus rapide dans une revue qui fournit un contenu ouvert grâce aux corrections ou aux commentaires apportés dès la publication. Ceci peut dans une certaine mesure améliorer l'article. «Le contenu librement ouvert peut être préférable dans ce cas là (par rapport à celui qui est accessible après le paiement d'une taxe)», déclare-t-il.

Le Directeur Scientifique de la FAPESP, Carlos Henrique de Brito Cruz, a rappelé que la discussion autour des données ouvertes n'était pas complètement nouvelle dans le pays, en citant des banques de données brésiliennes consultables sur Internet. Il a mentionné les informations ouvertes fournies par l'Institut National de Recherches Spatiales (Inpe), l'Institut Brésilien de Géographie et de Statistique (IBGE) et la Plateforme Lattes, du Conseil National de Développement Scientifique et Technologique (CNPq), qui fournit des informations universitaires provenant de plus de 174 mille chercheurs. Brito Cruz a également souligné l'importance de la bibliothèque virtuelle SciELO, de la FAPESP, qui permet d'avoir librement accès à 270 revues nationales avec environ 1 million de consultations quotidiennes. «C'est un mécanisme important qui a permis d'apporter davantage de visibilité à la science brésilienne dans le monde», déclare-t-il. L'autre avancée importante a été un accord signé il y a deux ans pour la création d'un répertoire central de tous les articles liés à la recherche qui ont reçu un financement de la FAPESP, et qui deviendront accessible en respectant les normes de la revue scientifique qui aura publié chaque article. Ce répertoire devrait être prêt d'ici la fin de l'année.

En ce qui concerne le Brésil, Philip Campbell dit ne pas connaître le nouvel agenda scientifique, mais il reconnait les efforts entrepris par le Brésil pour se positionner sur le plan international. Il cite comme exemple le soutien apporté par la FAPESP aux projets de recherche qui associent les scientifiques et les entreprises. Je pense que ceci est un type de financement précieux, outre l'élargissement des relations entre les universités et l'industrie». ■

Plus d'octets au service de l'ADN

Des bioinformaticiens brésiliens créent des outils pour étudier des génomes

Marcos Pivetta

PUBLIÉ EN FÉVRIER 2013

Il y a encore 10 ans, il n'y avait pratiquement pas de génomes complets à analyser. On manque aujourd'hui de programmes et de main d'œuvre spécialisée pour faire face à la quantité de séquences d'ADN déjà enregistrées sur des bases publiques de données et qui sortent quotidiennement de la nouvelle génération de séquenceurs. Ces machines qui sont extrêmement rapides déterminent les paires de base du matériel génétique, appelées lettres chimiques, à un prix des milliers de fois inférieur à celui pratiqué au début des années 2000, quand l'aventure qui a menée au séquençage du premier génome humain a pris fin. Afin de relever les défis dans ce domaine, le mathématicien João Meidanis, fondateur associé de l'entreprise Scylla Bioinformatique et professeur à l'Université Publique de Campinas (Unicamp), a investi dans une ligne de recherche visant à créer des méthodes plus simples et plus efficaces pour comparer deux ou plusieurs génomes.

Aux côtés de Pedro Feijão, son ancien élève de doctorat, il a formulé en 2009 la base théorique d'une méthode appelée single-cut-or-join (SCJ) pour comparer des génomes entiers. L'année dernière, il a testé cette méthode dans la pratique sur les génomes de certains organismes comme les plantes et les bactéries. «Avec notre méthode, nous pouvons comparer facilement deux ou plusieurs génomes sans augmenter de manière exponentielle le nombre de calculs, comme c'est le cas dans d'autres méthodes», affirme João Meidanis. «Nous pouvons ainsi construire des arbres généalogiques et voir quels sont les génomes les plus proches et les plus éloignés du point de vue évolutif. Le mathématicien a été l'un des coordonnateurs en bioinformatique du projet qui a séquencé en 2000, le génome de la bactérie Xylella fastidiosa, responsable de la maladie amarelinho (petit jaune) dans les orangeraies. Ce travail a permis à la recherche brésilienne de faire la une de la revue scientifique Nature.

Pour confronter tout le matériel génétique d'une espèce à celui d'une autre, les chercheurs doivent recourir à des simplifications. La principale est de considérer que les gènes présents dans les génomes

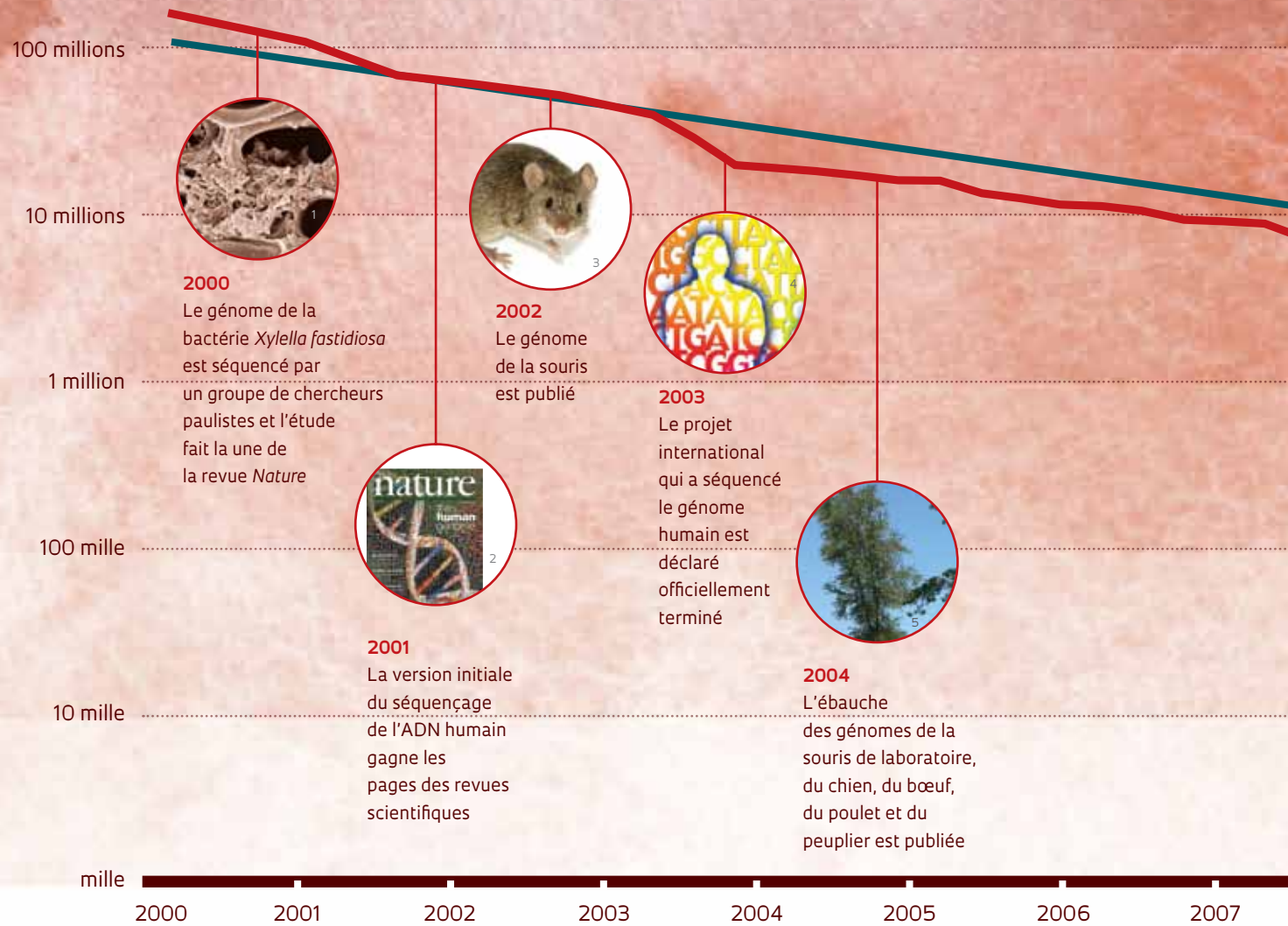
ILLUSTRATION FABIO OTUBO

0 39 233 0960 0273 650 96

Le renversement de l'ADN

En une décennie, le coût de séquençage du génome humain est passé de 100 millions dollars US à moins de 10 mille dollars US

* axe et en escale logarithmique (en dollars US)

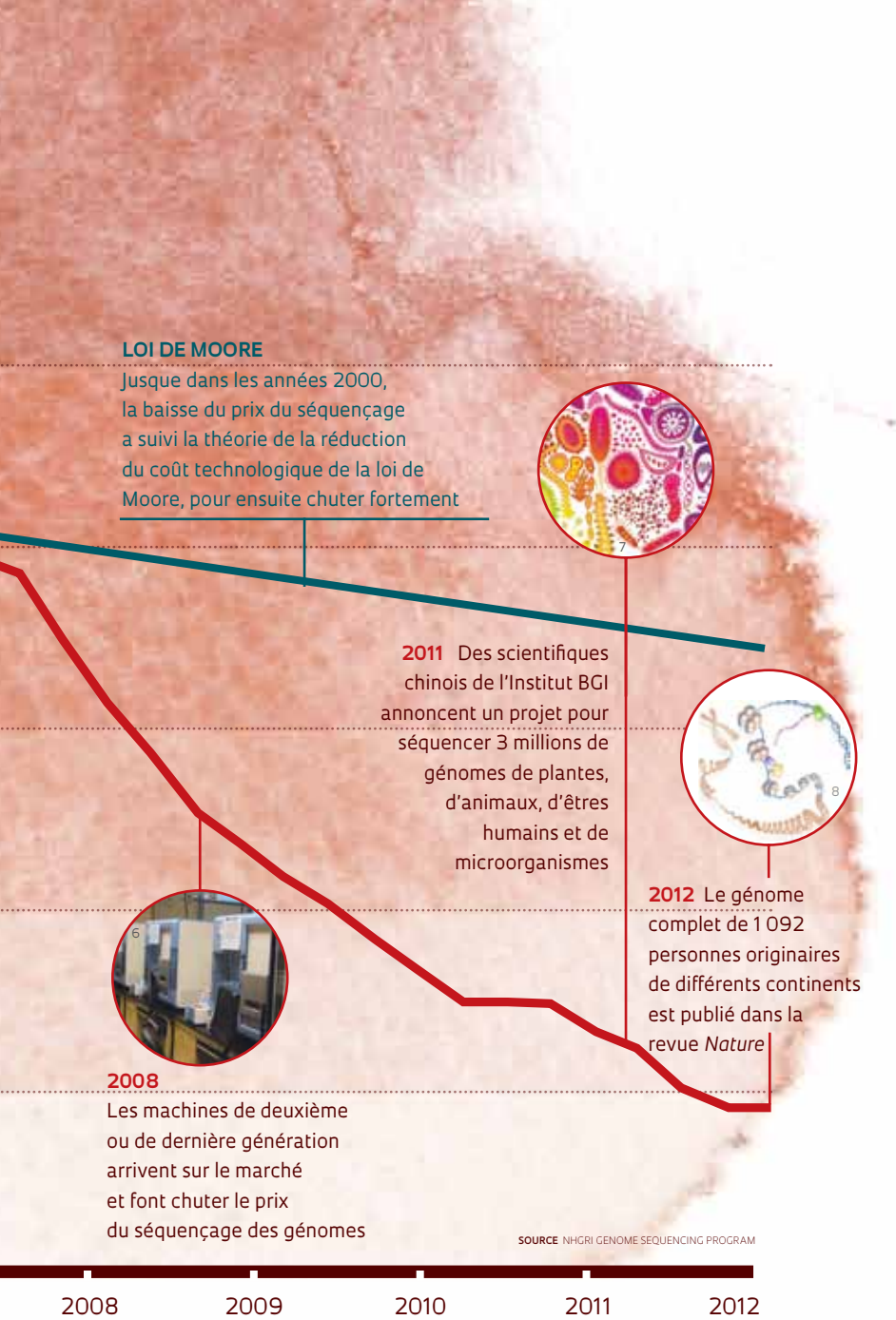


comparés sont exactement les mêmes, bien qu'ils soient ordonnés de manière différente dans la séquence spécifique de chaque organisme. En partant de ce raisonnement, les méthodes pour comparer les génomes comptabilisent le nombre de réarrangements nécessaires pour qu'un génome se transforme en un autre. Ces réarrangements sont dus au déplacement de grands segments d'ADN qui ont lieu au fil du temps dans la séquence originale. Ainsi, plus le nombre de réarrangements qui séparent deux génomes sera faible, plus ils seront proches dans l'arbre évolutif.

Dans leur méthode, João Meidanis et Pedro Feijão ont formulé une définition alternative du concept de point de rupture (breakpoint), paramètre important pour trouver des réarrangements dans une séquence et ainsi calculer la proximité de deux génomes. Le point de rupture est l'endroit où il y a une interruption d'un long segment conservé dans les génomes qui sont en train d'être comparés.

L'année dernière, ils ont encore redéfini une autre méthode de comparaison de génomes plus élaborée que le SCJ. Tout d'abord proposée en 2000, cette deuxième méthode permettait de confronter uniquement des génomes circulaires. Une fois perfectionnée, cette méthode est devenue également utile pour comparer le matériel génétique de chromosomes linéaires. «C'était une des limitations de la méthode originale», commente Pedro Feijão, aujourd'hui employé chez Scylla. La nouvelle méthode basée sur ce que les mathématiciens appellent formalisme algébrique par adjacences n'a pas encore été testée sur des génomes réels. Pour l'instant elle n'existe que de manière théorique.

PHOTOGRAPHIES 1 ELLIOT W. KITAJIMA / USP 2 DIFFUSION 3 ET 5 WIKIMEDIA COMMONS 4 JANE ADES / NHGRI 6 MAGGIE BARTLETT / NHGRI 7 BGI 8 NHGRI



MÉTAGÉNOMIQUE

João Meidanis n'est évidemment pas le seul à sentir les effets de cette nouvelle réalité dans son domaine d'intervention. De retour au Brésil depuis 2011, après avoir passé huit ans au Virginia Bioinformatics Institute, aux États-Unis, João Carlos Setubal, actuellement professeur titulaire de l'Institut de Chimie de l'Université de São Paulo (USP), a constaté que les demandes pour monter des services et mener des recherches dans son domaine ont augmenté et se sont sophistiquées ces derniers temps. Depuis qu'il est revenu à São Paulo, il a par exemple déjà reçu 16 propositions pour collaborer à des initiatives menées par d'autres chercheurs. «Les séquenceurs de dernière génération produisent une quantité astronomique de données génomiques, protéomiques et sur le métabolisme des organismes», déclare João Carlos Setubal, qui a également été l'un des coordonnateurs de bioinformatique du projet sur Xylella. «Actuellement, grâce à la réduction des prix de la technologie, tout projet de recherche peut séquencer le génome d'un organisme avec un minimum de financement».

La métagénomique qui étudie le microbiote d'une niche écologique est un nouveau domaine qui est apparu ces dix dernières années pour les biologistes et les bioinformaticiens. Le principal projet de João Carlos Setubal est un programme thématique de la FAPESP en métagénomique sur les microorganismes présents au zoo de São Paulo. Dans cette approche, au lieu d'isoler et de cultiver les microorganismes pour extraire de manière séparée l'ADN de chaque espèce, le chercheur retire directement un échantillon de l'environnement à étudier. Dans cet échantillon, l'ADN de différentes espèces est «mélangé» et il incombe au bioinformaticien de trouver des méthodes pour séparer et caractériser le matériel génétique de chaque espèce. «Nous sommes en train d'étudier trois microbiomes au zoo qui sont, le compostage réalisé par les employés du parc, l'eau des étangs et les excréments des singes hurleurs», déclare Setubal.

La métagénomique est également une manière simple de découvrir des organismes inconnus dans un habitat spécifique. L'équipe d'Ana Tereza Ribeiro de Vasconcelos, coordonnatrice du centre de bioinformatique du Laboratoire National d'Informatique Scientifique (LNCC), à Petrópolis, a participé à la découverte de bactéries magnétiques trouvées dans la lagune d'Araruama, sur le littoral de Rio de Janeiro, l'une des plus salines du monde. L'une des bactéries trouvées est la Candidatus magnetoglobus multicellularis. La bactérie identifiée par Ulysses Lins, de l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ), est difficile à isoler de son environnement et à conserver dans un milieu de culture. «Nous sommes aujourd'hui engagés sur une dizaine de projets en matière de métagénomique», déclare Ana Tereza, qui possède trois séquenceurs dans son laboratoire et qui compte sur une équipe d'environ 25 personnes.

L'échelle de temps et les financements engagés dans des projets consacrés à l'analyse de l'ADN ont radicalement changé au cours de la dernière décennie. Durant les premières années de l'ère génomique, seuls les grands projets osaient s'aventurer dans ce nouveau domaine. En avril 2003, quand le consortium public International qui avait séquencé pour la première fois un génome humain est arrivé à son terme, cette méga-initiative avait consommé 13 ans de travail, fait appel à des centaines de scientifique d'au moins 18 pays (y compris le Brésil) et avait coûté 12 millions de dollars US. Dans une moindre proportion mais même ainsi grandiose, le séquençage de la Xylella aura coûté 12 millions US$ à la FAPESP

en impliquant 192 chercheurs durant trois ans.

Actuellement, le séquençage de génomes est devenu une activité de 10 à 20 mille fois plus avantageuse sur le plan financier qu'il y a une décennie, selon les données du National Human Genome Research Institute (NHGRI), aux États-Unis. L'arrivée en masse sur le marché début 2008 des séquenceurs de deuxième génération qui utilisent une technologie différente de celle des premières machines de type Sanger, ont fait chuter les prix du séquençage à un rythme accéléré qui dépasse de loin les gains de performance prévus par la Loi de Moore dans l'informatique. Aujourd'hui, en deux ou trois jours, pour quelques milliers de dollars, il est possible de déterminer les 3 milliards de lettres chimiques de l'ADN d'une personne. «La bioinformatique est un nouvel outil, une loupe qui nous permet de mieux comprendre le phénomène biologique, qui n'a pas changé, mais qui peut être vu sous un autre angle», déclare Gonçalo Pereira, de l'Institut de Biologie (IB) de l'Unicamp.

Cependant, séquencer est une chose, et extraire de l'information utile sur les milliards de données fournies quotidiennement par les ordinateurs dans les mains des scientifiques en est une autre bien plus complexe. «Le séquençage en soi est actuellement bon marché, c'est devenu une commodity, mais l'analyse des données est chère», déclare le scientifique informaticien João Paulo Kitajima, de Mendelics, entreprise récemment créée qui travaille sur des diagnostics génomiques personnalisés. «La demande en bioinformatique a augmenté de manière exponentielle et il y a un gap entre l'offre et la demande de spécialiste au Brésil et à l'étranger».

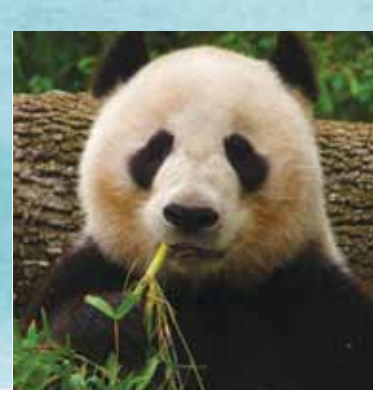
Il est difficile d'estimer avec précision la taille de la communauté de bioinformaticiens dans le pays. Selon Guillherme Oliveira, président de l'Association Brésilienne de Bioinformatique et de Biologie Informatique (AB3C), environ 300 personnes, comme des professeurs, des élèves et des chercheurs, conservent un lien avec l'entité. «Auparavant le bioinformaticien était autodidacte», déclare Oliveira, coordonnateur du centre de bioinformatique de la Fiocruz de Minas Gerais. «Aujourd'hui une bonne partie de ces personnes sortent d'un troisième cycle et il y a un spécialiste du secteur dans chaque état. Ce qui est nouveau, c'est que des entreprises travaillent maintenant dans ce domaine». De grandes universités brésiliennes comme l'USP, l'UFRJ, l'Université fédérale de Minas Gerais (UFMG), et la Fiocruz ont des programmes de troisième cycle spécifiques en bioinformatique. D'autres universités travaillent le thème comme une ligne de recherche dans le

La réduction des coûts de séquençage a permis aux techniques génomiques de devenir financièrement accessibles

La Chine possède le plus grand centre de séquençage du monde

En moins de 15 ans, un centre chinois de bioinformatique est passé de la condition de petit associé, du consortium international qui a cartographié le premier génome humain, à celle de la plus grande puissance mondiale en termes de séquençage d'ADN. Fondé en 1999, Beijing Genomics Institute (BGI, signe en anglais) est aujourd'hui propriétaire de 180 séquenceurs, la plupart de dernière génération et qui peuvent produire quotidiennement 6 téraoctets de données, ce qui équivaut aux génomes complets de 2 mille individus. Ils ont 4 mille employés et des filiales aux États-Unis, en Europe et au Japon. Les performances des chinois, qui travaillent sur une échelle gigantesque, créent les conditions nécessaires pour que le prix du séquençage du génome humain passe d'ici peu à 1 000 dollars US et leur offrent la possibilité de participer à des projets de pointe, qui vont bien au delà du séquençage génétique d'un symbole national, le panda géant, prouesse atteinte il y a trois ans.

En 2010, par exemple, l'Institut BGI a séquencé le premier génome complet d'un ancêtre de l'homme en séquençant l'ADN d'un esquimau vieux de 4 mille ans. En 2012 il a fourni l'ADN de 100 chinois dans un projet international qui étudie le génome d'environ mille individus provenant de différentes régions de la planète.
L'année dernière le centre s'est également proposé de séquencer durant les prochaines années 3 millions de génomes d'êtres humains, de plantes, d'animaux et de microorganismes.
La politique chinoise est agressive à tous les niveaux, non seulement dans le domaine scientifique, mais également sur le plan commercial. Outre le fait de vendre ses services en bioinformatique, l'Institut BGI essaie de se garantir un accès aux avancées les plus récentes du secteur. En début d'année, le centre asiatique a reçu le feu vert des américains pour acheter pour une somme de 177 millions de dollars US une compagnie californienne, Complete Genomics, qui a développé une nouvelle technologie de séquençage et dont les résultats seraient plus précis que ceux obtenus avec les méthodes actuelles utilisées dans le monde entier.



Panda géant: l'un des génomes que les chinois du Beijing Genomics Institute (BGI) ont séquencé entièrement

PHOTOS 1 MANYMAN / WIKIMEDIA COMMONS 2 EBENGTSO / WIKIMEDIA COMMONS

Les eaux hyper-salines de la lagune d'Araruama, à Rio de Janeiro: des études métagénomiques y trouvent des bactéries magnétiques

cadre du troisième cycle et dans un domaine plus large comme la biologie ou l'informatique.

Le travail de séquençage et d'analyse du génome du Schistosoma mansoni, parasite responsable de l'esquistossomose, est le projet de plus grande visibilité sur lequel ait travaillé le centre de bioinformatique de l'unité de Minas Gerais de la Fiocruz, ces dernières années. Toutefois, les six séquenceurs et les 15 spécialistes en bioinformatique du secteur dirigé par Oliveira ont participé à environ 60 autres projets distincts qui incluent des études sur le génome du cancer, sur les agents infectieux, sur les races de bovins et des travaux en métagénomique. Aujourd'hui, le centre analyse et gère encore des données pour le Réseau de Recherche d'Identification Moléculaire de la Biodiversité Brésilienne (BR-BoL), coordonné par Cláudio Oliveira, de l'Institut de Biosciences de l'Université Publique Pauliste (Unesp) de Botucatu, qui cataloguera 120 mille exemplaires de 24 mille espèces en quatre ans. Le BR-BoL est le bras brésilien du projet international Barcode of Life (Code-barres de la Vie), destiné à identifier des espèces à travers la caractérisation de leur ADN.

La bioinformatique s'est répandue dans le pays et a atteint des centres très éloignés des grandes capitales du Sud-Est. Artur Silva mène des recherches dans ce domaine et collabore avec des groupes de São Paulo à l'université Fédérale de l'état du Pará (UFPA). Depuis le mois de mai dernier, Sandro de Souza, qui durant des années a dirigé ce secteur à l'Institut Ludwig de Recherche sur le Cancer de São Paulo, se trouve à l'Institut du Cerveau de l'Université Fédérale de l'état du Rio Grande do Norte (UFRN). Il n'a pas de séquenceur à ses côtés pour l'aider dans la capitale Potiguar [N.T. : la ville de Natal], mais cela ne l'inquiète pas du tout. «Il est même possible de faire du séquençage dans le nuage internet si on veut», affirme Sandro de Souza. «Je commence mes travaux en neurosciences sans aucun problème».

En effet, Sandro de Souza a également accès à toutes les machines de l'Institut Ludwig qui, après la fermeture de l'Institut dans la capitale pauliste, ont été transférées à la Faculté de Médecine de Ribeirão Preto (FMRP) de l'USP. C'est là, l'année dernière, qu'a commencé à fonctionner le Centre de Médecine Génomique. «Les techniques génomiques et bioinformatiques révolutionneront la pratique médicale comme c'est déjà le cas pour l'imagerie médicale», déclare Wilson Araújo da Silva Júnior, l'un des responsables du nouveau centre de la FMRP.

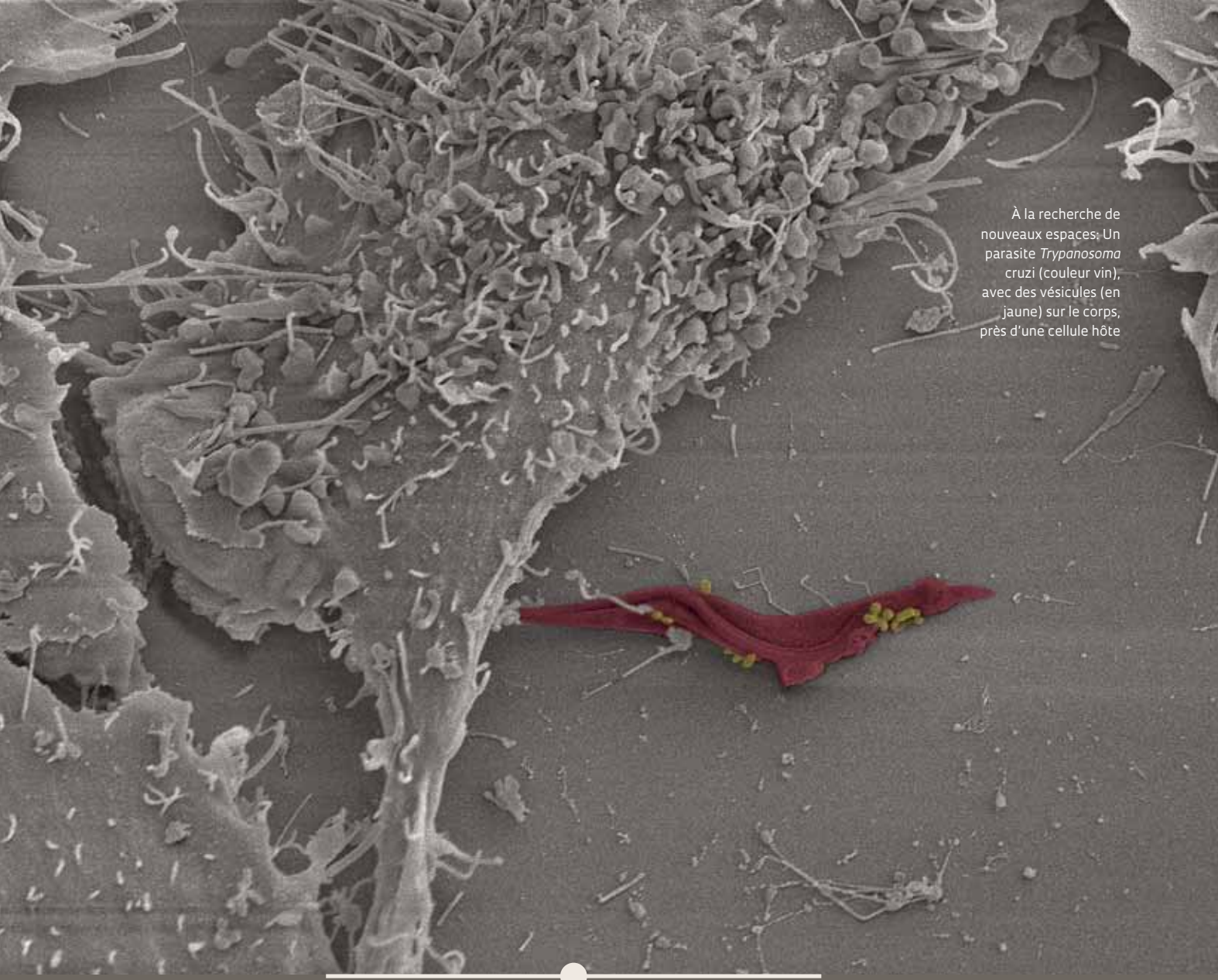
Pour que les services de séquençage et d'analyse d'ADN et d'ARN deviennent plus accessibles, l'Unicamp inaugurera, le premier mars, le Laboratoire Central de technologies de Haute Performance (LacTAD), qui travaillera dans les domaines de la génomique, la protéomique, la biologie cellulaire et la bioinformatique proprement dite. Parmi les équipements du laboratoire, il y a deux séquenceurs de nouvelle génération de l'entreprise Illumina qui en quelques jours sont capables de séquencer complètement un ADN humain, et un troisième équipement pour séquencer des régions spécifiques des génomes. Normalement, les machines du centre fonctionnent depuis leur arrivée l'année dernière à l'université et leur installation dans différentes unités. À partir du mois prochain, elles commenceront à fonctionner dans le bâtiment de 2 000 mètres carrés construit pour le LacTAD.

«Nous pensons qu'il y a une demande réprimée pour ce type de service et la bioinformatique est devenue un goulot d'étranglement pour de nombreuses recherches dans les domaines biologiques, déclare le chimiste Ronaldo Pilli, Directeur de la Recherche de l'Unicamp, responsable du projet du nouveau laboratoire. «Nous suivons la tendance mondiale en offrant ce type de service de manière centralisée. Ainsi, il est plus facile d'acheter, d'exploiter et de maintenir les équipements à jour». Les équipements du LacTAD ont coûté environ 5,5 millions de reais et ont été acquis à travers le programme Multiutilisateurs de la FAPESP. Le bâtiment a été financé par l'université pour un montant de 4 millions de reais.

Le LacTAD fournira ses services aux chercheurs de l'Unicamp ainsi qu'à d'autres universités et aux entreprises. Sur le site du laboratoire il y a un formulaire destiné aux chercheurs qui veulent coter le montant de leurs services. «Nous ferons des travaux qui pourront coûter de 100 reais à 100 mille reais» déclare Ronaldo Pilli. C'est la démocratisation de la bioinformatique. ■

Projets

1. Études de la diversité microbienne dans le Parc Zoologique de São Paulo – n° 11/50870-6; **Modalités** Programme Biota – Projet Thématique; **Coordonnateurs** João Setubal – USP; **Investissement** 1 711 698,25 reais (FAPESP);
2. EMU: Laboratoire Central de Technologie de haute Performance – n° 09/54129-9; **Modalités** Programme d'Équipements Multiutilisateurs; **Coordonnateurs** Fernando Ferreira Costa – Unicamp; **Investissement** 6 034 431,00 reais (FAPESP).



À la recherche de nouveaux espaces: Un parasite *Trypanosoma* cruzi (couleur vin), avec des vésicules (en jaune) sur le corps, près d'une cellule hôte

Parasite
Prêt à l'attaque

Des vésicules avec des protéines aident le parasite *Trypanosoma cruzi* à envahir des cellules hôtes

Carlos Fioravanti

PUBLIÉ EN OCTOBRE 2012

IMAGE RENATO MORTARA/UNIFESP

Les chercheurs de São Paulo ont identifié un possible mécanisme qui aiderait le protozoaire responsable de la maladie de Chagas à envahir les cellules hôtes selon l'analyse des informations qu'eux mêmes et d'autres groupes avaient produites ces 40 dernières années. Aussitôt qu'il s'installe dans une seule cellule, le *Trypanosoma cruzi* se différencie, se divise intensément, au point de rompre la cellule et libère ensuite des vésicules avec des protéines et des lipides (graisses) qui facilitent l'installation des parasites dans d'autres cellules.

«Il semblerait qu'il s'agisse d'un phénomène général», déclare Walter Colli, professeur de l'Institut de Chimie de l'Université São Paulo (USP) et superviseur de cette étude réalisée par Ana Cláudia Torrecilhas, de l'Université Fédérale de São Paulo (Unifesp), à Diadema, en collaboration avec Robert Schumacher et Maria Júlia Manso Alves, de l'USP. «D'autres groupes de parasites et de cellules tumorales libèrent également des vésicules qui fonctionnent de manière identique et qui facilitent l'infection des cellules hôtes».

Les spécialistes dans ce domaine, au Brésil et dans d'autres pays, sont enthousiasmés par la possibilité d'utiliser ces informations pour développer de nouvelles manières de lutter ou pour diagnostiquer des maladies tropicales largement répandues dans le monde. C'est le cas de la maladie de Chagas qui touche environ 10 millions de personnes en Amérique du Sud et qui est en train de devenir un problème de santé publique aux États-Unis.

Dans l'éditorial publié au mois de mai de cette année de la revue *PLoS Neglected Diseases*, des chercheurs étatsuniens et mexicains ont lancé une alerte sur l'avancée de la maladie de Chagas aux États-Unis, principalement chez les immigrants dans les états frontaliers avec le Mexique, où l'on estime que le nombre de personnes infectées s'élève à un million. Dans ce travail la maladie de Chagas a été baptisée comme «le nouveau Sida des Amériques», bien que l'un soit causé par un protozoaire transmis par un insecte et l'autre par un virus, principalement par contact sexuel. Les deux peuvent se transmettre par transfusion sanguine, sont plus fréquents chez les personnes plus pauvres, et exigent des traitements prolongés. En outre, la maladie de Chagas s'est révélée être une infection opportuniste importante chez les personnes vivant avec le VIH/Sida et, comme dans les deux premières décennies de l'épidémie de Sida, la plupart des personnes atteintes par la maladie de Chagas n'ont pas accès aux services médicaux de santé.

Le professeur Peter Hotez, de l'École de Médecine Baylor et Directeur de l'Institut des Vaccins Sabin, les deux à Houston, aux États-Unis, et premier auteur de l'éditorial du *PLoS*, a signé au mois d'août un article dans le *New York Times* soutenant la thèse que les maladies tropicales comme la maladie de Chagas, la dengue, la leishmaniose et la cysticercose étaient les «nouveaux fléaux de la pauvreté». Selon lui, 20 millions de personnes aux États-Unis vivent dans un état de pauvreté extrême. «Sans nouvelles interventions, ces maladies vont persister, fixant les personnes dans la pauvreté pour des décennies» déclare-t-il.

DIFFÉRENTES TAILLES

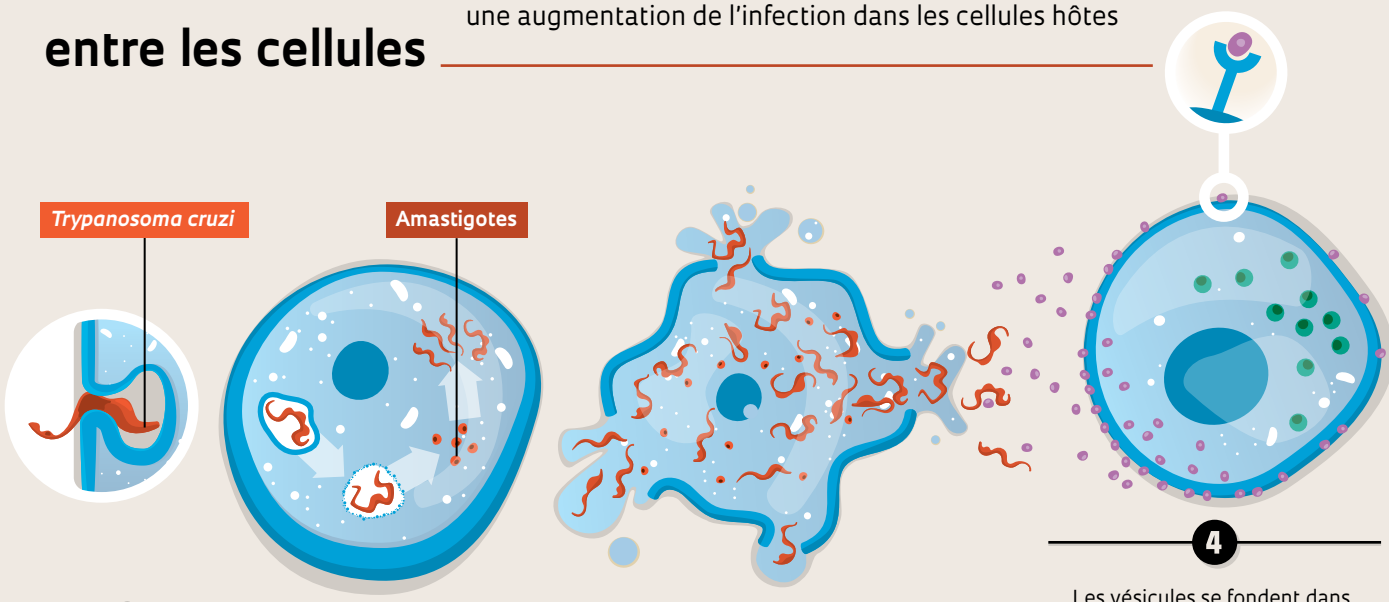
La production scientifique sur les vésicules est abondante (environ 3 500 articles sur ces structures ont été publiés ces cinq dernières années), mais il y a également de nombreux doutes. Le premier d'entre eux est de savoir comment nous devons baptiser ces compartiments remplis des protéines ? Dans un article publié au mois de février de cette année dans la revue *Proteomics and Bioinformatics*, deux chercheurs de l'Université de Trobe en Australie, ont remarqué que les microvésicules extracellulaires recevaient des noms différents en fonction de leur dimension, origine et composition. Un des types de vésicule l'exosome, avec un diamètre de 30 à 100 nanomètres, s'est révélé important car il possède de nombreuses fonctions comme celle de transférer le virus VIH vers les cellules cibles. Il possède un site exclusif qui lui est dédié, www.exocarta.org, avec pratiquement 150 études et 4 563 protéines identifiées jusqu'au début du mois de septembre. Il y a également d'autres types de vésicules pour le moment moins importants, comme l'ectosome, la grande vésicule de la membrane, et la bulle apoptotique qui peut mesurer 5 mille nanomètres et qui est libérée par des cellules agonisantes.

Les vésicules de *Trypanosoma cruzi* sont plus petites, avec 20 à 80 nanomètres de diamètre, et n'ont pas tout d'abord attiré beaucoup l'attention. À la fin des années 80, Marinei Gonçalves, Maria Júlia Manso Alves, Bianca Zingales et d'autres chercheurs de l'équipe de Colli ont, en identifiant les vésicules, pensé comme d'autres qu'il s'agissait seulement de matériel écarté, bien qu'ils aient déjà remarqué que des variétés plus virulentes de *Trypanosoma cruzi* libéraient davantage de vésicules que les moins virulentes.

Les années suivantes, d'autres études et des équipements plus sensibles ont montré que les protéines et les lipides des vésicules pourraient faciliter l'infection des cellules hôtes par le para-

Bataille
entre les cellules

Le parasite *Trypanosoma cruzi* libère des vésicules qui induisent une augmentation de l'infection dans les cellules hôtes



site. Ana Claudia Torrecilhas, dans son doctorat et post-doctorat supervisé directement par Maria Júlia, a constaté que les protéines des vésicules augmentaient la quantité et l'action des parasites dans les tissus et induisaient une réponse inflammatoire de l'hôte. Dans une étude réalisée sur des souris, elle a constaté que les vésicules facilitaient l'entrée du parasite dans les cellules du cœur et précédaient la mort des animaux.

Dans une étude qui sera publiée au mois d'octobre dans la revue *Microbes and Infection*, les chercheurs de l'USP et de l'Unifesp relatent que presque la moitié du contenu des vésicules est composée de glycoprotéines (protéines associées aux sucres). L'une d'elles est la trans-sialidase, enzyme spécifique de ce parasite, également découverte dans le laboratoire de Colli, et d'autres codifiées dans une superfamille de gènes (avec environ 700 gènes actifs et 700 pseudogènes) appelée gp85.

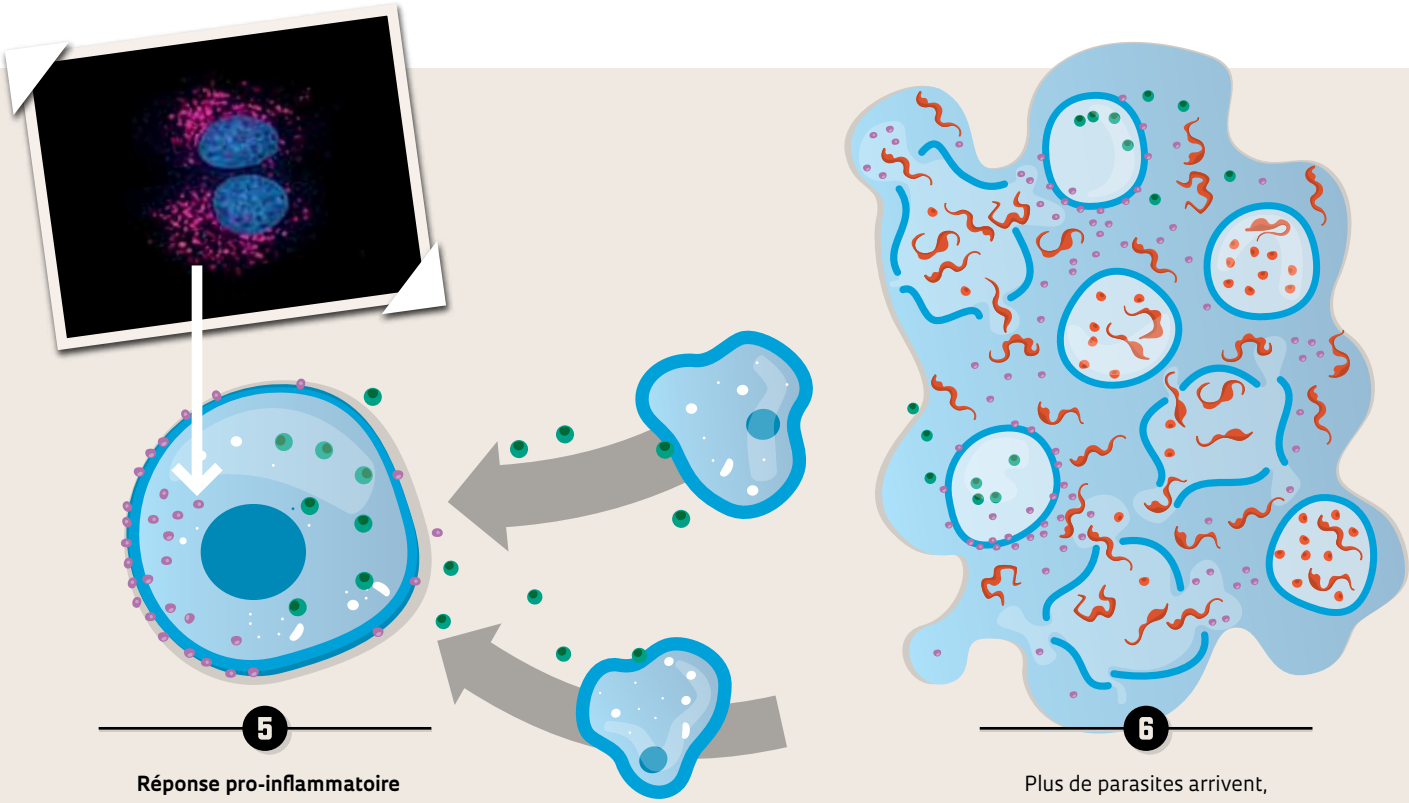
Ces molécules peuvent activer des protéines (ou récepteurs) de la membrane externe des cellules de défense comme les

Les parasites responsables de la maladie du sommeil et de la leishmaniose libèrent également des vésicules

macrophages, les cellules dendritiques et lymphocytes. À leur tour, les récepteurs stimulent la production d'oxyde nitrique et de molécules, comme l'interféron-gamma, le facteur de nécrose tumorale et l'interleukine-12. Ces molécules augmentent la réponse inflammatoire des cellules hôtes, attirant plus de cellules qui détruisent les parasites, mais qui endommagent également les cellules de l'organisme, facilitant l'invasion des parasites qui ont survécu à la bataille ou qui sont arrivés ensuite. Après l'invasion de *Trypanosoma cruzi* dans une cellule, les parasites ne manqueront pas. Selon Colli, un seul *Trypanosoma cruzi* se divise rapidement et en quelques heures peut se multiplier par 500 qui font exploser la cellule hôte, les libérant dans le milieu extracellulaire et le courant sanguin, ce qui leur permet d'atteindre d'autres cellules.

AUTRE PARASITES

«Les vésicules de *Trypanosoma cruzi* peuvent se fondre avec les macrophages en 15 minutes», déclare Ana Claudia. D'autres



5

Réponse pro-inflammatoire
Les cytokines activent d'autres cellules de défense qui peuvent éliminer les parasites

6

Plus de parasites arrivent, libérant plus de vésicules, et, par des mécanismes encore inconnus, modifient la réponse de l'organisme au profit des parasites

SOURCES WALTER COLLI/USP; ANA CLAUDIA TORRECILHAS/UNIFESP - DIADEMA **PHOTO MICROSCOPIE** ROBERT I SCHUMACHER/ USP **ILLUSTRATION** ALEXANDRE AFFONSO

chercheurs ont observé que deux autres groupes de protozoaires libèrent également des vésicules avec un fonctionnement identique pour un contenu probablement distinct. Le premier groupe concerne les protozoaires du genre *Leishmania*, responsable de la leishmaniose, qui s'est répandue dans 98 pays, avec 2 millions de nouveaux cas par an. Le deuxième concerne *Trypanosoma brucei*, avec des sous-espèces (*T. b. gambiense* e *T. b. rhodesiense*) responsable de la maladie du sommeil, qui touche environ 70 mille personnes en Afrique Subsaharienne.

Deux autres parasites, *Plasmodium falciparum*, responsable du paludisme et d'environ 1 million de morts par an en Afrique, et *Toxoplasma gondii*, responsable de la toxoplasmose, agissent d'une autre manière. Ils envahissent les cellules hôtes et celles-ci vont ensuite produire des vésicules avec les protéines des microorganismes envahisseurs qui sont libérées et alertent d'autres cellules de défense.

Les chercheurs prétendent rapidement savoir quelles sont les protéines des vésicules de *Trypanosoma cruzi* et d'autre protozoaires qui activent les réponses inflammatoires des cellules hôtes et de quelle manière la réponse de l'organisme est modifiée de manière à bénéficier les parasites. Cependant, il est déjà démontré clairement que les vésicules fonctionnent comme un type de signalisation ou de communication à distance entre les parasites et les cellules hôtes.

Différentes structures cellulaires ont été reconnues ces dernières années comme étant capable de détruire et également de bénéficier d'autres cellules. D'autres études ont montré que les cellules peuvent produire des structures appelées nanotubes à effet tunnel d'un diamètre de 50 à 200 nanomètres et d'une extension équivalente au diamètre de plusieurs cellules. Un lymphocyte peut se lier à un autre à travers ces tubes et envoyer des nutriments ou des composants cellulaires qui, dans le cas des cellules de défense, aident à prolonger (et généralement à vaincre) le combat contre les parasites et les cellules tumorales. ■

Projets

1. Interaction entre *Trypanosoma cruzi* et hôte: liants, récepteur et contraintes du développement intracellulaire – nº 04/03303-5; **Modalités** Projet thématique; **Coordonnatrice** Maria Júlia Manso Alves – IQ-USP; **Investissement** 1.248.031,59;

2. Vésicules libérées par *Trypanosoma cruzi*: rôles de ses composants dans l'infection – nº 04/08487-7.; **Modalités** Bourse de Post-doctorat; **Coordonnatrice** Ana Claudia Torrecilhas - IQ-USP; **Investissement** 204 190,40 reais (FAPESP).

Articles scientifiques

GONÇALVES, M.F. *et al. Trypanosoma cruzi*: Shedding of surface antigens as membranevesicles. **Experimental Parasitology**. v. 72, n. 1, p. 43-53. 1999.

TORRECILHAS A.C. *et al.* Vesicles as carriers of virulence factors in parasitic protozoan diseases. **Microbes and Infection** (*in press*). 2012.

TORRECILHAS A.C. *et al. Trypanosoma cruzi*: parasite shed vesicles increase heart parasitism and generate an intense inflammatory response. **Microbes and Infection.** v. 11, p. 29-39. 2009.

SIMPSON, R. J. et MATHIVANAN, S. Extracellular microvesicles: the need for internationally recognised nomenclature and stringent purification Criteria. **Proteomics& Bioinformatics.** v. 5, n. 2, p. ii. 2012.

HOTEZ P.J. *et al.* Chagas Disease: the new HIV/AIDS of the Americas. **PLoS Neglected Tropical Diseasis.** v. 6, n. 5, p. e1498. 2012.

Transporteurs notables

Des particules synthétiques réduisent la toxicité et amplifient l'action de médicaments contre le cancer

PUBLIÉ EN FÉVRIER 2013

Représentation artistique d'un réseau d'artères

IMAGE PASIEKA/SCIENCE PHOTO LIBRARY / SPL RF / LATINSTOCK

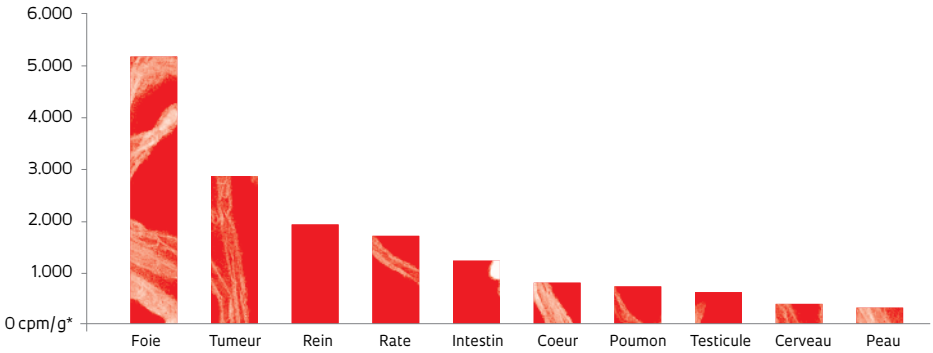
Quand le médecin Raul Maranhão a présenté dans des revues scientifiques nationales et internationales une stratégie de traitement contre le cancer basée sur des particules compactes de cholestérol artificiel, il n'aurait jamais imaginé, il y a vingt et un ans, qu'il pourrait vivre autant de surprises, de déceptions, de renversements et de changements de cap pour mener à bien son projet. Pas à pas, il a réalisé des expériences sur des modèles animaux et ensuite sur des groupes limités de personnes souffrant de cancer pour arriver à la conclusion que les nanoémulsions lipidiques appelées LDE pourraient agir comme une plateforme pharmaceutique capable de transporter des médicaments vers des cibles prédéfinies et de réduire la toxicité, un problème sérieux et habituel chez les antitumoraux car les effets secondaires sont souvent si intenses qu'ils conduisent à en limiter l'usage, à réduire le dosage et à provoquer l'arrêt du traitement. «Nous avons apprivoisé certains agents chimiothérapeutiques», déclare sereinement Raul Maranhão, en début d'année, dans sa salle située au deuxième sous-sol de l'Institut du Cœur (InCor) de l'Université de São Paulo (USP).

Il affiche ensuite sur l'écran de l'ordinateur un tableau qui résume les effets secondaires chez les 46 personnes traitées avec de la carmustine (un antitumoral d'une toxicité élevée) combinée avec des sphères de cholestérol artificiel. Avec ce traitement, les effets les plus habituels comme la nausée, les vomissements, l'alopécie (perte de cheveux), l'anémie, la perte intense de cellules de défense et des modifications hépatiques ou rénales, évalués à des degrés 1, 2 et 3, ont été minimes même avec un dosage de 350 milligrammes qui est quatre fois plus élevé que le dosage normalement adopté. «Les résultats sont sans aucun doute probants et ne présentent pas de perte de l'action pharmacologique» commente-t-il.

Il n'est pas simple de faire en sorte que ces stratégies fonctionnent. Il y a une bataille mondiale visant à réduire la toxicité des médicaments, ce qui pourrait signifier une augmentation des options thérapeutiques pour les médecins et moins de troubles pour les personnes en traitement. Des équipes de l'Université Publique de Campinas (Unicamp) et de l'Institut Butantan étudient également d'autres types de particules qui se sont montrées efficaces pour améliorer l'action de médicaments ou de vaccins. Dans chaque cas, les nouvelles combinaisons devront passer par tous les tests de sécurité et de toxicité sur des modèles animaux et ensuite sur des êtres humains (si elles ont des performances satisfaisantes dans toutes les expériences), avant d'être utilisées à grande échelle.

PRINCIPALES CIBLES

Concentration de particules de cholestérol (LDE) avec taxol, marquées avec des éléments radioactifs, dans des tissus ou des organes de souris



*cpm/g: radioactivité des particules par gramme de tissu

RCE LABORATOIRE DES LIPIDES / INCOR-USP

Raul Maranhão a du surmonter de nombreuses difficultés scientifiques, techniques et bureaucratiques avant de voir les sphères contenant le médicament se concentrer sur les tumeurs (voir graphique ci-dessus) et aller de l'avant. Les LDE sont riches en cholestérol, ont une structure identique à la lipoprotéine de basse densité (LDL) et un diamètre de 20 à 60 nanomètres (1 nanomètre équivaut à 1 millionième de millimètre), et sont captées par les cellules par des récepteurs de LDL, abondants dans les cellules tumorales. «Nous dupons les cellules tumorales en leur offrant une matière première dont elles ont besoin pour se multiplier avec un médicament qui va les détruire», déclare-t-il.

Deux autres antitumoraux, paclitaxel (taxol) et étoposide, ont été plus difficile à apprivoiser. En compagnie d'Hélio Stefani, collègue de la Faculté de Sciences Pharmaceutiques de l'USP, Raul Maranhão les a trempés dans un acide gras, un type de graisse pour augmenter leur adhésion aux sphères de LDE. «Dans des tests sur des souris et sur des personnes atteintes de cancer, la toxicité a diminué drastiquement», affirme-t-il. Cela ne fonctionne pas toujours. La toxicité du méthotrexate n'a pas chuté. «Je ne saurais pas dire pourquoi, mais il faudrait peut être réduire le dosage, car la combinaison avec les LDE permet aux cellules tumorales de capter davantage le médicament».

DES TESTS DANS DES HÔPITAUX

Une forte production scientifique et les résultats initiaux des tests cliniques (réalisés depuis 1990 sur environ 200 personnes) ont servi d'argument pour deux études cliniques plus amples en cours dans des hôpitaux publics de São Paulo. Dans l'un des hôpitaux, 23 personnes souffrant de cancer de la prostate, du sein, de l'ovaire et du poumon, dont certains déjà avec une métastase osseuse, ont reçu du taxol et la LDE à l'Institut du Cancer Arnaldo Vieira de Carvalho, après avoir suivi d'autres traitements. Le niveau d'antigène prostatique spécifique (PSA) est passé de 100 à 10 nanogrammes par décilitre de sang, indiquant une régression du cancer de la prostate après sept mois de traitement sur deux individus, selon Sílvia Graziani, médecin du service d'oncologie clinique de l'institut. «Pour les cancers de l'ovaire et du sein nous avons constaté une stabilisation de la maladie et une amélioration significative du cadre clinique, compte-tenu de l'absence d'effets secondaires communs à la chimiothérapie», dit-elle. «Nous avons vu beaucoup de patients déjeuner pendant qu'ils faisaient leur chimiothérapie», relate Raul Maranhão. Les médications administrées pour éviter les vomissements, un effet habituel du traitement, avaient été écartées.

«Les LDE ont une affinité élevée avec les tissus enflammés ou avec des zones d'intense division cellulaire», déclare Raul Maranhão. Cette caractéristique a conduit à d'autres possibilités d'utilisation, comme le traitement de l'athérosclérose, une maladie inflammatoire chronique caractérisée par l'accumulation de plaques de graisse dans les veines et les artères. Dans l'une des expériences, des artères de lapin avec des plaques de cholestérol ont, comme les tumeurs, captées trois fois plus de LDE que les autres tissus ou organes. «Les LDE avec paclitaxel ont nettoyé les artères des lapins», dit-il, montrant une succession de photos et de graphiques. Les informations qu'il a réunies ont servi d'argument pour tester la sécurité de l'usage d'une combinaison de taxol avec la LDE sur un groupe de 10 personnes en traitement et sélectionnées à l'Institut Dante Pazzaneze de Cardiologie, à São Paulo. Les résultats, décrits dans un article en phase finale d'élaboration, indiquent que cette stratégie peut réduire l'inflammation qui accompagne la formation de plaques de graisse dans les artères coronaires chez les personnes ayant déjà eu un infarctus. «Nous avons pratiquement

IMAGES 1 LQES / UNICAMP **2 ET 3** INCOR / USP

éliminé la toxicité», déclare-t-il. Les évidences impressionnent également car elles ouvrent des possibilités pour l'utilisation d'un antitumoral, le taxol, pour traiter les maladies cardiaques.

Des nanotubes de carbone ont activé des cellules de défense et ont amplifié les réponses contre les antigènes

DE NOUVEAUX VACCINS EN VUE

Les particules qui transportent le médicament peuvent faire davantage que ce que l'on attend d'elles et modifier d'autres caractéristiques qui contrarient l'utilisation de médicaments. À l'Unicamp, l'équipe du chimiste Oswaldo Alves a apparemment réussi à surmonter une limitation de la camptotécine, antitumoral difficile à administrer pour être insoluble, conformément aux tests réalisés sur des cellules tumorales à l'Université Fédérale de São Paulo (Unifesp).

«Nous avons créé une suspension avec des nanoparticules de silice et la camptotécine est entrée dans les cellules comme si elle était soluble», observe Amauri Jardim de Paula, chercheur du groupe d'Oswaldo Alves. «Nous pouvons aujourd'hui synthétiser des nanostructures en conservant un contrôle élevé des propriétés chimiques et physiques de la surface et de l'intérieur, de manière à ce que la surface réussisse à attirer et l'intérieur à repousser les molécules d'eau».

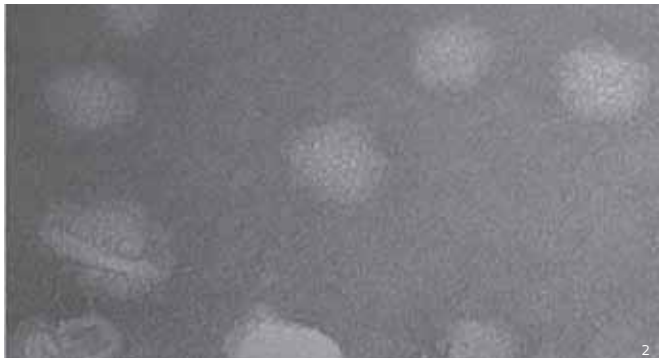
Dans l'article de couverture du Journal of the Brazilian Chemical Society d'octobre 2012, Oswaldo Alves a montré un aspect important démontrant la fiabilité de l'utilisation des nanoparticules mésoporeuses de silice. En effet, ces nanostructures ne détruisent pas les hématies du sang dans des conditions réelles, immergées dans du plasma, indépendamment de la charge électrique de la surface des particules; des études antérieures faites dans une solution de cellules avaient suggéré qu'elles pourraient les détruire.

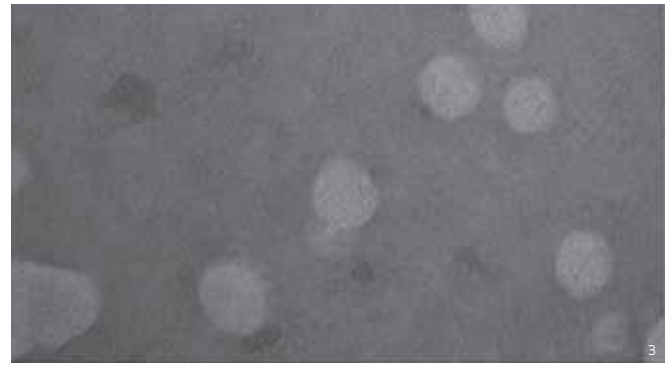
Un type de silice poreuse nanostructurée appelée SBA-15 s'est révélée efficace pour transporter des vaccins par voie orale, selon les résultats des études menées depuis 2002 en collaboration avec l'Institut Butantan, l'Université de São Paulo et le Laboratoire Cristália. Des tests avec le vaccin contre l'hépatite B réalisés sur des souris ont montré que des antigènes viraux transportés par les sphères de silice parviennent à traverser l'environnement extrêmement acide de l'estomac, auquel la plupart des protéines ne résistent pas, et à être absorbé dans l'intestin.

«Nous en sommes maintenant à une phase de planification pour réaliser des tests sur des volontaires», dit Osvaldo Sant'Anna, chercheur à l'Institut Butantan et enthousiasmé par l'idée de développer davantage la vaccination par voie orale, limitée à Sabin, contre la poliomyélite. Il estime que si les tests avancent et que les résultats sont positifs, les particules de silice pourraient transporter plus d'un vaccin à la fois et de manière moins invasive que les techniques actuelles d'application (injections) Elles permettraient également une économie considérable en dispensant l'usage d'aiguilles et de seringues, augmenteraient le nombre de personnes vaccinées, et d'administrer des doses plus faibles que les doses actuelles.

Diego Stéfani Teodoro Martinez, de l'équipe d'Oswaldo Alves, a préparé des nanotubes de carbone de 10 à 40 nanomètres de diamètre et de 10 micromètres de longueur trempés dans des antigènes. Cette combinaison a amplifié la réponse de l'organisme comparée à celle induite seulement par des antigènes, dans des tests préliminaires menés sur des souris à l'Institut Butantan, en partenariat avec Osvaldo Sant'Anna. «Les nanotubes ont apparemment un effet immunostimulant», déclare Diego Stéfani Teodoro Martinez «car ils ont possiblement activé les macrophages, un type de cellule de défense, et la libération de cytokines» qui sont les molécules de communication du système immunologique.

Véhicules spéciaux: nanotubes de carbone purifiés (*en rouge*) et nanoémulsion lipidique seule (*à gauche*), avec méthotrexate (*à droite*)


1


2

D'autres combinaisons de transporteurs et de médicaments peuvent également produire des résultats impressionnants. Des groupes de l'Unicamp, de l'USP et de l'Unesp coordonnés par Wagner Fávaro et Nelson Duran, les deux de l'Unicamp, ont réussi à réduire d'environ 10 fois la dose du médicament immunomodulateur P-Mapa, sans qu'il perde son efficacité contre le cancer de la vessie, en utilisant un polymère commercial appelé Poloxamer ou Pluronic, dans des tests préliminaires réalisés sur des modèles animaux.

«Le Pluronic a du faciliter l'entrée du P-Mapa dans la couche de cellules qui revêt l'intérieur de la vessie urinaire», commente Wagner Fávaro. «C'est une excellent résultat». Si cet effet est confirmé par les études en cours il permettra une économie notable du médicament et améliorera son action, outre le fait de réduire les risque éventuels des effets toxiques car le P-Mapa et les sphères de LDE n'ont apparemment pas provoqué de réactions hostiles et n'ont pas indiqué de risques pour la santé, selon les derniers tests.

Dans les études menées à l'Unicamp et à l'Université de l'État du Colorado, aux États-Unis, avec un financement du réseau de recherche Farmabrasilis, de la FAPESP, du Conseil National de Développement Scientifique et Technologique (CNPq), des Instituts Nationaux de santé (NIH) étasuniens et de l'Unesp de Botucatu, le P-Mapa a été capable d'enrayer la progression du cancer de la vessie et de réduire la croissance de colonies de bactéries à l'origine de la tuberculose en modèle animal. Dans des études sur des souris porteuses du cancer de la vessie, le P-Mapa a montré une efficacité supérieure à celle du vaccin BCG, le meilleur traitement disponible pour cette maladie, comme cela est décrit dans un article publié en juin 2012 dans la revue Infectious Agents and Cancer.

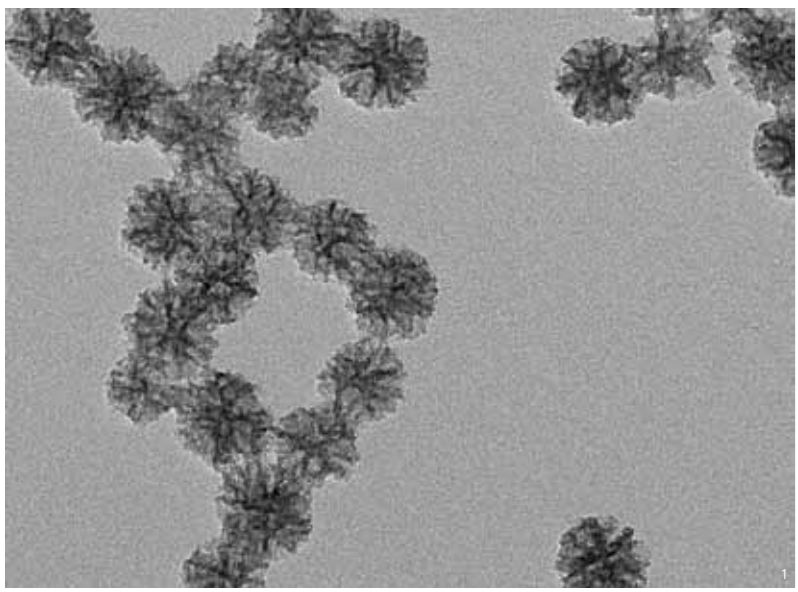
Avant d'arriver à ces résultats qui semblent maintenant simples, il a fallu prendre des décisions difficiles. En 2006, Oswaldo Alves s'est trouvé face à un dilemme qui était de savoir s'il devait acheter ou synthétiser les nanotubes de carbone. Il les a acheté mais s'est aperçu qu'il ne s'agissait pas d'une substance pure comme elle aurait du l'être. Il a donc commencé à se méfier des résultats (positifs ou négatifs) des expériences, sans savoir s'ils étaient dus soit à l'action des nanotubes soit aux impuretés.

«Pratiquement personne ne questionne l'origine et la pureté des échantillons des nanostructures utilisées dans les expériences», déclare Alves

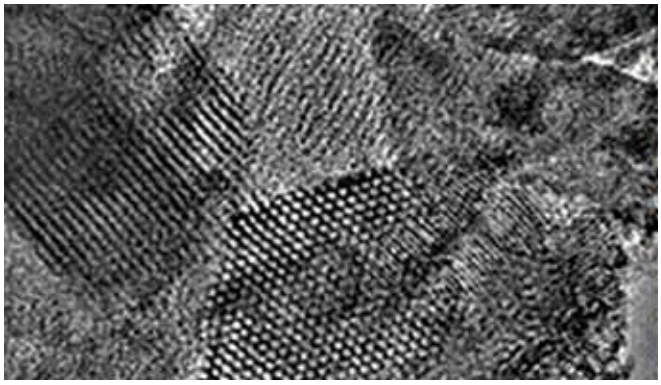
«La pureté a été un point négligé» dit-il. Dans la précipitation pour publier des résultats, pratiquement personne ne questionne l'origine des échantillons de nanostructures utilisés dans les expériences, on suppose simplement qu'ils sont purs». Oswaldo Alves et son groupe ont développé leurs propres techniques de purification et aujourd'hui retirent 98 % des résidus métalliques et carbonés des nanomatériaux importés. La substance obtenue après purification dans le laboratoire de Chimie de l'État Solide de l'Unicamp est différente de l'originale au point d'avoir gagné les noms de LQES-1 et LQES-2. L'autre enjeu permanent, selon lui, est «d'identifier d'autres chimistes, physiciens, biologistes et médecins désirant travailler sur les nanostructures et croyant qu'il est possible de faire une science brésilienne de qualité».

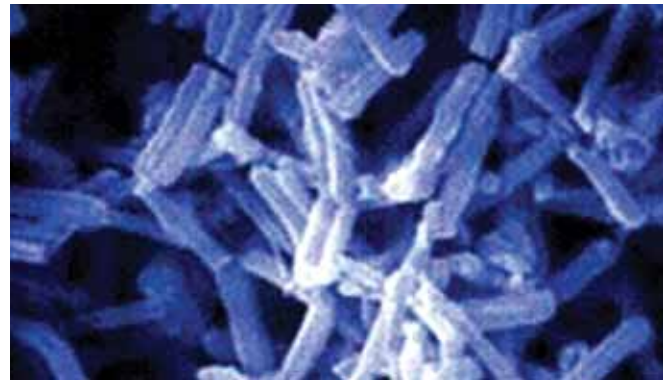
«Seuls nous ne pouvons pas avancer», répète Raul Maranhão, qui a du affronter plusieurs dilemmes. L'un d'eux était de savoir où il devait publier ses résultats. S'il les diffusait trop en choisissant les revues les plus lues, il pourrait être dépassé par d'autres groupes qui pourraient avancer plus vite. Ne pas publier était impensable car ce sont les articles scientifiques qui apportent de la crédibilité et de la visibilité à tout chercheur. La solution trouvée a été de publier ses résultats dans des revues médicales d'impact moyen, «sans faire trop de bruit».

Quand il a commencé, il n'y avait pas de législation en matière de brevet pour les nouveaux produits pharmaceutiques, ni de concept de nanotechnologie médicale, ni d'entreprises nationales



IMAGES 1 LQES / UNICAMP 2 E 3 INCTTOX / INSTITUT BUTANTAN





Deux types de nanoparticules mésoporeuses de silice: celle de l'Unicamp, avec des pores qui repoussent l'eau et une surface qui l'attire (*page ci-contre*); et celle de l'Institut Butantan-USP, avec des pores hexagonaux (*ci-dessus, à gauche*) et en forme de tubes cylindriques (*à droite*)

intéressées par le développement de médicaments dans le pays. Il a contacté quelques entreprises étrangères avec l'espoir de trouver des partenaires qui pourraient l'aider dans la production et le développement des nanoparticules, mais les fusions et les acquisitions d'entreprises ont interrompu les négociations. Il s'est donc rendu compte qu'il devrait produire lui-même et a installé un laboratoire de production à côté de sa salle à l'InCor en payant une fortune pour acheter des agents chimiothérapeutiques importés jusqu'à ce que les indiens et les chinois commencent à les vendre à des prix bien plus avantageux. «C'est comme un jeu d'échec, la stratégie précède souvent la science», dit-il.

LA PROCHAINE BATAILLE

Raul Maranhão a du pénétrer dans des domaines qu'il ne connaissait pas et former des équipes, un autre risque, car le rythme de travail et la rigueur méthodologique des membres d'un groupe peuvent diverger. «Par chance je n'ai jamais eu de problèmes avec mes collaborateurs» garantit-il, «et je dois beaucoup à mes collègues médecins et professeurs comme Sílvia Graziani, Noedir Stolf, Vânia Hungria, Eloisa Bonfá, Roberto Hegg, Jesus Carvalho, Durvanei Maria et beaucoup d'autres qui ont collaboré à ce projet depuis de nombreuses années et qui font un travail de très haute qualité».

Il raconte qu'il a eu des problèmes avec des donneurs d'avis, nécessairement anonymes, pour ses demandes de financement, qui critiquaient son manque d'objectif bien défini car il explorait d'autres applications médicales des LDE, on lui demandait aussi de fournir des détails qu'il n'avait pas et qui ne le souciaient absolument pas. «Nous sommes nos propres bourreaux», a déclaré un autre professeur de l'USP, qui suit le travail de Raul depuis des années.

Pour ceux qui pensent qu'après avoir découvert une molécule apparemment fantastique les étapes suivantes de la recherche et du développement seront simples, Raul Maranhão prévient: «On ne doit jamais relâcher son attention. Si vous voulez vraiment assumer la chose, il faut vous préparer à parcourir un long chemin».Le sien n'est pas encore terminé. La prochaine bataille en vue sera l'enregistrement des combinaisons entre les LDE et les médicaments auprès des organismes régulateurs du gouvernement.

«Grâce à l'argumentation scientifique et médicale que nous avons déjà et compte tenu de l'urgence pour de nouveaux médicaments contre le cancer, notre demande d'enregistrement aux États-Unis pourra facilement entrer dans un processus fast track». Fast track c'est le chemin rapide et simplifié adopté par le gouvernement fédéral étasunien pour approuver de nouveaux médicaments. Au Brésil, il n'y a pas de fast track le processus d'enregistrement exige de nombreux documents et prend de nombreuses années avant d'obtenir l'autorisation finale. Une entreprise brésilienne a déclaré avoir envoyé 70 kilos de documents à l'organisme responsable à Brasilia et avoir attendu sept ans avant d'obtenir l'enregistrement d'un médicament brésilien similaire au Viagra. ■ **Carlos Fioravanti**

Projets

1. Nanoparticules lipidiques: applications dans l'étude de la physiopathologie, dans le diagnostic et la thérapie des maladies dégénératives – n° 06/58917-3; **Modalité** Projet thématique; **Coordonnateurs** Raul Cavalcante Maranhão – USP; **Investissement** 1 406 940,52 reais (FAPESP);

2. Nouvelles stratégies thérapeutiques pour le cancer de la vessie urinaire non muscle invasif – n° 12/20706-2; **Modalité** Ligne Régulière d'Aide au Projet de Recherche; **Coordonnateurs** Wagner José Fávaro – Unicamp; **Investissement** 133 260,00 reais (FAPESP);

3. Production de nanostructures mésoporeuses à base de silice pour le transport d'agents antitumoraux hydrophobiques– n° 09/10056-8; **Modalité** Doctorat; **Coordonnateurs** Amauri Jardim de Paula – Unicamp; **Investissement** 110 201,13 reais (FAPESP)

Articles scientifiques

FÁVARO, W.J. et al. Effects of P-Mapa immunomodulator on toll-like receptors and p53: potential therapeutic strategies for infectious diseases and cancer. **Infectious Agents and Cancer**. v. 7, n. 14.2012 (on line).

KRETZER, I.F. et al. Drug-targeting in combined cancer chemotherapy: tumor growth inhibition in mice by association of paclitaxel and etoposide with a cholesterol-rich nanoemulsion. **Cellular Oncology**. v. 35, n. 6, p. 451-60. 2012.

PAULA, A.J. et al. Suppression of the hemolytic effect of mesoporous silica nanoparticles after protein corona interaction: independence of the surface microchemical environment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. v. 23, n. 10, p. 1.807-14. 2012.

Évolution inscrite sur les lianes

Des botanistes utilisent des plantes grimpantes pour comprendre l'origine de forêts brésiliennes

Ricardo Zorzetto

PUBLIÉ EN OCTOBRE 2012

Aucun défi ne semble capable d'intimider la botaniste Lúcia Garcez Lohmann, spécialiste en systématique de plantes de l'Université de São Paulo. À la fin de son cursus de biologie en 1995, alors âgée de 22 ans, elle s'est attaquée à une tâche qui aurait fait reculer n'importe quel chercheur chevronné. Elle est partie en quête d'une réponse définitive à une question qui occupait les botanistes depuis plus de deux siècles : comprendre la parenté et l'histoire évolutive et biogéographique des 382 espèces de lianes qui sont réparties sur une grande superficie des Amériques – du sud du Mexique au nord de l'Argentine et du Chili – et rendent les forêts tropicales si différentes des forêts tempérées. Après avoir parcouru le monde pour voir les collections des musées et passé plusieurs mois dans les forêts d'Amérique Centrale et du Sud pour collecter de nouveaux exemplaires, elle a élaboré un système de classification ayant pour base le rapport de parenté entre les espèces en utilisant leurs caractéristiques génétiques et morphologiques. Elle commence aujourd'hui à comprendre quand, où et comment est apparue une si grande variété de lianes – il faut savoir que ces espèces représentent quasiment la moitié des bignoniacées, une famille de plantes aux fleurs en forme de cloche qui inclut des arbres comme les tabebuias et les jaracandas. Dans le même temps, elle s'apprête à débuter un projet encore plus ambitieux : tenter de comprendre ce qui a conduit la forêt amazonienne à abriter la plus grande variété de plantes et animaux du monde. En somme, ce qui a permis à l'Amazonie d'être l'Amazonie.

En collaboration avec l'ornithologue nord-américain Joel Cracraft, elle coordonnera pendant cinq ans le travail d'une trentaine de chercheurs (la moitié du Brésil et l'autre moitié des États-Unis) qui vont analyser des données sur des plantes, des animaux et le milieu pour tenter d'expliquer la biodiversité de la plus grande forêt tropicale du monde. Approuvé en septembre 2012, le projet est le résultat d'une coopération entre la FAPESP et la National Science Foundation, des États-Unis. Par le biais des programmes *Biota-FAPESP* et *Dimensions of Biodiversity*, chaque fondation versera près de 2 millions de dollars US pour la recherche. Lúcia Lohmann dit ne connaître «aucun autre projet qui se propose de produire une vision si globale et intégrée de l'Amazonie. [...] l'idée est de faire une synthèse de tout ce que l'on sait sur la région et construire un modèle théorique qui explique mieux l'origine de sa biodiversité».

Depuis près de 40 ans, l'origine de la très grande variété de plantes et d'animaux de l'Amazonie est expliquée à la lumière de la théorie des refuges – proposée à la fin des années 1960 par le géologue allemand Jürgen Haffer et testée par le zoologiste Paulo Vanzolini. D'après ce modèle, des altérations climatiques ont rendu la région plus sèche et diminué la taille de la forêt, qui a occupé des zones restreintes et isolées. Nommées refuges, ces zones auraient permis la survie de beaucoup d'espèces et favorisé

FÁBIO COLOMBINI

Lianes dans la forêt atlantique d'Itatiaia (état de Rio de Janeiro) : les lianes du groupe Bignonieae peuvent aider à raconter l'histoire évolutive de plusieurs écosystèmes

l'apparition d'autres, qui se sont ensuite dispersées quand le climat est redevenu humide et que la forêt s'est étendue. Mise à l'épreuve plusieurs fois, la théorie des refuges ne semble plus suffire pour expliquer la biodiversité amazonienne.

L'une des raisons de la remise en cause est que l'idée des refuges comme centres de diversité d'espèces peut être la conséquence d'une distorsion étant donné que les refuges coïncident souvent avec les zones de plus grande collecte d'exemplaires de plantes et d'animaux. Peut-être a-t-on trouvé davantage d'espèces dans les refuges parce qu'on a plus cherché là qu'ailleurs, et non parce qu'ils seraient forcément plus riches en espèces. «Celui qui étudie la biodiversité teste la théorie des refuges par manque d'option», déclare la botaniste.

Avec le nouveau projet, elle souhaite créer avec Cracraft un modèle théorique plus global pour expliquer la biodiversité amazonienne. Chercheur au Musée d'Histoire Naturelle de New York, Cracraft espère à la fin des cinq années «comprendre en détail les normes de biodiversité qui ont lieu en Amazonie et être capable de résoudre certaines controverses sur l'histoire environnementale de la région. Avec Lúcia Lohmann et d'autres chercheurs, ils travaillent à l'organisation de cette étude depuis près de quatre ans : «Nous avions un intérêt scientifique pour l'Amazonie et plusieurs d'entre nous avaient déjà publié des travaux sur la région. [...] Mais comprendre l'histoire biotique et environnementale de l'Amazonie est quelque chose de trop grand et trop complexe pour être résolu par un petit nombre de chercheurs. C'est pourquoi un projet à plus grande échelle se justifiait».

«Nous voulons reconstruire ce qui s'est produit en Amazonie au cours des 20 derniers millions d'années», indique Lúcia Lohmann

La première tâche sera de réunir toute l'information disponible sur certains groupes de la flore et de la faune amazoniennes. Il s'agit d'identifier les zones de plus grande concentration d'espèces et voir si cette concentration est associée à une caractéristique environnementale (géologique ou climatique). Les chercheurs s'attacheront ensuite à récupérer l'histoire évolutive de toutes les espèces de plantes, papillons, oiseaux et mammifères qu'ils auront réussi à échantillonner. À partir d'informations génétiques et de la datation de fossiles, ils veulent identifier les moments principaux de diversification d'espèces ainsi que les lieux où se trouvaient les ancêtres de chaque groupe. Ils ont également l'intention de voir si les événements de diversification sont associés à des phénomènes géologiques, climatiques et autres caractéristiques environnementales du passé, comme les variations de disponibilité de carbone et de nitrogène. «Nous voulons reconstruire ce qui s'est produit au cours des 20 derniers millions d'années, parce qu'on suppose que c'est à ce moment-là que sont apparues beaucoup d'espèces qui vivent dans la région», explique Mme Lohmann.

Une grande partie du travail qui doit être fait en Amazonie ne diffère pas beaucoup de celui qu'elle a réalisé avec 382 espèces de lianes du groupe *Bignonieae*, le plus grand des groupes ou tribus de la famille des bignoniacées. À partir de la généalogie qu'elle a construit, elle a commencé avec son équipe à dévoiler l'histoire évolutive de ces plantes qui représentent le plus grand groupe de lianes – plantes grimpantes dont la tige ressemble à du bois – des Amériques. Elles ont des formes si variées, se propagent dans tellement de milieux et sont si abondantes dans les forêts tropicales qu'elles servent de modèle aux botanistes pour comprendre ce qui se passe pour les autres espèces de plantes fleuries.

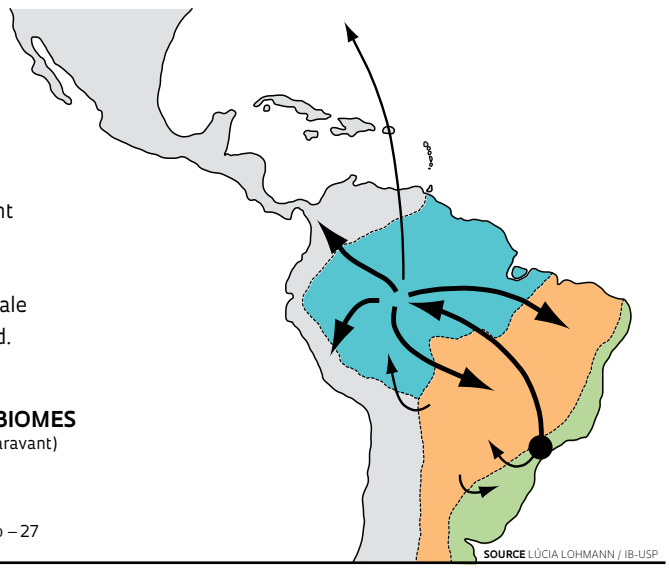
L'ORIGINE

Sur la base de données moléculaires et de la nouvelle généalogie, Lúcia Lohmann peut affirmer avec plus de certitude que les lianes du groupe *Bignonieae* sont apparues il y a près de 50 millions d'années dans la région qui est aujourd'hui la côte brésilienne occupée par la forêt atlantique – comme elle l'écrit dans l'article à paraître dans *Botanical Journal of the Linnean Society*. À cette époque, l'Amérique du Sud était déjà séparée de l'Afrique. Le climat était chaud et humide, les dinosaures avaient déjà disparu et une grande variété de mammifères commençait à occuper la planète.

L'ancêtre de ces 382 espèces de lianes était probablement un arbre, et non une plante grimpante. Les fleurs de l'ancêtre des *Bignonieae* avaient cinq pétales et une forme de trompette, avec des organes sexuels internes et une région productrice de nectar au fond. Elles ressemblaient aux fleurs du genre *Anemopaegma*, qui sont violettes, blanches ou jaunes.

La conquête d'un continent

Originaires de la côte d'Amérique du Sud, les lianes du groupe Bignonieae se sont propagées dans les régions humides à l'intérieur du continent avant d'atteindre les zones au climat plus sec, l'Amérique Centrale et l'Amérique du Nord.



OCCUPATION DES BIOMES
(*en millions d'années auparavant)

- Forêt atlantique – 50
- Amazonie – 39
- Cerrado, caatinga, Chaco – 27

SOURCE LÚCIA LOHMANN / IB-USP

PHOTOS 1 ET 3 LÚCIA LOHMANN 2 G. GERLACH

2

De gauche à droite : les lianes *Dolichandra unguis-cati, Martinella abovata, Pyrostegia venusta* : originaires d'Amazonie et rencontrées dans presque toute l'Amérique

3

C'est la conclusion à laquelle ont abouti ensemble Lúcia Lohmann et la botaniste Suzana Alcantara après avoir analysé l'évolution de 12 caractéristiques anatomiques des fleurs de *Bignonieae*. D'après cette dernière, «les fleurs de la première *Bignonieae* étaient probablement violettes et pollinisées par des petites abeilles».

La morphologie externe des fleurs semble être la caractéristique la plus sujette aux transformations. Bien que la plus grande partie soit pollinisée par des abeilles, des fleurs de couleurs plus vives (rouges ou jaunes) et dont la forme facilite la pollinisation par les colibris sont apparues 11 fois parmi les 104 espèces analysées par les deux botanistes. D'autres fleurs (généralement blanches, avec un tube plus étroit et allongé) libérant un parfum plus intense et attrayant pour les hétérocères sont apparues cinq fois. Mais ce qui semble avoir réellement influencé la dispersion de ces plantes, ce sont les caractéristiques du milieu, comme la disponibilité d'eau et de lumière et la variation de température.

NOUVELLES FRONTIÈRES

À partir du littoral, les Bignonieae ont parcouru un long chemin dans les Amériques. Elles sont arrivées il y a 39 millions d'années dans la région de l'Amazonie actuelle, qui compte aujourd'hui la plus grande diversité d'espèces. Puis elles se sont dispersées dans les Andes, en Amérique Centrale et en Amérique du Nord. Elles ont occupé le cerrado [région de savane], la caatinga [forêt épineuse] et le Chaco [plaine semi-désertique] plus tard – il y a 27 millions d'années.

À chaque migration vers ces écosystèmes plus secs, elles ont subi des modifications drastiques au niveau de la morphologie : les plantes grimpantes ont cédé la place à des arbustes, avec une série d'adaptations probables au nouveau milieu où la luminosité est plus forte et où il n'est pas nécessaire de croître en s'accrochant à un arbre pour recevoir de la lumière.

Pendant cette migration, elles ont perdu les vrilles, des filaments qui s'enroulent autour de la tige des arbres et leur permettent d'atteindre le sommet. Parallèlement, de petites structures de la tige et des feuilles qui produisent du nectar (les nectaires extra-floraux) semblent avoir cessé d'exercer une fonction protectrice. Dans la forêt, ils existent en grande quantité et attirent des fourmis qui, à leur tour, font fuir les insectes herbivores. Membre de l'équipe de Lúcia Lohmann, l'écologue Anselmo Nogueira explique : «À chaque transition des forêts humides vers des zones plus sèches, le nombre de nectaires a diminué, ce qui a modifié les interactions entre ces nectaires et les fourmis et herbivores. [...] Ces transitions morphologiques ont ouvert la porte d'autres milieux pour les Bignonieae, et ont certainement contribué à leur très grande diversification».

Aujourd'hui, Lúcia Lohmann et son équipe compilent des données sur la période où sont apparues ou ont disparu ces caractéristiques des Bignonieae. Il s'agit de voir si les changements sont des innovations qui ont permis l'occupation de nouveaux milieux, ou s'ils ont eu lieu après l'arrivée dans les nouveaux biomes en vue de s'adapter à des conditions environnementales différentes. La botaniste est convaincue que «l'histoire évolutive des Bignonieae peut aider à clarifier les origines et l'évolution des écosystèmes tropicaux comme un tout». ■

PROJETS

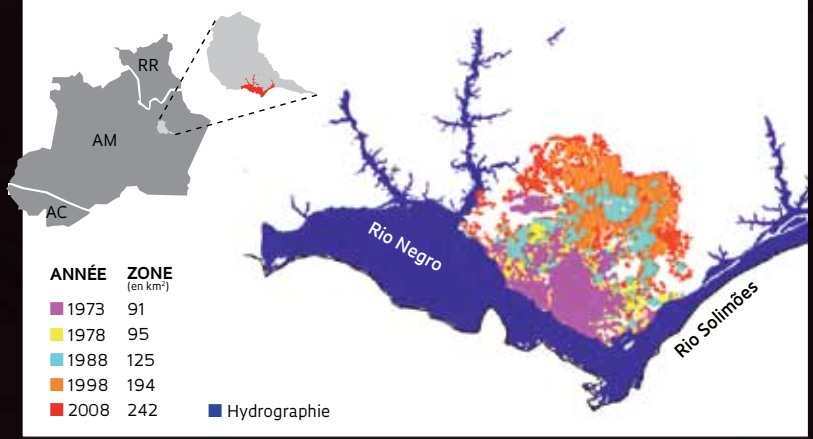
1. Systématique de la tribu Bignonieae (Bignoniaceae) - n° 2011/50859-2; **Modalité** Soutien Régulier au Projet de Recherche; **Coordonnatrice** Lúcia Garcez Lohmann – IB/USP; **Investissement** 721 836,88 reais (FAPESP);

2. Structuration et évolution du biote amazonien et son milieu : une approche intégrative - n° 2012/50260-6; **Modalité** Programme Biota – Projet Thématique; **Coordonnatrice** Lúcia Garcez Lohmann – IB/USP; **Investissement** 2 974 606,54 reais / 461 132,00 dollars US (FAPESP)

Article scientifique

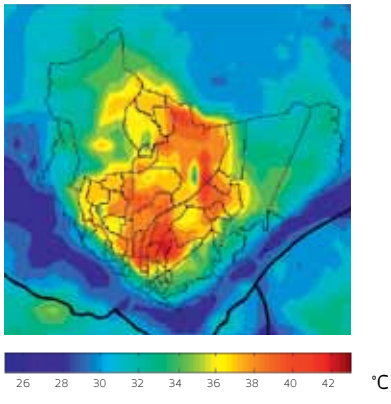
LOHMANN, L. G. et al. «Pattern and timing of biogeographic history in the neotropical tribe bignonieae». **Botanical Journal of the Linnean Society**, 2012.

Croissance de la zone urbaine de Manaus



Température moyenne de la superficie

(août/septembre 2009)



MAPAS 1 DIEGO SOUZA E REGINA ALVALÁ / CEMADEN **2** FRANCIS WAGNER E RODRIGO AUGUSTO DE SOUZA / SATÉLITE AQUA

Îlot de chaleur urbain en Amazonie

La région urbaine de Manaus est 3°C plus chaude que la forêt

Marcos Pivetta

PUBLIÉ EN OCTOBRE 2012

Capitale de l'Amazonie: l'avancée du béton et du bitume rend la ville plus chaude

FOTO AFP IMAGEFORUM

Pôles de développement de l'Amazonie brésilienne, enclavées dans l'immense forêt tropicale chaude et humide, Manaus et Belém commencent à présenter des altérations climatiques typiques des grandes villes. D'après un relevé de l'Institut National de Recherches Spatiales (Inpe), la température moyenne de la capitale amazonienne a augmenté de 0,7 degrés Celsius (°C) entre 1961 et 2010, pour atteindre 26,5°C. Pendant la même période, la capitale de l'état du Pará a augmenté de 1,51°C et atteint 26,3°C. Dans les deux cas, l'élévation est principalement due à la croissance de la zone urbanisée des villes. Mais si ce processus s'est accentué au cours des deux dernières décennies, il faut également tenir compte des effets plus globaux liés aux changements climatiques à grande échelle, qui peuvent avoir un impact sur ce taux. En 1973, les zones urbaines de Manaus et de la région métropolitaine de Belém étaient respectivement de 91 et 76 kilomètres carrés. En 2008, ces nombres étaient déjà de 242 et 272 km² (cf. encadrés).

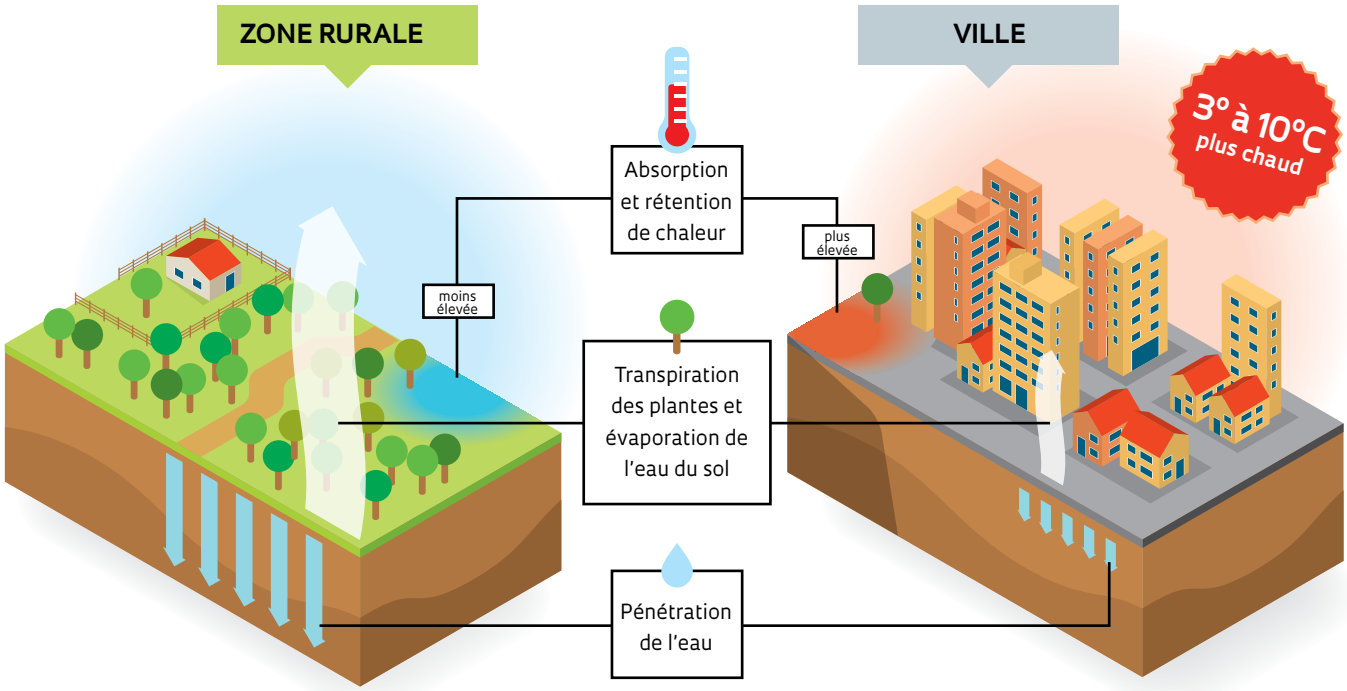
Avec de plus en plus d'immeubles, de béton et de bitume qui prennent la place de la végétation native, ledit îlot de chaleur urbain (phénomène connu depuis longtemps par les habitants de São Paulo et Rio de Janeiro) est apparu avec force dans les deux principales capitales du nord du pays. À la même heure de la journée, la température dans les zones de ces villes plus densément peuplées et occupées par des constructions et des édifices est toujours plus élevée que dans les zones rurales proches, où la forêt est préservée. Les données sur l'îlot de chaleur urbain sont plus nettes dans le cas de Manaus, qui est aujourd'hui la septième ville brésilienne la plus peuplée avec plus d'1,8 millions d'habitants – devant des capitales de la région Nord-Est, comme Recife, et du Sud, comme Porto Alegre et Curitiba. La différence de température entre les parties les plus urbanisées de Manaus et la Réserve Biologique du Cuieiras, une zone de forêt distante de près de 30 kilomètres, atteint des pics de plus 3°C cinq mois sur douze.

Ces résultats se basent sur des informations collectées chaque heure par quatre stations météorologiques entre 2000 et 2008, et sont présentés dans un article scientifique publié le 8 août dernier sur le site Internet de la revue *Meteorological Aplications* par Diego Souza et Regina Alvalá, des anciens chercheurs de l'Inpe actuellement en poste au Centre National de Surveillance et d'Alertes aux Désastres Naturels (Cemaden) de Cachoeira Paulista.

Le travail indique également que l'atmosphère des zones urbanisées de Manaus est devenue plus sèche que celle des forêts voisines. Pendant la période analysée, l'humidité relative de l'air dans les régions centrales de la ville a été en moyenne 1,7 % plus basse que dans les forêts. Cette différenciation a atteint son niveau maximum au milieu de la saison la plus pluvieuse, avec un air plus sec de l'ordre de 3,5 %. Pour Regina Alvalá, ingénieur cartographe spécialisée dans la carto-

Pourquoi l'effet îlot de chaleur urbain

INFOGRAPHIQUE ALEXANDRE AFFONSO



graphie d'utilisations et de couverture de la terre pour la modélisation climatique, «ces données montrent clairement l'effet îlot de chaleur urbain à Manaus».

À Belem, les études des deux chercheurs n'ont pas réussi à caractériser la dimension de l'effet îlot urbain de chaleur à cause de l'absence de longues séries historiques de données quotidiennes obtenues chaque heure, dans différents endroits de la ville et dans la forêt voisine. Néanmoins, certains indices laissent supposer que ce phénomène présente ses valeurs maximales au petit matin dans cette ville d'un peu plus d'1,4 millions d'habitants – la 11e ville la plus peuplée du Brésil.

Même si elles peuvent paraître petites pour les millions d'habitants des deux mégalopoles brésiliennes (São Paulo et Rio de Janeiro), les capitales de l'Amazonie et du Pará sont devenues de grandes agglomérations urbaines pour les normes mondiales. S'il s'agissait par exemple de villes françaises ou italiennes, en termes populationnels elles se situeraient seulement derrière Paris et Rome.

DEUX PICS

L'étude a mis en avant un aspect singulier et polémique : l'identification de deux pics journaliers où l'effet îlot de chaleur urbain est particulièrement fort à Manaus : le premier vers 8 heures du matin, le deuxième entre 15 h et 17 heures. Le météorologue Diego Souza observe que «dans la majorité des villes il n'y a qu'un pic journalier de l'effet îlot de chaleur urbain, en général pendant la nuit ou à l'aube». Les chercheurs ne savent pas exactement pourquoi ces pics ont lieu à ces deux moments de la journée, mais ils pensent qu'ils peuvent être associés à l'heure de pointe du trafic. La chaleur générée par la combustion est un des facteurs qui contribuent au réchauffement local de l'atmosphère.

Une étude menée par Francis Wagner et Rodrigo Augusto de Souza, des physiciens de l'Université de l'état d'Amazonie (UEA), a également évalué l'effet îlot de chaleur urbain à Manaus. Les caractéristiques du phénomène ne sont pas toutes les mêmes que celles diffusées dans l'article du Cemaden. Mais au-delà des différences méthodologiques, le travail des chercheurs de l'UEA s'est basé sur une autre période de temps. De mai 2010 à avril 2011, ils ont analysé les données sur la température de l'air de quatre stations, deux en zone urbaine et deux en zone rurale. Ils ont rencontré deux pics de l'effet îlot de chaleur urbain : un à 7 heures et l'autre à 20 heures. La plus grande différence de température entre la région urbaine et la région rurale a été de l'ordre de 3,5°C.

Entre 1961 et 2010, la température moyenne de Belém a augmenté de 1,51°C et atteint 26,3°C

À partir des données du satellite environnemental Aqua, qui scrute le territoire avec une résolution spatiale d'1x1 km, les scientifiques de l'UEA ont estimé les variations de température à la superficie de Manaus entre août et septembre 2009, les mois généralement les plus secs. Les zones les plus chaudes

ont été précisément les plus urbanisées, et les plus froides celles avec le plus de végétation préservée. Au sol, les différences de température entre les régions couvertes de béton et de bitume (comme le centre ville et les quartiers Cidade Nova et Petrópolis) et les secteurs de la forêt ont été de 10°C. «Nous sommes en train de faire une étude du microclimat dans la zone urbaine de Manaus pour fournir des pistes pour un plan directeur d'arborisation et d'urbanisme écologique», explique Wagner dont le projet est financé par le Fonds Municipal du Développement et de l'Environnement de Manaus.

L'une des conséquences possibles de l'effet îlot de chaleur urbain est l'altération du régime des pluies sur le territoire des deux villes amazoniennes. À São Paulo par exemple, la quantité de pluie moyenne annuelle qui tombe sur la plus grande ville brésilienne a augmenté de 30 % au cours des 80 dernières années ; certaines études attribuent une partie de cette augmentation pluviométrique – en particulier au printemps et en été – à l'urbanisation croissante de son territoire. Les études de modélisation atmosphérique haute résolution effectuées par Diego Souza et Regina Alvalá indiquent que si la zone urbaine des deux villes du nord continue de croître, la tendance sera une baisse de la quantité de pluies sur Manaus et une légère augmentation sur Belém. «Mais les changements au niveau du régime de pluies ne semblent pas très significatifs», ajoute la chercheuse.

CHALEUR LONDONIENNE AU XIXe SIÈCLE

Même s'il n'était pas connu sous ce nom, le phénomène des îlots urbains de chaleur est étudié depuis le début du XIXe siècle, quand l'anglais Luke Howard releva pendant la nuit presque 2°C de différence entre Londres (alors la plus grande métropole du monde avec plus d'1 million d'habitants) et trois communes rurales voisines. Depuis, l'analyse du climat des villes est devenue un thème de recherche chaque fois plus important. Et c'est d'autant plus vrai au XXIe siècle où, pour la première fois dans l'histoire, le nombre de personnes vivant en ville dépasse celui de ceux vivant en milieu rural.

L'édification de villes modifie radicalement la norme d'occupation du sol et crée un environnement local où la survenue d'îlots de chaleur urbains est quasiment une loi naturelle. À la place de la terre exposée, de l'herbe, des arbres et des éléments ruraux qui amenuisent les hautes températures au sol comme dans l'air, le paysage urbain est dominé par une série de matériaux imperméables qui ne retient pas la chaleur comme la végétation. À la campagne, la présence d'une végétation arborescente et d'un couvert végétal fournit des zones d'ombre capables de réduire la température du sol, donc de diminuer la température atmosphérique. Les zones vertes contribuent également à rafraîchir le climat d'un lieu grâce à l'évapotranspiration. Ce mécanisme amène les plantes et le sol à libérer de l'eau dans l'air pour dissiper la chaleur de l'environnement.

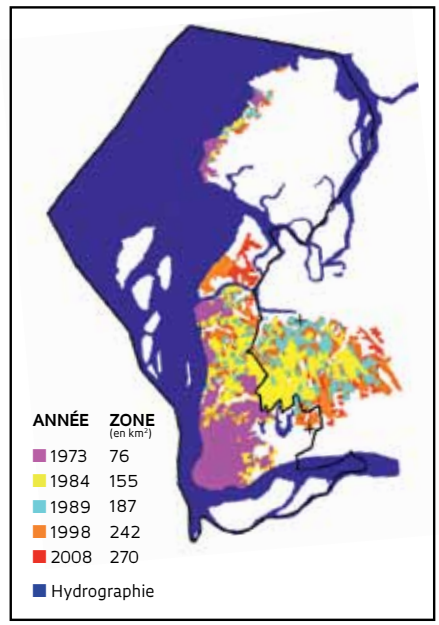
Dans les parties les plus urbanisées de la ville, tout ce qui rend le climat de la campagne plus amène est absent ou presque. L'eau des pluies ne pénètre quasiment pas dans le sol, il y a moins d'humidité localement et le processus d'évapotranspiration est moins intense. D'une manière générale, la ville de béton, bitume, verre et métaux tend à absorber et à emmagasiner le double de chaleur par rapport à une zone rurale voisine. Avec ses grands immeubles et ses constructions aux textures différentes de la superficie du milieu rural, l'architecture urbaine peut aussi altérer le régime des vents et intensifier la sensation de chaleur. Dans des mégalopoles comme São Paulo ou New York, l'effet îlot de chaleur urbain peut représenter une différence pouvant aller jusqu'à 12°C entre la température de l'air d'une zone fortement urbanisée et celle d'une zone rurale ou forestière. Et si l'on compare la température du sol, les différences tendent à être encore plus élevées.

Au Brésil, l'effet des îlots urbains de chaleur est étudié dans plusieurs capitales du pays depuis un certain temps déjà. Dans l'état de São Paulo, même des villes de petite taille et de taille moyenne font l'objet de recherches. L'équipe des géographes João Lima Sant'Anna Neto et Margarete Amorim, de l'Universidade Estadual Paulista (Unesp, campus de Presidente Prudente), a mesuré l'effet dans six villes de l'état : Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha, Jales, Rosana, Birigui et Presidente Prudente. Ils ont utilisé des données du canal thermique du satellite Landsat et de stations météorologiques fixes et mobiles pour enregistrer le phénomène.

À Presidente Prudente, une ville de 207 000 habitants, les différences entre les zones les plus urbanisées et la région rurale sont montées jusqu'à 8°C, en particulier la nuit. Les quartiers populaires où se trouvent les grands ensembles (Cohab et Cecap) ont été les plus chauds de la ville. Dans ces endroits, observe Sant'Anna Neto, «l'utilisation de matériaux inadéquats dans les constructions, comme les tuiles en fibrociment, la densité élevée de la zone construite et le manque d'espaces verts intensifient les îlots de chaleur, car il n'y a pas de grande émission de polluants d'origine industrielle et automobile». Même des villes plus petites, comme Alfredo Marcondes qui est voisine de Presidente Prudente et compte 3800 habitants, présentent cette altération climatique. Pour le géographe, «les îlots de chaleur urbains sont aussi un problème de santé publique et favorisent la survenue de maladies des appareils respiratoire et circulatoire chez les personnes âgées et les enfants». ■

La croissance de Belém

En 35 ans, la zone urbaine de la région métropolitaine a triplé



CARTE DIEGO SOUZA ET REGINA ALVALÁ / CEMADEN

Article scientifique

OLIVEIRA, D.O. et ALVALÁ, R.C.S. «Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil». ***Meteorological Applications.*** Publication en ligne le 3 août 2012.

Amazonie en 3 dimensions

Des cartes tridimensionnelles détaillent la structure forestière et facilitent le contrôle des impacts de la fragmentation sur la végétation native

Carlos Fioravanti, depuis Manaos

PUBLIÉ EN MARS 2013

ASTRONAUT PHOTOGRAPH ISS017-E-13856 / NASA

Les arbres apparaissent en rouge, en jaune ainsi que d'autres couleurs vibrantes comme si chacune avait été peinte à la main, sur des cartes affichées aux côtés d'articles scientifiques et d'invitations à des séminaires, dans le couloir du bâtiment hébergeant le Projet Dynamique Biologique de Fragments Forestiers (PDBFF) de l'Institut National de Recherches Amazonien (Inpa), à Manaus. Le procédé utilisé pour créer ces cartes s'appelle LiDAR (Light Detection and Ranging). Il enregistre la variation de la lumière reflétée par les arbres, facilitant grandement les études des chercheurs qui travaillent sur le plus vieux programme de suivi des forêts tropicales brésiliennes et l'un des plus anciens au monde. Ce programme a été lancé en 1979 afin de connaître les impacts de la construction des routes et de l'avancée de l'agro-élevage sur la forêt amazonienne. Ce programme accompagne l'évolution de 11 zones de forêts fragmentées, outre des zones continues adjacentes qui servent de contrôle comparatif, pour un total de mille kilomètres carrés de forêt avec des arbres allant jusqu'à 55 mètres de hauteur.

Il y a encore peu de temps, la seule manière d'obtenir des informations détaillées sur la composition et les changements de la forêt était de voyager de nombreuses heures sur des pistes en terre en affrontant la pluie, la chaleur, les moustiques et les champignons, avant d'arriver dans des zones d'étude parfois situées à 80 kilomètres de Manaus. «Il est évident que cette nouvelle technique ne résoudra pas tous nos problèmes ni ne nous dispensera de visites sur le terrain, mais elle nous aide beaucoup», déclare l'écologue pauliste José Luís Camargo, coordonnateur scientifique du PDBFF, un programme actuellement financé par l'Institut

La forêt vue de la Station Spatiale Internationale: 150 kilomètres du fleuve Amazone, ses affluents et les nombreux lacs et terres inondables qui l'entourent

Mosaïque de paysages

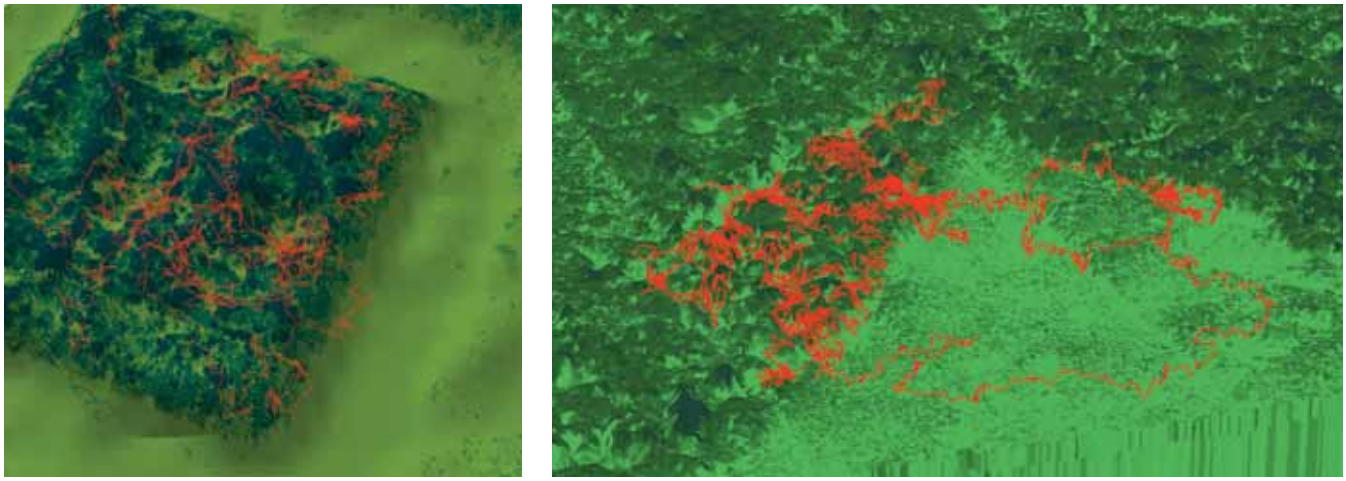
Le programme étudie la dynamique des populations de plantes et d'animaux dans 23 zones forestières proches de Manaus

Smithsonian, l'Inpa, et des agences et des fondations de soutien à la recherche au Brésil et aux États-Unis. Alors que les images de satellite sont bidimensionnelles, celles du LiDAR sont tridimensionnelles. Elles sont créées à partir de la lumière reflétée par la cime des arbres et qui est captée par des avions qui survolent les zones d'étude. «Nous pouvons cartographier des clairières, qui ont un rôle important pour le fonctionnement de la forêt, et avoir une bonne notion du relief qui supporte la végétation», dit José Luís Camargo.

Le procédé LiDAR, seul ou combiné avec d'autres techniques de télédétection, peut fournir des informations détaillées sur la hauteur, la concentration, la distribution des arbres et indiquer les groupes d'animaux susceptibles d'y vivre. Plus la forêt est enchevêtrée (ou d'une structure complexe) comme le dit José Luís Camargo, moins elle aura de chances d'abriter des groupes spécifiques d'oiseaux et de chauve-souris, par exemple. Dans une étude achevée récemment dans une des zones du projet, le biologiste brésilien Karl Mokross, de l'Université Publique de Louisiane, aux États-Unis, a démontré que les oiseaux qui vivaient dans le sous-bois, région sous la cime des arbres, cherchaient des insectes pour s'alimenter de préférence dans la forêt primaire et rarement dans la forêt secondaire appelée aussi capoeira au Brésil.

L'équipe de l'Inpa a également emprunté à la chimie une technique d'identification de composés chimiques pour classer les plantes appelée spectrographie proche infrarouge, outre les images tridimensionnelles. Ce procédé se base sur le fait que les liaisons chimiques de certaines molécules possèdent des fréquences de vibration spécifiques qui sont ensuite enregistrées par un appareil et exprimées sous la forme d'un graphique. En utilisant cette méthode, la biologiste Flávia Machado Durgante et d'autres chercheurs de l'Inpa ont examiné 159 feuilles, appartenant à 10 espèces d'arbre, collectées dans une zone de forêt protégée proche de Manaus et dans les zones d'étude du PBDFF. Ces feuilles sont conservées dans la collection du programme qui possède actuellement 54 mille échantillons de feuilles et de structures reproductives (fleurs et fruits) des arbres contrôlés. Ils ont ensuite obtenu ce que l'on appelle la signature spectrale de chaque espèce et ont conclu que cette technique représentait une méthode simple et bon marché pour identifier les espèces de plante et différentier les espèces trop proches, même en l'absence des structures reproductives comme les fleurs et des fruits qui facilitent le travail de reconnaissance des botanistes et des écologues. Dans ce travail qui sera publié au mois de mars dans la revue *Forest Ecologyand Management*, le taux moyen de réussite a été de 96,6%. La biologiste Carla Lang a commencé à analyser les signatures spectrales de feuilles d'arbre et de plants de la même espèce pour déterminer s'il y a une cohérence entre elles. Si c'est le cas, cela facilitera la tâche ardue d'identifier les plants et de prévoir la distribution des espèces dans la forêt.

En quelques jours, Lovejoy a eu l'aval des directeurs de l'Inpa et de la Suframa pour commencer le travail



SCOTT SALESKA / UNIVERSITÉ D'ARIZONA ET MICHAEL LEFSKY / UNIVERSITÉ DE L'ÉTAT DU COLORADO

Les bandes d'oiseaux (*en rouge*) préfèrent la forêt primaire d'un fragment de 10 hectares (*ci-dessus*) et parcourent rarement la capoeira (*en vert clair, agrandie à droite*). Les verts foncés représentent la végétation plus haute

LES PREMIÈRES ALLIANCES

Les techniques de travail dont disposent maintenant les chercheurs du programme d'études de l'Amazonie leur apportent un confort mérité. Ce programme a commencé à être élaboré dans les années 70 par deux biologistes étasuniens, Thomas Lovejoy et David Conway Oren, les deux ayant déjà de nombreuses années d'expérience en matière de recherche sur le terrain dans la région. À cette époque, le gouvernement encourageait l'occupation des forêts du nord de Manaus avec l'élevage. «C'est moi qui ai prévenu Thomas Lovejoy sur la chance unique que nous avions de discuter avec les propriétaires, d'entrer dans les forêts avant qu'elles ne soient déboisées et de faire des inventaires biologiques, chose qui n'avait pas été faite au Panama», se rappelle Oren, ornithologue qui a travaillé à l'Inpa, au Musée Goeldi et à l'Université fédérale de l'état du Pará (UFPA), à Belém, et actuellement coordonnateur en biodiversité au Ministère des Sciences, de la Technologie et de l'Innovation (MCTI). Les biologistes n'ont pas oublié que la construction du canal de Panamá, qui s'est achevée en 1914, avait isolé des zones d'une forêt tropicale sur laquelle nous savions peu de choses. Thomas Lovejoy a adoré l'idée et m'a dit qu'il trouverait un financement.

Thomas Lovejoy est devenu le porte-parole du programme et l'une des plus grandes autorités mondiales en termes de biodiversité. Il est actuellement professeur de sciences et de politique environnementale à l'Université George Mason, aux États-Unis. Un article découpé d'une page du journal *A Província do Pará* du 7 janvier 1979 et affiché dans le couloir de l'immeuble du PBDFF présente un projet de cette époque appelé Programme de Taille Minimum Critique de l'Amazonie dont le budget annuel s'élevait à 500 mille dollars US. Ce projet était soutenu par l'Inpa, l'Institut Brésilien de Développement Forestier (IBDF), qui a ensuite donné naissance à l'Ibama, et la Superintendance de la Zone Franche de Manaus (Suframa). Définir une zone minimum pour préserver une forêt de manière effective était une préoccupation du gouvernement brésilien et également «un problème mondial», déclarait Thomas Lovejoy, quand il faisait partie du Fonds Mondial de la Vie Sauvage (WWF), qui fut la première institution internationale à financer ce travail.

«Ce fut l'époque dorée de l'Inpa, sous la direction de Warwick Kerr. En seulement un jour ou deux j'ai reçu le feu vert du directeur et du chef du Département d'Écologie de l'Inpa, Herbert Schubart, et de la Suframa, qui a également été très réceptive. Les fermiers ont également collaboré», raconte Thomas Lovejoy en se remémorant la création de ce programme de recherche en Amazonie. «J'ai fondamentalement accompagné Rob (Richard Bierregaard, biologiste et premier coordonnateur scientifique du PDBFF, actuellement à l'Université de Caroline du Nord, aux États-Unis), je l'ai présenté à des personnes de Manaus et je l'ai laissé travailler. Rob s'est lié d'amitié avec les fermiers qui étaient contents de participer à un travail qui avait l'attention des médias».

Le programme prévoyait l'isolement de zones de forêt de taille variable ainsi que le relevé et le suivi d'arbres, d'insectes, d'amphibiens, de reptiles, d'oiseaux et de mammifères. L'objectif était de déterminer les espèces qui périssaient et celles qui survivaient à mesure que la forêt diminuait. C'était une manière d'examiner l'impact de la fragmentation sur la forêt et les organismes qui la constituent. De nos jours encore, la réduction de la zone de végétation native, résultat de l'expansion des routes, de l'agriculture ou de l'élevage, est l'une des principales causes de la perte de biodiversité en Amazonie, la plus grande forêt tropicale du monde.

BASE DE DONNÉES AMAZONIENNE

Le travail de terrain réalisé durant 33 ans jusqu'en 2012, a produit une monumentale base de données sur les arbres et les oiseaux. Les chercheurs étu-

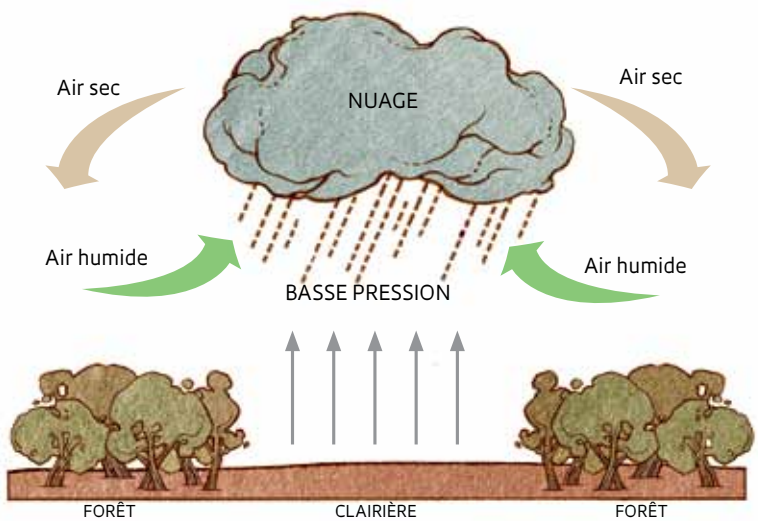
dient actuellement la croissance de 45 376 arbres et de 178 295 arbustes (moins de 10 centimètres de diamètre à hauteur de poitrine) sur 55 hectares de forêt continue et 39 hectares de forêt fragmentée. «Nous étudions la forêt qui possède la communauté arborée la plus variée du monde», déclare José Luís Camargo. Outre les arbres, ils ont récemment commencé à comptabiliser les lianes. Dans une étude récemment terminée, ils ont marqué 33 154 lianes sur 69 hectares. «Les lianes ne sont généralement pas la cible des relevés forestiers, mais elles représentent une parcelle importante de la biomasse et de la diversité d'une forêt».

La base de données contient des informations sur 60 mille oiseaux appartenant à 400 espèces qui vivent dans le sous-bois, région intermédiaire entre la cime des arbres et le sol. Chaque oiseau est bagué avec un numéro qui permet aux biologistes, après les avoir capturé dans des filets, de connaître leurs déplacements. «Cette banque de données nous permet de poser des questions plus complexes qui n'apparaissent qu'après des décennies de suivi et qui servent de base aux politiques publiques pour résoudre de nouveaux problèmes comme l'impact des changements climatiques sur l'Amazonie», déclare José Luís Camargo. «De nombreux chercheurs viennent travailler ici parce que nous avons déjà parcouru un long chemin et ils n'ont pas besoin de repartir de zéro. Cette connaissance est un patrimoine national».

Les nombreux résultats du PDBFF n'auraient pas pu être obtenus dans une étude plus courte, selon l'une des conclusions d'un article publié en janvier dans la revue *Biological Conservation* et contenant un résumé de 32 ans de travail sur le terrain. L'article est signé par 16 biologistes issus de différentes institutions brésiliennes, étasuniennes, australiennes et mexicaines liées au PDBFF. Le premier auteur est le biologiste étasunien William Laurance, qui a vécu cinq ans à Manaus et qui travaille actuellement en Australie. Selon cet article, la vulnérabilité des arbres de grande taille à la fragmentation et aux effets d'évènements éphémère comme El Niño et les tempêtes, ne deviendra évidente qu'après des décennies d'observation. En guise de conclusion ils affirment que quand les arbres tombent ils peuvent former des clairières qui dévient l'humidité des arbres proches et qui modifient la luminosité et la température (*voir ilustration*). La fragmentation peut réduire la circulation de l'eau, limiter le territoire de nombreuses espèces d'oiseaux qui n'arrivent pas à traverser de grandes zones déboisées, réduire la population d'abeilles, de guêpes, de coléoptères et de fourmis, augmenter les population de grenouilles et d'araignées, causant une perte cumulative de la biodiversité et une diminution des réserves d'eau.

L'effet clairière

Les zones ouvertes modifient la circulation de l'air dans la basse atmosphère et favorisent la formation de nuages et de pluies



SOURCE ADAPTÉ DE WALLACE *ET AL* 2012

FORÊT FRAGILE

Les simulations du comportement de la forêt alimentées par les données du PDBFF suggèrent que même des fragments de 10 hectares ont besoin d'au moins un siècle pour récupérer leur diversité biologique et leur biomasse antérieure. Quand ces fragments sont créés, leurs communautés d'arbres, de palmiers de plantes grimpantes et d'animaux subissent une transformation profonde. «Comme règle générale, plus la zone est petite, plus les effets de la fragmentation se feront ressentir», déclare José Luís Camargo. Il suffit de parcourir les zones d'études pour noter les différences. Les fragments plus petits ont déjà perdu une partie de leur structure forestière originale et ressemblent à une forêt secondaire qui résiste avec difficulté, alors que les plus grands fragments, principalement ceux de 100 hectares, abritent encore des espèces d'arbres qui se développent avec peu de lumière et une humidité élevée, comme dans une forêt typiquement amazonienne. Les zones plus petites sont plus fragiles «et souffrent davantage durant les fortes sècheresses comme celles de 2005 et de 2010», observe José Luís Camargo.

Une des conséquences de la fragmentation est l'effet de bordure. Il s'agit des transformations sur la périphérie d'une forêt causées par la radiation solaire, la lumière et les vents des zones externes. Les arbres les plus proches de la bordure peuvent tomber plus facilement, sécher ou mourir sur pied car ils sont plus sensibles aux changements du microclimat. Suite à l'effet de bordure et à la

PHOTOGRAPHIE SERGIO JORGE BRAZIL / PHOTONONSTOP **ILLUSTRATION** SANDRO CASTELLI

Des routes comme celle-ci brisent l'unité de la forêt et créent des fragments qui limitent les déplacements des animaux, réduisent la biodiversité et influencent le climat

fragmentation de la forêt, «la moitié de la faune d'oiseaux et de mammifères du sous-bois peuvent entrer en extinction locale et parfois de manière irréversible», alerte José Luís Camargo. Selon l'article de 2011, la déforestation due à la création de pâturages représente chaque année 32 mille kilomètres supplémentaires de nouvelles bordures de forêts et produit des paysages dominés par de petits fragments de formats irréguliers inférieurs à 400 hectares, augmentant l'effet des radiation solaire et des vents sur la végétation native. «Si c'est comme ça ici, cela pourrait être encore pire dans d'autres zones comme dans la région de l'*arco do fogo* (arc de feu), qui correspond aux états du Pará, du Mato Grosso et de Rondônia, plus sujette à la déforestation».

«Il y a deux jours, le couloir était encombré de nombreuses valises», commente José Luís Camargo, durant cette matinée du 9 novembre 2012. «Notre 21ème cours de formation s'est terminé hier et nous avons déjà formé 420 écologues». Chaque année, le cours d'Écologie du Paysage Amazonien (réalisé normalement au mois de juillet ou d'août et exceptionnellement au mois d'octobre, comme l'année dernière) réunit 20 étudiants de troisième cycle universitaire et 15 professeurs originaires de différentes universités du pays. «La plupart des participants n'avait jamais mis les pieds en Amazonie», raconte José Luís Camargo. Les professeurs présentent les différents environnements de la région, allant des plaines d'inondation aux archipels des Anavilhanas, afin de former des professionnels qualifiés qui comprendront et aideront à résoudre les problèmes de la région.

Des cours de trois semaines destinés aux étudiants universitaires sont une autre manière de partager les résultats obtenus et d'élargir les connaissances sur la région. «J'ai récemment été l'un des responsables de ce cours à l'Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Rio Claro, à l'Université Publique de Minas Gerais et à l'Université Fédérale d'Amazonie», déclare José Luís Camargo. «Le PDBFF forme actuellement plus de chercheurs brésiliens que de chercheurs étasuniens».

D'après lui, l'Institut Smithsonian et l'Inpa couvrent seulement 20% des dépenses annuelles et la plus grande part du budget annuel de 1,2 million de reais provient de dons, de bailleurs de fonds ou de fondations brésiliennes et étasuniennes. «Il a été difficile de trouver des financements au cours de la dernière décennie car les dons se focalisaient principalement sur d'autres objectifs, ainsi les fonds destinés aux études sur la fragmentation forestière ont migré vers les études sur les changements climatiques», déclare José Luís Camargo. «La dévalorisation du dollar est un autre problème important qui se pose. Nous avons perdu un tiers du budget prévu en quelques années à cause du change». Il y a également d'autres préoccupations comme une possible redistribution des terres proches des zones d'études, ce qui pourrait provoquer des changements dans l'utilisation de la terre et amplifier les impacts nuisibles sur les fragments de forêt. ■

Articles Scientifiques

DURGANTE, F.M. *et al.* Species spectral signature: Discriminating closely related plant species in the Amazon with near-infrared leaf-spectroscopy. **Forest Ecology and Management.** v. 291, 213. Sous presse.

LAURANCE, W. *et al.* The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological Conservation.** v. 144, n. 1, p. 56-67. 2011.

STARK, S.C. *et al.* Amazon forest carbon dynamics predicted by profiles of canopy leaf area and light environment. **Ecology Letters.** v. 15, n. 12, p. 1.406-14. 2012.

De quoi meurent les baleines

Une étude identifie des anomalies osseuses communes chez les baleines à bosse qui fréquentent la côte brésilienne

PUBLIÉ EN JANVIER 2013

Analyse de spécimens sur une plage d'Abrolhos

Des chercheurs de São Paulo et de l'état de Bahia sont en train de développer un travail conjoint pour mieux comprendre comment vivent et de quoi meurent les baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*) qui fréquentent les côtes brésiliennes. Chaque année, entre juillet et novembre, des centaines de ces grands cétacés quittent les eaux gelées de l'Antarctique pour se rendre dans les régions chaudes du littoral brésilien afin de se reproduire. Bien que cette route migratoire soit bien connue, on sait encore peu de choses sur la santé des baleines et sur les raisons qui les rendent malade, pour la simple raison qu'il n'est pas facile d'obtenir des échantillons de tissus en bon état pour évaluer l'état de santé de ces mammifères marins qui peuvent atteindre seize mètres de long, peser quarante tonnes et qui se déplacent constamment.

Un groupe de médecins vétérinaires de l'Université de São Paulo (USP) et du Projet Baleia Jubarte (Baleine à bosse - PBJ), financé par Petrobras, travaille actuellement pour modifier cette situation. À cet effet, ils ont initié un projet de collecte systématique d'échantillons de peau et de matériel biologique éjectés par l'évent des baleines, coordonné par José Luiz Catão Dias, de l'USP. En se basant sur l'analyse des tissus obtenus à partir d'animaux vivants et également du ma-

PHOTOGRAPHIES PROJET BALEINE À BOSSE

«L'analyse des modifications osseuses peut fournir des données précieuses sur la vie des baleines», déclare Kátia Groch

tériel extrait des ossements de baleines qui s'échouent sur la côte brésilienne, les chercheurs veulent dresser un inventaire sur la santé des baleines à bosse brésiliennes.

«Nous sommes en train de mener des recherches sur différents pathogènes à partir du matériel biologique collecté sur des animaux vivants», déclare José Luiz Catão. Avec son groupe, ils sont en train d'analyser la collection de photos du projet, prises au cours des expéditions, afin de vérifier si les animaux suivis ont gagné ou perdu du poids, ont développé des lésions cutanées ou ont mis bas. «Nous voulons comprendre la dynamique de la santé des baleines et comment les activités humaines peuvent les influencer au point de les faire s'échouer et mourir», déclare José Luiz Catão.

LÉSIONS ET MALFORMATIONS

Début novembre, José Luiz Catão et Kátia Groch, son élève de doctorat à l'USP, les médecins vétérinaires Milton Marcondes et Adriana Colosio, du PBJ, ont présenté les premiers résultats de ce projet dans un article publié dans la revue *Diseases of Aquatic Organisms*. Il s'agit, selon les chercheurs, de l'un des plus grands relevés sur les maladies osseuses des baleines à bosse. Dans cette étude, ils ont analysé les os de quarante neuf animaux qui se sont échoués entre 2002 et 2011 dans la région d'Abrolhos, au sud de l'état de Bahia.

Douze de ces quarante neuf baleines ont au moins indiqué un problème osseux. Il y avait cinq cas de malformations congénitales, quatre de lésions inflammatoires, cinq de modifications dégénératives et quatre de traumatismes (certains probablement dus à des chocs avec des embarcations).

«L'analyse des modifications osseuses des cétacés peut fournir des données précieuses sur l'histoire de vie des baleines ainsi que sur leurs conditions

1 L'équipe au cours de l'expédition sur le terrain

2 Instantané d'un saut typique de la baleine à bosse

3 Une fléchette prélève des échantillons de peau

4 Côte avec cal osseux (rectangle)

pathologiques», déclare Kátia Groch. «Certaines modifications peuvent avoir provoqué l'échouage des baleines compte tenu principalement des lésions que nous avons trouvées sur la région de la queue de deux animaux», explique-t-elle.

Selon les chercheurs, un suivi constant est nécessaire pour comprendre à quel point ces animaux sont affectés par l'exploitation et la modification de l'environnement marin et qui peut encore s'amplifier avec l'exploitation pétrolière du pré-sel. «Les baleines et les dauphins sont des indicateurs de la santé de l'écosystème marin», déclare Kátia Groch. «Les résultats de ces études sont primordiaux pour comprendre les menaces qui planent sur les populations de baleine et pour aider les politiques publiques à les protéger».

Au Brésil, la chasse à la baleine était encore autorisée il y a trente ans, quand a été approuvée la loi fédérale nº 7 643 interdisant la chasse aux cétacés. Plus tard, en 2008, le décret nº 6 698 a déclaré que les eaux maritimes brésiliennes étaient «un sanctuaire de baleines et de dauphins». Aujourd'hui la législation brésilienne de protection aux baleines est considérée comme étant très bonne. «Les baleines doivent déjà relever de grands défis pour rester vivantes», affirme Kátia Groch. «L'effectivité des politiques de protection dépend d'un contrôle efficace et d'un équilibre entre la croissance économique, l'exploitation des ressources marines et la préservation de l'environnement». ■

Projet

Analyse des aspects sanitaires des baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*) sur la côte sud-est et nord-est du Brésil, soulignant les interactions anthropogéniques – nº 2011/08357-0; **Modalité** Ligne Régulière d'Aide à Projet de Recherche; **Coordonnateur** José Luiz Catão Dias/FMVZ-USP; **Investissement**:67 661,40 reais (FAPESP).

Article scientifique

GROCH, K. R. et al. Skeletal abnormalities in humpback whales *Megaptera novaeangliae* stranded in the Brazilian breeding ground. Diseases of Aquatic Organisms. 8 novembre 2012.

Le cœur de la Voie lactée

Le plus grand relevé d'étoiles jamais effectué reconstitue la région centrale de la galaxie

Igor Zolnerkevic

PUBLIÉ EN OCTOBRE 2012

Lorsqu'il est question d'images haute définition, le niveau d'exigence des astronomes dépasse de loin celui de n'importe quel cinéphile. Pour analyser le plus grand nombre d'étoiles du bulbe galactique – la partie centrale qui contient le plus d'étoiles de notre galaxie, la Voie lactée –, une équipe internationale de 12 chercheurs dirigés par le Brésilien Roberto Saito et l'Argentin Dante Minniti a analysé un portrait de 190 000 x 170 000 pixels de cette région, présenté sur ces pages. Produite par l'astronome chilien Ignacio Toledo de l'Observatoire Alma, l'image est si grande qu'il faudrait 6000 télévisions haute définition pour la montrer en résolution maximale.

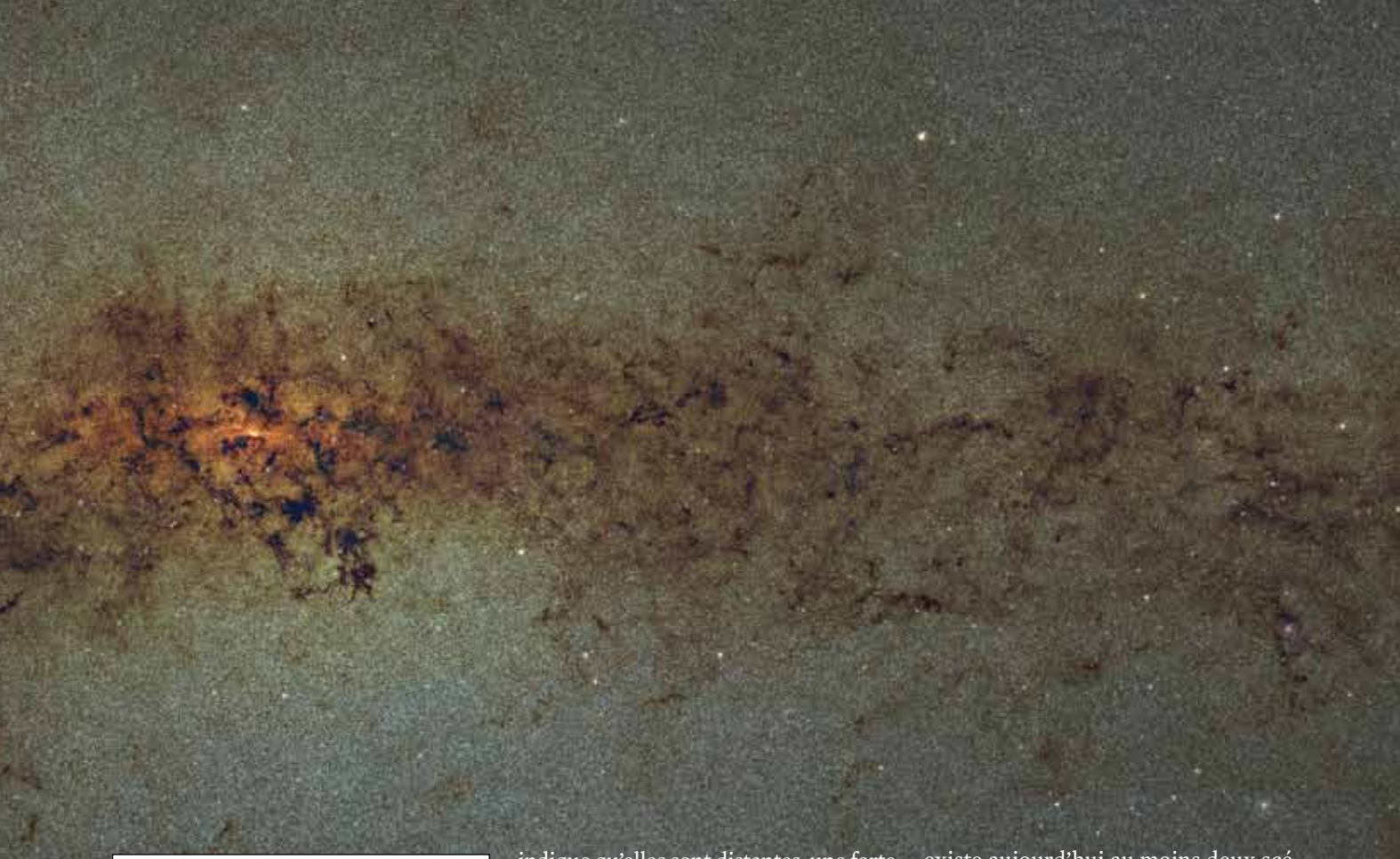
Le portrait du cœur de la Voie lactée révèle une population d'étoiles où pourraient être rencontrées des planètes similaires à la Terre, et promet d'aider à comprendre la naissance de la galaxie. D'autre part, il renforce l'hypothèse selon laquelle il y a dans le bulbe galactique, la région centrale en forme de ballon de football américain, deux grandes condensations d'étoiles qui ont la forme d'un immense X. L'analyse de la nouvelle image a donné lieu à un catalogue d'informations sur la position et la luminosité de 84 millions d'étoiles. S'il existe déjà des relevés plus grands, c'est la première fois – selon Saito – qu'est analysé un ensemble aussi grand d'étoiles en une seule fois.

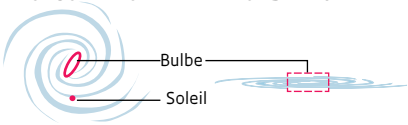
En résolution maximale, la nouvelle image occupe 200 gigabytes de mémoire sur un ordinateur. La quantité de données rendait impossible son transfert via Internet du Chili (où elle a été obtenue après plus d'un an d'observations du télescope de 4 mètres Vista, de l'Observatoire Européen Austral (ESO)) au Royaume-Uni, où elle allait être synthétisée par des chercheurs de l'Université de Cambridge. Par conséquent, il a fallu l'emmener et la ramener en avion.

À partir du nouveau catalogue des étoiles du bulbe, l'équipe de chercheurs a élaboré un graphique reliant l'intensité de la luminosité des étoiles et la couleur de leur lumière, ledit diagramme couleur-magnitude publié en août dernier dans *Astronomy & Astrophysics*. En étudiant la distribution des étoiles sur le diagramme, les astronomes ont déduit leur masse, leur âge et leur localisation dans la galaxie, et caractérisé la population des étoiles du bulbe. Trois astronomes brésiliens font partie de l'équipe de chercheurs : Márcio Catelan, de l'Université Catholique Pontificale du Chili ; Beatriz Barbuy et Bruno Dias, de l'Université de São Paulo.

Les 84 millions d'étoiles ne sont qu'une partie infime des centaines de milliards qui constituent la Voie lactée. Plus d'un tiers se concentre dans le bulbe, tandis que le reste, Soleil y compris, est réparti sur les bras spiraux qui forment la partie externe du disque galactique.

Apercevoir les étoiles du bulbe n'a pas été facile. Leur luminosité est très ténue, la concentration est élevée et une énorme quantité de gaz et de poussière bloque le passage de la lumière qu'elles émettent. Si le télescope Vista a réussi à détecter ce nombre si grand, c'est parce qu'il a pu capter le rayonnement infrarouge des étoiles qui traverse





Portrait en haute définition : l'image (*en haut*) produite par le télescope Vista identifie 84 millions d'étoiles dans le bulbe de la Voie lactée, illustrée *ci-dessus*

le nuage de gaz et de poussière. D'après Kátia Cunha, astronome de l'Observatoire National et spécialiste en la matière, «seuls des relevés dans l'infrarouge peuvent apercevoir le bulbe, donc ils sont fondamentaux pour comprendre la formation de la Voie lactée».

RECENSEMENT STELLAIRE

Les chercheurs ont confirmé que la plupart des étoiles du bulbe sont des géantes rouges, des vieilles dames dans les dernières phases de leur vie, ce qui renforce l'idée plus acceptée que le bulbe ait été la première région de la galaxie à se former. Parmi ces géantes se distinguent les *red clump giants*, un type d'étoile à la couleur et à la luminosité très bien connues. «C'est la raison pour laquelle elles peuvent être utilisées comme des indicateurs de distance», explique Saito. «Une faible luminosité indique qu'elles sont distantes, une forte luminosité qu'elles sont proches».

En utilisant les *red clumps*, Saito et ses collègues ont cartographié le bulbe et confirmé le résultat de relevés antérieurs : le centre de la galaxie contient deux régions où la concentration d'étoiles est plus élevée. Chacune de ces régions a la forme d'une barre qui se croisent et forment un X. Mais ils ont aussi découvert quelque chose de nouveau : les jambes du X sont beaucoup plus longues que ce que l'on pensait.

Les astronomes ont également identifié une série d'étoiles naines rouges qui se trouvaient à la limite de détection des relevés antérieurs à cause de leur faible luminosité. Saito précise qu'«elles sont petites, de l'ordre d'un dixième de la taille du Soleil, et doivent être les étoiles les plus communes de la galaxie». Il ajoute que les naines rouges sont actuellement les étoiles à la mode parce qu'il est facile de détecter autour d'elles des petites planètes rocheuses comme la Terre. Le télescope Vista lui-même observe jusqu'en 2014 les variations de la luminosité de ces étoiles provoquées par le passage de planètes devant elles.

Astronome brésilienne de l'Institut Leibniz d'Astrophysique de Postdam, Allemagne, Cristina Chiappini dit qu'«il existe aujourd'hui au moins deux scénarios pour expliquer la formation du bulbe, qui est quant à lui intimement lié à la formation d'autres parties de la galaxie». L'un des points de vue est que le bulbe a pu être formé par l'agglutination de galaxies plus petites au cours des premiers milliards d'année de vie de l'Univers. L'autre explication est que cette formation aurait eu lieu plus lentement, comme le résultat d'instabilités dans le mouvement de rotation du disque galactique. «Ce qui compte, c'est que les différents scénarios aboutissent à l'apparition d'étoiles aux propriétés chimiques et physiques distinctes», conclut l'astronome.

Cristina Chiappini et Katia Cunha indiquent que le catalogue produit par Saito et ses collaborateurs ouvre la voie à des relevés spectrographiques à grande échelle, qui analysent la composition chimique d'un grand nombre d'étoiles simultanément et vont fournir des données pour tester les théories de formation de la Voie lactée». ■

Article scientifique

SAITO, R. K. *et al.* «Milky Way demographics with the VVV survey I. The 84-million star colour-magnitude diagram of the Galactic bulge». ***Astronomy & Astrophysics***. 28 août 2012.

ILLUSTRATION NASA / JPL-CALTECH IMAGE IGNACIO TOLEDO / VVV SURVEY / ESO

Des étoiles que le vent a effacées

Des gaz soufflés par des explosions stellaires ont interrompu la croissance de galaxies naines

Igor Zolnerkevic

PUBLIÉ EN JANVIER 2013

Galaxie du Fourneau, en haut de page: une des 26 galaxies naines qui orbitent autour de la Voie Lactée

ESO / DIGITIZED SKY SURVEY 2

Il y a un mystère sur l'évolution des galaxies naines. Les astronomes observent un nombre bien moins important de ces petits amas d'étoiles que ce qui est prévu par la théorie actuelle de la formation de l'univers à partir d'une explosion qui a eu lieu il y a 13,7 milliards d'années, le Big Bang. C'est pour cette raison que l'on pense que cette théorie est erronée (théorie de moins en moins admise par les spécialistes), et qu'un évènement a du se produire au cours de la formation de ces galaxies qui les a laissées si vides d'étoiles que même les plus puissants télescopes ne parviennent pas à les observer.

Dans un travail récemment approuvé pour sa publication dans la revue *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, un groupe d'astronomes brésiliens présente des résultats qui renforcent la deuxième hypothèse et qui décrivent un possible mécanisme qui aurait empêché certaines galaxies naines de produire des étoiles en abondance. Au moyen de simulations par ordinateur, Diego Falceta-Gonçalves, de l'Université de São Paulo (USP), Luciana Ruiz, Gustavo Lanfranchi et Anderson Caproni, de l'Université Cruzeiro do Sul (Unicsul), avancent l'idée qu'une série d'explosions stellaires qui ont eu lieu au début de la formation des galaxies naines en aurait expulsé presque tout le gaz qui leur aurait servi à créer de nouvelles étoiles. Elles se seraient ainsi pratiquement dépeuplées.

Bien que cet évènement ait eu lieu il y a plus de 13 milliards d'années, peu de temps après la création de l'univers, ces explosions stellaires peuvent avoir laissé des traces (des éléments chimiques à l'intérieur et hors des galaxies) qui peuvent être vérifiées par des observations astronomique qui serviront à confirmer ou à réfuter le modèle. «Notre travail explique ce qui a pu avoir lieu tant à l'intérieur de la galaxie naine qu'entre les amas de galaxies», déclare Gustavo Lanfranchi.

Les galaxies naines existent dans tout l'univers, orbitant autour de galaxies plus grandes, comme la nôtre, la Voie Lactée. Elles possèdent généralement des centaines de millions d'étoiles (environ 0,1 % du total trouvé dans la voie Lactée). Certaines contiennent encore du gaz et sont encore capables de créer de nouvelles étoiles. Cependant, la plupart abrite seulement un groupe de vieilles étoiles. Dans la Petite Ourse, une des galaxies naines qui orbitent autour de la Voie Lactée, par exemple, la dernière étoile est née il y a 9 milliards d'années.

Conformément à la théorie cosmologique commune selon laquelle l'univers est né il y a 13,7 milliards d'années à partir d'une explosion initiale et qui depuis lors s'étend, les galaxies naines ont été les premiers amas d'étoiles à se former, environ 300 millions d'années après le Big Bang. De plus grandes galaxies de la taille de la Voie Lactée n'ont commencé à apparaître qu'un milliard d'années plus tard. Les astronomes débattent encore pour savoir si les plus grandes galaxies sont issues d'une agglutination de galaxies naines ou si elles se sont développées à part. Mais tous estiment que les galaxies, grandes ou petites, sont nées du gaz accumulé dans des régions de l'espace où la matière noire s'est concentrée.

La matière noire est une substance invisible qui n'a pas encore été identifiée. Elle est présente dans tout l'espace et n'est détectée que par l'influence gravitationnelle qu'elle exerce sur les étoiles et les galaxies. Selon les observations cosmologiques, il devrait y avoir de cinq à neuf fois plus de matière noire que de matière normale dans l'univers. Les simulations par ordinateur basées sur la théorie du Big Bang suggèrent que les plus grandes galaxies se sont justement formées dans les régions où s'est concentrée une plus grande quantité de matière noire, les halos.

Ces simulations montrent également que chacun de ces grands halos de matière noire est entouré d'une constellation de centaines de halos plus petits, qui, en principe, devraient être à l'origine des galaxies naines. Mais au lieu de centaines, seulement 26 d'entre elles ont été observées orbitant autour de la Voie Lactée. «Selon les observations et les simulations réalisées, il devrait y avoir des centaines de halos de matière noire qui

n'ont quasiment formé aucune étoile», commente Gustavo Lanfranchi.

Un autre mystère sur les galaxies naines est que la proportion de matière normale et de matière noire est très différente de celle observée dans les plus grandes galaxies. La masse du halo de matière noire qui englobe la Voie Lactée est 10 fois plus grande que la masse totale de ses étoiles. Par contre, les galaxies naines étudiées contiennent de 20 à 3,4 mille fois plus de matière noire que la masse stellaire. «Proportionnellement, beaucoup moins d'étoiles ont été créées dans les galaxies naines que dans la Voie Lactée pour différentes raisons», déclare Gonçalves.

Différents groupes d'astrophysiciens sont en train de développer des simulations montrant comment aurait évoluée la concentration initiale de gaz et de matière noire qui ont créées les galaxies naines, pour expliquer leur passé. Tous les travaux suggèrent que les protagonistes de cette histoire sont les supernovas qui sont les explosions qui marquent la fin de vie des étoiles ayant une masse très élevée, des dizaines de fois supérieure à celle du soleil. Selon les modèles théoriques, les premières supernovas qui se sont formées dans ces galaxies auraient transféré tant d'énergie vers le gaz à l'intérieur de ces amas d'étoiles qu'elles auraient fini par l'expulser dans le milieu intergalactique. Ainsi, sans gaz, la formation stellaire aurait été interrompue.

Jusqu'à présent, aucune simulation n'avait atteint un niveau de détail suffisant pour expliquer exactement comment ce gaz s'échappait, ni en quelle quantité, ni à quel stade de l'évolution galactique. Les astronomes brésiliens ont alors accepté de relever le défi de simuler le premier milliard d'années des galaxies naines de la manière la plus réaliste possible, utilisant un code informatique développé par l'astrophysicien polonais Grzegorz Kowal, de l'USP. Dans ces simulations, les chercheurs ont analysé 11 scénarios possibles expliquant l'évolution de ces galaxies, modifiant des paramètres comme la distribution de la matière noire et le taux de formation de supernovas. Ils ont également tenu compte de détails comme l'apparition aléatoire de supernovas dans différentes régions de la galaxie et la quantité d'énergie libérée par les explosions convertie en chaleur ou en lumière.

VENTS OMNIPRÉSENTS

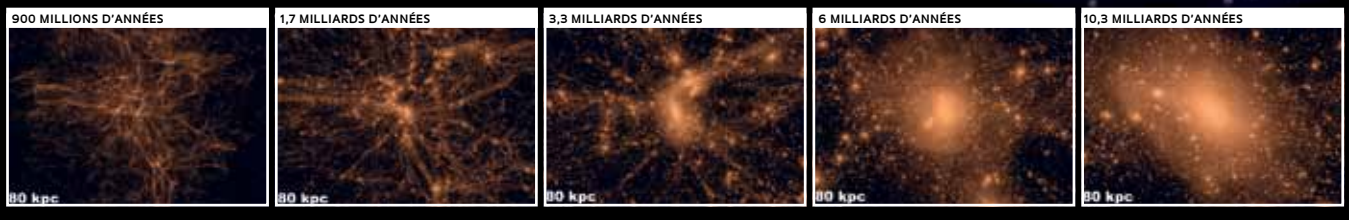
Les chercheurs, bien que maîtrisant les paramètres de leurs simulations, ne pouvaient pas en connaître les résultats à l'avance. «Nous avons découvert avec quelle rapidité les galaxies perdent leur gaz, compte tenu de leur masse, de la distribution de matière noire et du taux de formation de supernovas», explique Gonçalves.

Dans tous les scénarios, les simulations montrent que les supernovas créent des vents qui commencent à expulser le gaz de la galaxie 100 millions d'années après leur naissance. Dans le cas le plus extrêmes, 88 % du gaz a été éliminé en 1 milliard d'années. «La plupart des halos finissent avec peu d'étoiles et deviennent invisibles», explique le chercheur. «Les galaxies que nous obser-

La structure de l'univers

Une explosion de haute énergie qui a eu lieu il y a 13,7 milliards d'années, le Big Bang, a été à l'origine de l'univers, qui, à mesure qu'il s'est étendu et refroidi, a organisé la matière visible en atomes, étoiles, galaxies et amas de galaxies

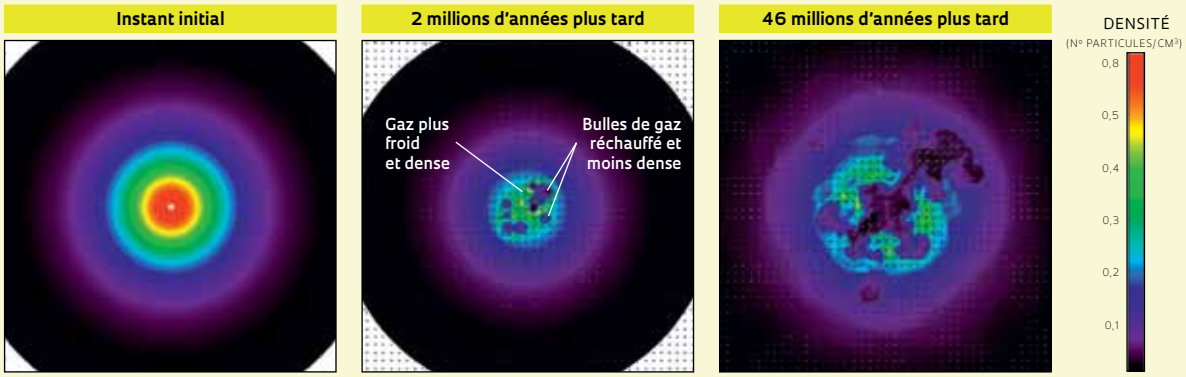
La simulation ci-dessous montre comment la matière noire (points brillants), un type de matière invisible présente dans tout l'univers qui interagit avec la matière normale à travers la gravité, aurait évolué après le Big Bang dans une région autour de la Voie Lactée



INFOGRAPHIE COSMIC TIMELINE ILLUSTRATION NASA/CXC/M.WEISS

Comment les galaxies naines perdent leur gaz

Des bulles de gaz chaud et moins dense flottent sur le gaz plus froid et dense en direction du milieu intergalactique



La matière noire fait en sorte que le gaz se concentre sur la partie la plus interne de la galaxie naine...

... jusqu'à ce que des explosions de supernovas créent des bulles de gaz chaud...

... qui s'étendent et se fondent, formant des canaux par lesquels le gaz s'échappe

IMAGES RUIZ, L.O. ET AL. MNRAS - 2012

Dans les simulations, 40 % du gaz réchauffé par les explosions de supernovas s'échappe de la galaxie en moins de 200 millions d'années

vons aujourd'hui se sont formées dans des scénarios où le vent était plus faible».

Les chercheurs pensaient que le gaz réchauffé par les supernovas surmontait l'attraction gravitationnelle et s'échappait de la galaxie poussé par beaucoup d'énergie, comme une fusée lancée dans l'espace, mais ils ont découvert que ce n'était pas toujours le cas. En effet, 5 % à 40 % du gaz réchauffé par les explosions s'échappait en moins de 200 millions d'années, même sans énergie pour vaincre la gravité, tout en flottant dans un gaz plus froid et plus dense qui l'entourait. «C'est comme un ballon rempli d'hélium qui s'élève seul, sans être lancé», explique Gonçalves.

Ce phénomène connu sous le nom d'instabilité de Rayleigh-Taylor, est le même qui est responsable de l'élévation en forme de champignon du gaz chaud dans une explosion atomique. Dans la simulation brésilienne, les supernovas créent, autour d'elles, des bulles de gaz chaud qui migrent vers les couches les plus externes et froides de la galaxie, s'étendant, se fondant et formant des canaux par lesquels le gaz s'échappe. Un résultat importante de ce phénomène est que la composition du gaz qui s'échappe des galaxies naines n'est pas la même que celle du gaz primordial, composée d'éléments chimiques légers (hydrogène et hélium), les premiers à apparaître dans l'univers. Le gaz qui s'échappe est enrichi d'éléments chimiques plus lourds, crées dans les explosions de supernovas.

«Ces résultats sont intéressants et devront être confronté aux observations pour vérifier si la théorie est correcte», affirme l'astrophysicien Reinaldo de Carvalho, de l'Institut National de Recherches Spatiales et spécialiste de l'évolution des galaxies. Les chercheurs espèrent comprendre ce qui s'est passé avec les galaxies naines en analysant la composition chimique de leurs étoiles. À cet effet, ils sont en train d'analyser la Petite Ourse. Ils ont l'intention de comparer leurs conclusions avec la composition du milieu intergalactique où auraient été expulsés des éléments chimiques plus lourds. ■

De vieux compagnons

Les galaxies se forment dans des régions ayant une plus grande concentration de matière noire. Dans chaque point autour de l'amas principal, à l'origine de la Voie Lactée, il devrait y avoir une galaxie naine, mais on n'en n'observe que 26 (voir les principales ci-dessus)

*1 kiloparsec (kpc) = 3 260 anos luz

Les projets

1. Champs magnétiques, turbulence et effets de plasma dans le milieu intergalactique – nº 2011/12909-8; **Modalité** Ligne régulière d'Aide au Projet de Recherche; **Coordonnateur** Diego Falceta Gonçalves – USP; **Investissement** 151 676,28 reais (FAPESP).

2. Étude numérique de plasmas magnétisés collisionnels et non collisionnels en astrophysique – nº 2009/10102-0; **Modalité** Ligne régulière d'Aide au Projet de Recherche; **Coordonnateur** Diego Falceta Gonçalves – USP; **Investissement** 108 750,89 reais (FAPESP).

3. Application de modèles théorico-informatiques en astrophysique – nº 2006/57824-1. **Modalité** Jeune Chercheur; **Coordonnateur** Gustavo Amaral Lanfranchi – Unicsul; **Investissement** 171 395,05 reais (FAPESP).

Article scientifique

RUIZ, L. O. *et al.* The mass loss process in dwarf galaxies from 3D hydrodynamical simulations: the role of dark matter and starbursts. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**. Sous presse.

En syntonie avec la lumière

Des physiciens utilisent un laser pour synchroniser des oscillateurs microscopiques qui fonctionnent comme les balanciers des pendules

PUBLIÉ EN FÉVRIER 2013

En accrochant côte à côte sur une même planche de bois deux pendules, le célèbre scientifique hollandais Christiaan Huygens a découvert, en 1665, qu'elles avaient rapidement tendance à émettre leur tic tac à l'unisson, même si au départ leurs balanciers n'étaient pas synchronisés. L'expérience impressionne encore de nos jours (faites une recherche avec le mot *synchronization* sur YouTube pour voir différentes démonstration curieuses du phénomène), bien qu'il n'y ait plus aucun mystère sur le pourquoi de la synchronisation spontanée des horloges. De nos jours, les physiciens savent parfaitement comment les horloges interagissent au moyen des vibrations mécaniques échangées à travers la planche, forçant les deux à osciller de la même manière.

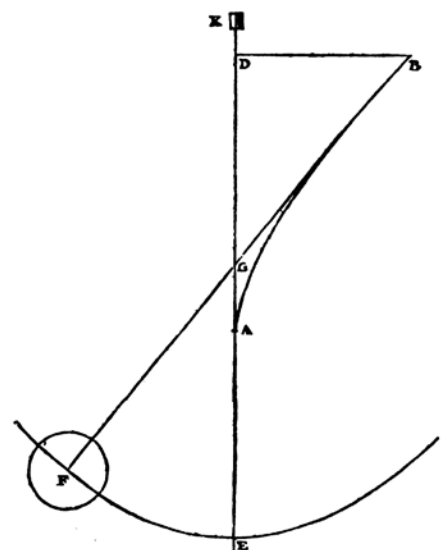
L'expérience de Huygens vient d'être reproduite dans le monde microscopique pratiquement 350 ans après, en utilisant au lieu des pendules deux oscillateurs taillés dans une micropuce de silice. Chaque oscillateur mesure 40 millièmes de millimètre de diamètre ou 40 mille nanomètres. Ils sont si petits et si flexibles qu'ils vibrent balancés par la force de la lumière ténue d'un laser d'une puissance mille fois inférieure à celle d'un pointeur laser commun. Mais il y a plus incroyable encore car la propre lumière échangée entre les oscillateurs joue le rôle de la planche en bois en synchronisant leurs vibrations.

Cette prouesse technique est due au travail d'une équipe de chercheurs de l'Université Cornell, aux États-Unis, dirigée par la physicienne étasunienne Michal Lipson, avec la collaboration du brésilien Gustavo Wiederhecker, qui depuis 2011 est professeur à l'Institut de Physique de l'Université Publique de Campinas (Unicamp). D'autres groupes avaient déjà fabriqués des micro-oscillateurs synchronisés par de petites connexions mécaniques. «Nous avons été les premiers à montrer qu'il est possible de provoquer un synchronisme en utilisant seulement de la lumière», dit Gustavo Wiederhecker. «Nous avions une idée nous poussant à croire que cela pouvait être fait mais nous n'étions pas certains que cela soit possible».

Plus qu'une curiosité, la démonstration présentée dans l'article de couverture de la revue *Physical Review Letters* du 05 décembre dernier, suggère que les micro-oscillateurs opto-mécaniques pourraient devenir la base d'une nouvelle technologie portable de haute précision pour marquer le temps, nécessaire pour que les ordinateurs, les téléphones mobiles et les systèmes de navigation fonctionnent correctement.

Ces dispositifs portables utilisent en général comme horloge interne la vibration régulière de petits cristaux de quartz actionnés et synchronisés par des signaux électriques. Leur précision est bonne mais l'industrie microélectronique est toujours à la recherche d'alternatives car les cristaux ont besoin d'être fabriqué séparément des micropuces de silice pour y être ensuite soudés, augmentant ainsi le coût de production. Par contre, les micro-oscillateurs développés par l'équipe de Michal Lipson, fait de nitrure de silicium, pourraient être manufacturés avec tout le reste de la structure interne des micropuces, sans coût

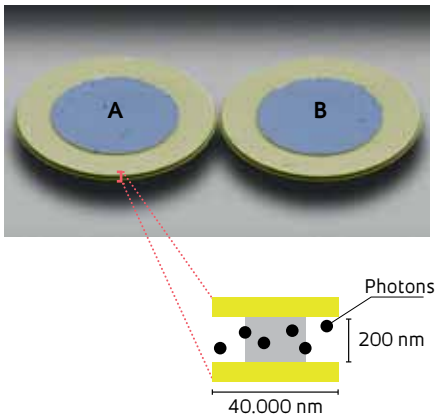
Dessins extraits du livre *Horologium oscillatorim*, de 1673, où Christiaan Huygens décrit le mouvement pendulaire, également observé sur les bords des oscillateurs microscopiques



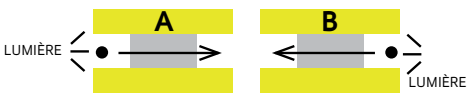
INFOGRAPHIE ANA PAULA CAMPOS **IMAGE** MIAN ZHANG / CORNELL NANOPHOTONICS GROUP **DESSIN** REPRODUCTION DE *HOROLOGIUM OSCILLATORIUM*. 1673 DE CHRISTIAAN HUYGENS

Interactions au laser

Légers et flexibles, les disques microscopiques de silicium vibrent sous la force exercée par la lumière

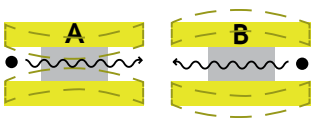


1 REPOS



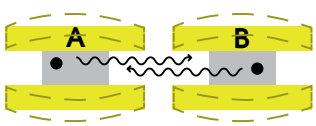
Un faisceau laser continu produit un effet sur les disques de manière à ce que la lumière avec une longueur d'onde spécifique pénètre dans l'espace qui les sépare

2 OSCILLATIONS



La lumière exerce une pression sur les parois des disques, force l'espace à augmenter et s'échappe. Ainsi, les disques vibrent et émettent des pulsations lumineuses

3 SYNCHRONIE



La lumière émise par la paire de disques de gauche entre dans l'espace de la paire de disques de droite, et vice-versa, synchronisant leurs vibrations

SOURCE GUSTAVO WIEDERHECKER - UNICAMP

supplémentaire. «N'importe quelle fabrique au monde serait capable d'exécuter ce projet», affirme Gustavo Wiederhecker.

La recherche a commencé en 2008, quand, intéressé par le fait de savoir comment la lumière pourrait être utilisée pour actionner des parties d'un mécanisme microscopique dans une puce de silicium, il a initié son post-doctorat à Cornell, sous la supervision de Lipson. Le physicien brésilien signait déjà en 2009, en tant que premier auteur, un article dans la revue *Nature*, montrant pour la première fois qu'il était possible de fabriquer une microstructure qui pourrait vibrer régulièrement actionnée par la force de la lumière d'une longueur d'onde spécifique. En 2011, l'équipe a déposé le brevet d'un filtre basé sur ce dispositif, capable de sélectionner des signaux lumineux de télécommunication envoyés par des fibres optiques de différentes longueurs d'onde.

PULSARS À L'UNISSON

Dans un travail plus récent, les chercheurs ont fabriqué des doubles oscillateurs. Chaque oscillateur est formé de disques superposés séparés par 0,2 millionième de millimètre ou 200 nanomètres (*voir infographie à gauche*). Les disques vibrent quand un faisceau laser d'intensité constante envoie de manière continue une lumière avec une longueur d'onde appropriée pour entrer dans l'espace situé entre les disques. Quand ce phénomène se produit, les particules de lumière circulent autour du bord des disques et exercent une pression contre leurs parois pour les faire s'éloigner. Quand l'espace augmente entre les disques, la lumière s'échappe et les bords du disque reprennent leur position originale, plus de lumière émise par le laser entre dans l'espace et le cycle recommence. Le résultat obtenu est une paire de disques oscillant avec une fréquence constante qui émet une lumière qui pulse à la même fréquence.

Les physiciens ont découvert qu'en plaçant côte à côte deux de ces oscillateurs, ils pourraient dans certaines conditions interagir au moyen de ces pulsations de lumière. Avec une fréquence de vibration correcte, la lumière clignotante émise par un oscillateur peut finir par entrer dans l'espace situé entre les disques de l'oscillateur voisin. «Ce clignotement de lumière force la paire de disques de droite à vibrer à la même fréquence que la paire de disques de gauche, et vice-versa», explique Gustavo Wiederhecker. «Parfois, elles entrent en accord et vibrent en synchronie, dans une même fréquence intermédiaire».

Gustavo Wiederhecker a construit la première version de la paire de micro-oscillateurs en 2010. Le physicien Mian Zhang, du groupe de Michal Lipson, a ensuite développé un procédé para enclencher ou couper l'interaction entre les oscillateurs, également par faisceau laser.

Pour Paulo Nussenzveig, spécialiste en optique quantique de l'Université de São Paulo, l'avantage de la synchronisation par la lumière est qu'elle permettrait une interaction dans un réseau de micro-oscillateurs aussi éloigné les uns des autres qu'on le souhaite, au moyen de fibres optiques. «J'apprécie énormément la qualité et la créativité de ce travail», dit-il.

Avec un projet Jeune Chercheur de la FAPESP récemment approuvé, Gustavo Wiederhecker espère que son laboratoire à l'Unicamp aura les conditions, d'ici un an, de réaliser ces expériences ainsi que d'autres avec des dispositifs opto-mécaniques. Gustavo Wiederhecker et le physicien Thiago Alegre, son collègue à l'Unicamp, veulent principalement savoir ce qui se passe quand les oscillateurs sont refroidis à des températures proches du zéro absolu (- 273,15 degrés Celsius) et quand leur dynamique est régie par les lois bizarres de la mécanique quantique. «Que signifie synchroniser des objets dans le monde quantique ?», s'interroge Gustavo Wiederhecker. «C'est un phénomène que nous commençons juste à explorer». ■ **Igor Zolnerkevic**

Article Scientifique

ZHANG, M. et al. Synchronization of micromechanical oscillators using light. **Physical Review Letters**. v. 109, p. 233.906-10. 5 dez. 2012.

Vols du futur

Embraer investit dans des partenariats allant du développement de biocarburants à l'innovation en cabines

Dinorah Ereno

PUBLIÉ EN NOVEMBRE 2012

Troisième plus grand constructeur mondial d'avions commerciaux juste derrière les géants Boeing (États-Unis) et Airbus (Union Européenne), Embraer a été créé pour transformer la science et les projets de recherche en produits technologiques. D'après Mauro Kern, ingénieur mécanique de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul (UFRGS) et vice-président du département Ingénierie et Technologie de l'entreprise, où il travaille depuis 30 ans, «la connaissance est dans l'ADN de l'entreprise. [...] Après-guerre, la vision était que l'industrie aéronautique pourrait jouer un rôle très important pour le développement de la technologie dans le pays».

Le premier mouvement allant dans ce sens fut la création de l'Institut Technologique d'Aéronautique (ITA) en partenariat avec l'Institut de Technologie du Massachusetts (MIT, États-Unis), dans le but de former des ingénieurs aéronautiques. Puis est venu le Centre Technologique d'Aéronautique (CTA), qui a développé dans les années 1950/1960 des projets pour former une base de connaissances technologiques. L'un d'eux a donné naissance à l'industrie aéronautique en 1969. Kern explique qu'«Embraer a été constitué pour produire l'avion *Bandeirante*». De nouveaux projets sont apparus peu de temps plus tard, comme celui du monomoteur agricole *Ipanema* à la fin des années 1960 et produit en série à partir de 1972: «Le premier avion certifié dans le monde pour voler avec du biocarburant est fabriqué jusqu'à aujourd'hui».

Entre 1983 et 1984, Kern a passé six mois en Italie en fonction du programme AMX, une ligne d'avions militaires développés en collaboration avec deux entreprises italiennes et tournée vers l'habilitation de l'industrie nationale en matière d'intégration de systèmes. Andrea Barp, ingénieur électronique formé par l'ITA et employé au département Simulation et Modélisation de systèmes, a également effectué un séjour en Italie en 1983 avec d'autres jeunes chercheurs: «Le degré d'intégration et la complexité des systèmes embarqués étaient considérés comme avancés à l'époque, surtout en raison du logiciel embarqué».

De gauche à droite: Alexandre Filogonio, Paulo Anchieta, Fernando Fernandez, Allan Pereira, Mauro Kerne et Andrea Barp, au siège situé à São José dos Campos

LÉO RAMOS

Finalement, les défis du groupe brésilien ont été relevés après beaucoup d'études et la connaissance accumulée pendant ce parcours a permis à Embraer de produire cinq ans plus tard le logiciel embarqué de l'avion *AMX*.

Dans les faits, l'entreprise a cherché à acquérir son autonomie dans toutes les étapes de développement et de construction d'un avion. Lorsque Kern est rentré au Brésil, par exemple, il a été transféré dans une filiale de l'entreprise conçue pour développer des compétences en trains d'atterrissage et hydraulique fine: «J'ai été le premier ingénieur du personnel technique de cette filiale». Plusieurs programmes de coopération et de développement ont été menés jusqu'en 1996, date à laquelle Embraer a certifié le train d'apprentissage du *ERJ145* (avion régional de 50 places), le premier totalement développé par l'entreprise. Kern a rejoint le siège de l'entreprise en 1999 pour travailler sur les projets des séries *Embraer 170* et *190*, une ligne d'avions commerciaux d'une capacité de 70 à 120 places. D'abord nommé ingénieur-chef du projet 190, il a ensuite assumé la direction des programmes 170 et 190 et la vice-présidence de l'aviation commerciale. Depuis un an et demi, il est à la tête de la vice-présidence du département Ingénierie et Technologie, une fonction qui englobe tous les programmes aéronautiques de l'entreprise.

Andrea Barp, qui travaillait avec des avions de défense à usage militaire, a aussi été appelé pour faire partie du programme d'avions régionaux *Embraer 170* et *190* en 2000: «J'étais chargé d'aider à intégrer des modèles de simulation dans les dispositifs d'essai, qui étaient jusqu'alors statiques». Sans une simulation réaliste des conditions de vols, il n'aurait pas été possible de préparer l'avion pour son premier test dans les airs. À l'époque, la complexité des développements amenait Embraer à faire appel à des sous-traitants pour l'intégration et le développement du logiciel embarqué – qui est responsable de la connexion de tout ce qui est dans l'avion ainsi que d'une série de fonctionnalités importantes pour la compétitivité du produit et des services qui y sont associés. En 2005, Barp a commencé à étudier les causes fondamentales de ces obstacles. Pour

Ligne de montage d'avions commerciaux

renverser la situation, il a recouru à des méthodes, des procédures, des instruments et des milieux capables d'étendre l'utilisation de la modélisation mathématique et de la simulation de systèmes au long de toute la chaîne de valeur de fabrication d'un avion, qui englobe les tests, la certification et le service d'assistance aux clients.

Chez Embraer, la Recherche et Développement (R&D) est divisée en deux catégories: «compétitive» et «pré-compétitive». Depuis 2000, la R&D compétitive a été responsable de: la famille *E-Jets*, c'est-à-dire les avions commerciaux 170, 175, 190 et 195, d'une capacité de 70 à 120 places ; le *Legacy 600*, qui a marqué l'entrée de l'entreprise sur le marché de l'aviation d'affaires ; les *Phenom 100* et *300*, de petits avions d'affaires pour un maximum de 11 passagers ; le *Lineage 100*, avion d'affaires dont l'intérieur de 120 m^2 abrite divers espaces pour les passagers. À l'heure actuelle, l'équipe de la R&D compétitive développe les *Legacy 450* et *500* et le *KC 390*, un avion de transport militaire. «Le plus grand de la catégorie et de ce qui a déjà été projeté par Embraer», précise Kern. «Il possède des compétences très intéressantes, comme l'atterrissage sur des pistes très courtes et le réapprovisionnement en vol». Sur le portefeuille de projets de développement technologique, il y a une interaction très intense entre l'aviation commerciale, l'aviation d'affaires et celle de la défense & sécurité. En 2011, la recette nette d'Embraer a été de 9,8 milliards de reais, dont 63 % provenant du secteur de l'aviation commerciale.

La R&D pré-compétitive n'a pas de produit en cours de développement mais des technologies qui pourront être utilisées dans les projets futurs, à l'exemple du soudage par friction, un processus fait à l'état solide pour produire des soudures par rotation ou par le mouvement de pièces sous compression. Ingénieur mécanique diplômé de l'École d'Ingénierie Industrielle de São José do Campos et titulaire d'un master de l'ITA, Fernando Fernandez a travaillé sur cette technologie entre 2003 et 2011: «Ce soudage permet un soulagement de poids intéressant pour l'industrie aéronautique». Pour l'instant, le soudage par friction ne sera utilisé que sur un petit tableau de l'avion *Legacy 500*, qui doit voler d'ici la fin de l'année 2012. Fernandez analyse depuis l'année dernière des technologies en ayant en vue «les 15 ou 20 ans à venir ».

Il y a un échange entre l'aviation commerciale, l'aviation d'affaires et celle de la défense & sécurité

Embraer développe plusieurs projets avec des instituts de recherche, des universités et d'autres entreprises. L'un des exemples est le Centre d'Ingénierie du Confort, un projet en partenariat avec l'Université de São Paulo (USP), l'Université Fédérale de Santa Catarina (UFSC) et l'Université Fédérale de São Carlos (UFSCar), avec le soutien de la FAPESP et de l'agence de financement d'études et de projets (Finep). Ledit 'laboratoire de confort', de près de 300 m^2, a pour objectif d'améliorer l'intérieur des avions et le niveau de bien-être des passagers.

Financé par la FAPESP, le projet «Avion silencieux: une étude en aéroacoustique» réunit 70 chercheurs d'Embraer, de l'USP, de l'Université

de Brasília, de l'UFSC et de l'Université Fédérale d'Uberlandia (UFU). Il travaille à des méthodes et des équipements pour supprimer des bruits. Les premières discussions qui ont précédé le projet ont eu lieu en 2003 avec la participation d'Allan Kardec Pereira, 47 ans, ingénieur aéronautique diplômé de l'Université Fédérale de Minas Gerais (UFMG). Pour son postdoctorat en ingénierie mécanique à l'Université d'état de Campinas (Unicamp), il a analysé l'accouplement vibration-bruit interne sur des avions. D'autre part, il a travaillé pendant 2 périodes chez Embraer – la première fois en 1989 dans le département Développement de produit.

Au début des années 1990, Pereira est revenu dans l'état du Minas Gerais pour y suivre un master sur l'optimisation à l'UFMG et un doctorat à l'Unicamp sur le contrôle des vibrations. De retour chez Embraer en 2001, il a travaillé dans le département Développement de produit puis dans celui des Avant-projets en étant responsable de la création des premiers concepts d'un nouveau produit: «J'ai travaillé sur les premiers projets du *Phenom 100* et *300* et du *Legacy 500*».

9,8 milliards de reais, la recette nette de l'entreprise en 2011

Des techniciens interviennent sur plusieurs étapes de la fabrication, comme celle de l'installation acoustique (*ci-dessous*)

En avril 2012, un projet développé par l'entreprise en coopération avec un consortium d'entreprises portugaises et l'Institut d'Ingénierie de l'Université de Porto (relié à la Faculté d'Ingénierie de l'Université de Porto) a remporté le *Crystal Cabin Award* dans la catégorie «Concepts visionnaires», un prix international pour l'innovation à l'intérieur des avions. Intitulé *Life*, le projet présente une nouvelle conception pour l'aviation d'affaires du futur, avec des matériaux tels que le liège et le cuir, les fibres optiques et les diodes électroluminescentes (LED).

MOINS DE CARBONE

Embraer participe également de consortiums avec d'autres entreprises du secteur et instituts de recherche pour développer de nouvelles technologies de fabrication, des matériaux composés, des structures métalliques et des systèmes embarqués. «Nous menons de front plusieurs projets différents», observe Kern. Et le développement de biocarburants en fait partie. L'un des projets sur les biocarburants est réalisé en partenariat avec les entreprises nord-américaines Amyris et GE, avec la participation de la compagnie Azul Linhas Aereas. Il vise la production de biocarburants pour avion à partir de l'éthanol de la canne à sucre. Un autre, en collaboration avec Boeing et la FAPESP, s'attache à identifier des alternatives durables pour le développement et la production de biocarburants destinés à l'aviation commerciale brésilienne.

Alexandre Tonelli Filogonio affirme qu'«en plus d'être une alternative au kérosène obtenu du pétrole, les biocarburants produits à partir de sources renouvelables contribuent à réduire l'émission de carbone». Diplômé en ingénierie mécanique de l'UFMG et en ingénierie économique de la Fondation Dom Cabral, Filogonio

PHOTOS LÉO RAMOS

Laboratoire de tests et de vérification de matériaux (*à gauche*) et tableau de bord du Legacy 450 (*ci-dessus*)

Le contrôle fonctionne comme un outil préventif d'analyse des composants de l'avion

dirige un groupe qui travaille sur les carburants alternatifs dans le domaine du développement technologique pré-compétitif. Selon les données du Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), l'aviation commerciale est responsable de 2 % des émissions totales de gaz carbonique (CO_2) générées par les activités humaines. Le défi est de réduire les émissions de telle sorte qu'en 2050 elles équivalent à la moitié de ce qui a été émis par le secteur en 2005, conformément à l'engagement de l'entreprise pris en avril 2008 et ratifié en mars 2012. Un autre domaine important chez Embraer est celui du contrôle de santé des avions, coordonné par Paulo Anchieta. Âgé de 46 ans, Anchieta a suivi une trajectoire professionnelle singulière: embauché à 26 ans comme technicien mécanique, il a ensuite été transféré au département d'ingénierie où il préparait les données mathématiques utilisées par les ingénieurs pour évaluer les structures des avions. Diplômé d'un lycée technique, il a aussi décidé d'étudier les mathématiques à l'Université Salesania de Lorena (dans l'état de São Paulo): «Grâce au cours, j'ai eu l'opportunité d'aider davantage des ingénieurs sur des points qu'ils ne maîtrisaient pas».

Le travail de contrôle fonctionne comme un outil préventif d'analyse des composants des avions afin d'éviter des contretemps futurs. Appelée PHM (*prognostics and heatlh management*), la technologie de gestion de la santé des systèmes a été élue en 2009 parmi les dix technologies les plus prometteuses pour l'aviation par l'Institut Américain d'Aéronautique et Astronautique (AIAA).

L'expérience d'Anchieta avec les avions militaires lui a servi de passeport pour être invité à travailler sur le projet de contrôle et santé des avions commerciaux: «La structure de l'avion militaire est surveillée comme s'il s'agissait d'un contrôle de santé de personnes». En outre, il a suivi un cours du soir d'ingénierie mécanique à la Faculté d'Ingénierie de l'Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Guaratinguetá pour pouvoir assumer des fonctions plus compatibles avec sa connaissance et son expérience.

La crise financière du début des années 1990 a entraîné des réductions drastiques du personnel, mais elle s'est transformée en période d'apprentissage pour Anchieta dans la mesure où il a «dû occuper plusieurs fonctions». À l'époque, seules 30 personnes étaient responsables de toutes les opérations d'ingénierie reliées à l'analyse

INSTITUTIONS QUI ONT FORMÉ DES CHERCHEURS DE L'ENTREPRISE	
Mauro Kern, vice-président Ingénierie et Technologie	**UFRGS** (1er et 2ème cycles)
Andrea Barp, Simulation et Modélisation de systèmes	**ITA** (1er et 2ème cycles)
Fernando Fernandez, Développement de Matériaux et Processuss	**Escola de Engenharia Industrial** (1er et 2ème cycles) **ITA** (master)
Allan Kardek Pereira, Développement Technologique	**UFMG** (1er et 2ème cycles) **Unicamp** (doctorat et postdoctorat)
Alexandre Tonelli Filogonio, Carburants Alternatifss	**UFMG** (1er et 2ème cycles) **Fundação Dom Cabral** (3ème cycles)
Paulo Anchieta, Contrôle de la Santé des avions	**Universidade Salesiana de Lorena et Unesp de Guaratinguetá** (1er et 2ème cycles)

Avions d'affaires Phenom 100 (*en haut à gauche*) et Lineage 100 (*en haut*), et représentation artistique de l'avion de transport militaire KC 390 (*ci-dessus*), en développement

structurelle. Aujourd'hui, ils sont 4000 (parmi les plus de 17 000 employés de l'entreprise) ingénieurs et concepteurs aéronautiques à travailler dans le domaine de l'ingénierie. Toujours dans les années 1990, Anchieta a suivi avec le soutien de l'entreprise plusieurs disciplines de 3e cycle à l'ITA, ce qui a augmenté considérablement son bagage théorique.

En assumant la direction de l'équipe de contrôle de la santé des avions, Anchieta s'est mis à la recherche de partenaires pour développer des innovations en matière d'aviation commerciale. Il est d'abord entré en contact avec la Faculté d'Ingénierie Mécanique de l'UFU et la Faculté d'Ingénierie de l'Unesp d'Ilha Solteira. Par la suite, les collaborations se sont étendues à l'Université Catholique Pontificale de Rio de Janeiro, à l'École Polytechnique de l'Université Fédérale de Rio de Janeiro et à des chercheurs de l'UFMG et du Centre de Recherche et Développement en Télécommunications (CPqD) de Campinas. Certains projets sont déjà achevés et ont porté leurs fruits.

DÉTECTION PRÉCOCE

La recherche en partenariat avec l'Université Fédérale d'Uberlândia a abouti à un nouveau projet destiné au développement de la sérialisation du système de contrôle structurel. «Nous développons un système de logiciel et matériel informatique basé sur la technologie dite d'impédance électromagnétique pour faire le travail de captage dans les avions», explique Anchieta. À partir de résultats de la vibration, les capteurs vont montrer les failles éventuelles, leur localisation et le degré de gravité. Le système sera d'abord appliqué sur les tests de fatigue des avions: «Le bénéfice sera fantastique, car la détection d'une fissure en phase initiale évitera qu'elle s'agrandisse et cause des dommages dans le futur». La prochaine étape consiste à faire en sorte que le système de captage soit qualifié pour une utilisation en vol, aussi bien pour les avions militaires que les avions commerciaux et ceux d'affaires.

En juillet 2012, Anchieta a gagné le prix annuel décerné à l'occasion du congrès sur la technologie de l'*European Workshop Structural Health Monitoring* (SHM) de Dresden, Allemagne. Il avait été indiqué par le professeur d'astrophysique Fu-Kuo Chang, de l'Université Stanford. Le vainqueur est élu par un comité international composé de 120 personnes des domaines universitaire, gouvernemental et industriel, comme la Nasa (agence spatiale nord-américaine), des centres de recherche américains, européens, australien et japonais, et des professionnels travaillant chez Airbus, Boeing et Bombardier. ■

Une référence **mondiale**

Des innovations dans le domaine des soins féminins et des crèmes solaires de l'entreprise Johnson & Johnson sont exportées dans le monde entier

PUBLIÉ EN JANVIER 2013

L'entreprise Johnson & Johnson Brésil, considérée comme étant l'une plus grandes filiales hors des États-Unis en termes de production et de ventes, est également devenue une référence en matière de recherche et de développement (R&D). «Aujourd'hui, le centre de recherche mondial de la ligne de produits de soins féminins, composée principalement de serviettes hygiéniques, se trouve ici au Brésil. C'est une décision qui a été prise par le siège social l'année dernière», déclare Samuel Abel Moody Santos, 53 ans, vice-président de R&D pour l'Amérique Latine. Le Centre de Recherche et de Technologie (CPT) de l'entreprise brésilienne Johnson se situe dans un complexe industriel de 910 mille m² de superficie, parmi lesquels 700 mille m² consacrés à des zones vertes, à São José dos Campos, à 72 kilomètres de São Paulo. C'est également le CPT qui centralise la mise au point de crèmes solaires pour l'Amérique Latine, l'Europe et l'Asie, un rôle de premier plan conquis au fil des décennies.

À titre d'exemple, Samuel Abel Moody Santos a commencé à travailler chez Johnson en 1975 où il projetait des machines, après avoir terminé ses études secondaires de technicien mécanicien. «À l'époque les équipements pour fabriquer nos produits étaient dessinés et fabriqués ici car le coût de leur importation était très élevé». Le centre de R&D, qui a eu 40 ans en 2012 à São José dos Campos, après avoir été transféré du quartier de la Mooca, à São Paulo, n'a pas été au départ créé pour développer des produits sur le marché brésilien. Son rôle était de trouver des matières premières pour des produits connus à l'étranger qui seraient lancé ici. L'entreprise est arrivée au Brésil en 1933 pour approvisionner le marché brésilien en produits hospitaliers et domestiques comme le coton, la gaze, le sparadrap et les compresses chirurgicales.

La serviette féminine Carefree, par exemple, avait comme matériel absorbant une matière première qui jusqu'à aujourd'hui n'est pas fabriquée sur le marché brésilien. Les chercheurs brésiliens ont développé un produit ayant des performances similaires et des avantages supplémentaires en utilisant des matières premières totalement brésiliennes. Le produit est aujourd'hui vendu en Amérique du Nord, en Europe et dans toute l'Asie. Ce développement a, d'une certaine manière, offert à ce centre une crédibilité mondiale que nous n'avions pas encore», déclare Samuel Santos, qui, au terme du cours d'ingénierie de l'Université de Mogi das

Samuel Santos (*à droite*), vice-président de R&D pour l'Amérique Latine chez Johnson, avec une équipe de chercheurs à São José dos Campos

LÉO RAMOS

Cruzes (UMC), avait dessiné une machine pour tester des échantillons dans une usine pilote, ce qui lui avait valu une invitation pour travailler dans le centre de R&D au mois d'octobre 1980.

En 1994, quand il était déjà directeur de la recherche de l'entreprise Johnson Brésil, il s'est rendu à Shanghai, en Chine, pour diriger la mise au point et le lancement de serviettes hygiéniques sur le marché chinois. Il y est resté un an et demi, période durant laquelle il s'est consacré au développement du produit, à l'identification des matières premières qui seraient utilisées dans la composition du produit et au montage de la fabrique. Il a ensuite été transféré de Shanghai vers le siège social de la compagnie à New Brunswick, dans l'état du New Jersey, aux États-Unis. Il est revenu au Brésil en mai 2011, après plus de 15 ans passé au siège social, pour assumer la vice-présidence de R&D pour l'Amérique Latine. «Notre recherche est divisée en plusieurs secteurs. Nous avons plus de 20 domaines spécialisés car notre but est d'avoir des experts dans chaque domaine».

À titre d'exemple, un des groupes de recherche appelé Science du Consommateur a pour objectif d'identifier les besoins et les désirs des consommateurs. Rosana Rainho das Neves, 53 ans, est responsable de ce groupe et directeur sénior de R&D, diplômée de troisième cycle en ingénierie chimique de l'École Polytechnique de l'Université de São Paulo (USP) et travaille depuis trente ans dans l'entreprise. «J'ai inauguré ce secteur au Brésil en 1992, quand il commençait à peine en Asie», déclare Rosana Rainho das Neves. Son travail se focalise sur deux moments bien distincts du processus de développement. L'un d'eux est quand le produit n'existe pas encore. «Nous cherchons à comprendre le consommateur et à capter ses *insights* pour qu'avec les chercheurs nous puissions à partir de ces observations élaborer de nouveaux produits». Le deuxième moment se situe dans la phase de développement au moment où les prototypes sont testés avec le consommateur jusqu'à arriver à un produit prêt à être lancé sur le marché.

Après avoir créé le groupe de Science du Consommateur, où elle est restée neuf ans, Rosana Rainho das Neves a assumé la direction des produits de soins pour la peau (*skin care*) et il y a huit ans est revenue dans le groupe qu'elle avait créé. «Chaque fois que nous lançons un nouveau produit nous devons connaitre l'opinion du consommateur et c'est pour cela que nous

1 Hélices d'un agitateur mécanique

2 Analyses de colorant en laboratoire

3 Mèches de cheveux utilisées pour tester des produits

4 Après-shampoing pour enfants en phase de tests

faisons des tests qualitatifs et quantitatifs», déclare Rosana das Neves, qui a suivi un cours de Master of Business Administration (MBA) de 900 heures en gestion d'affaires à l'École Supérieure de Publicité et de Marketing (ESPM), en partenariat avec l'Institut Technologique d'Aéronautique (ITA). Les tests internes sont réalisés à partir d'une base de données répertoriant 1 500 employés qui participent bénévolement. Les tests sont réalisés sur un plus grand nombre de consommateurs externes recrutés par des agences quand l'équipe de recherche arrive à un prototype de produit qui lui semble excellent.

La division de la consommation de l'entreprise Johnson Brésil, qui comprend des produits de soins pour la peau, des crèmes solaires, des produits d'hygiène orale, de soins pour bébé et enfants, des soins féminins et des médicaments exonérés de prescriptions médicales, est le deuxième marché de l'entreprise dans le monde juste derrière les États-Unis où se trouve son siège social. «La ligne de soins pour la peau, par exemple, est celle qui globalement vend le plus», déclare Samuel Santos. En 2011, le chiffre d'affaire global de Johnson & Johnson Consommation a été de 14,9 milliards de dollars US. La compagnie est formée de plus de 250 entreprises qui travaillent dans 60 pays et qui emploient environ 118 mille personnes. Le Brésil emploie plus de 5 mille personnes parmi lesquelles 280 qui travaillent dans le secteur de R&D dans toute l'Amérique Latine (Argentine, Chili, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Panama, République Dominicaine, Paraguay, Uruguay, Colombie, Venezuela, Équateur, Pérou, Mexique et Brésil. «Sur ce total, 200 ont une formation supérieure et 80 sont des techniciens parmi lesquels 80 % travaillent au Brésil», dit Santos. Les deux principales formations universitaires sont la pharmacie et l'ingénierie chimique, mais des biologistes, des chimistes, des physiciens, des médecins et des dentistes font également partie des chercheurs. Environ 30 % d'entre eux ont un master et 10 % un doctorat.

Le groupe de Rosana Rainho das Neves a un canal direct avec le groupe de développement de produits duquel fait partie Paula Scarcelli D'Oliveira Dantas, 37 ans, directrice sénior de R&D dans le domaine des soins pour la peau et diplômée en pharmacie biochimique à l'USP. «Nous partons du point zéro du projet jusqu' au développement du produit», déclare Paula Scarcelli D'Oliveira Dantas, qui a travaillé dans deux grandes entreprises pharmaceutiques et chez un fournisseur de matières premières pour les médicaments et les cosmétiques avant d'entrer chez Johnson en 2005.

INSTITUTIONS QUI ONT FORMÉ LES CHERCHEURS DE L'ENTREPRISE

Samuel Abel Moody Santos, vice-président de la recherche et du développement pour l'Amérique Latine	**UMC –** Diplôme universitaire
Rosana Rainho das Neves, directrice senior de R&D	**USP –** Diplôme universitaire et de troisième cycle **ESPM/ITA –** MBA
Paula Scarcelli D'Oliveira Dantas, directrice senior de R&D dans le domaine des soins de la peau	**USP –** Diplôme universitaire **FGV –** MBA
Sérgio Luiz de Oliveira, directeur senior des affaires scientifiques, de la recherche analytique et de la recherche microbiologique	**Univap et Faculdade Oswaldo Cruz –** Diplôme universitaire - **Univap/Unicamp –** Master **FGV –** MBA
José Eduardo Pelino, directeur des relations scientifiques et professionnelles dans le domaine du soin oral	**Unesp –** Diplôme universitaire et master **USP –** Doctorat **Université de Californie –** Doctorat et post-doctorat

PHOTOS LÉO RAMOS

3

4

«Aujourd'hui, les différentes lignes de recherche que j'ai conduites à l'université me servent de support pour développer des produits», déclare le dentiste José Eduardo Pelino

«Depuis que je suis ici, j'ai eu de nombreuses opportunités d'apprentissage». Elle a travaillé pensant deux mois sur un projet de cosmétologie dans un grand centre de recherche de l'entreprise près de Princeton, dans le New Jersey, aux États-Unis. «Je suis ensuite restée plus d'un mois au même endroit comme *shadow* (ombre) d'une personne qui avait de hautes fonctions administratives pour m'en inspirer dans mes projets», déclare-t-elle. Comme elle voulait approfondir ses connaissances dans le domaine de la consommation, elle a fait un MBA en *marketing* à la Fondation Getúlio Vargas (FGV). En outre, elle a fait une spécialisation en cosmétologie dans le domaine des cheveux, au Conseil Régional de Pharmacie et un cours d'évaluation en toxicologie des cosmétiques en Belgique».

GROUPE MULTIDISCIPLINAIRE

L'analyse de la sécurité et l'efficacité des produits développés par le CPT est du ressort de l'équipe de Sérgio Luiz de Oliveira, 45 ans, depuis 27 ans dans la compagnie et occupant actuellement le poste de responsable senior des affaires scientifiques, de la recherche analytique et de la recherche microbiologique de R&D. «Comme les analyses réalisées concernent l'aspect chimique, microbiologique et biophysique, notre groupe de recherche est multidisciplinaire», déclare Sérgio Luiz de Oliveira, qui a commencé dans l'entreprise comme stagiaire dans le domaine de la R&D après avoir terminé son cours technique en chimie. Dans l'équipe composée de 30 personnes se trouvent des biologistes, des chimistes, des pharmaciens, des mathématiciens et des biophysiciens. «Nous devons garantir que la formule qui ira sur le marché puisse endurer toutes les variations climatiques après son lancement», dit-il. Sérgio Luiz de Oliveira a étudié les mathématiques à l'Université Vale do Paraíba (Univap), qui avait constitué un consortium avec ITA, et la chimie à la Faculté Oswaldo Cruz de São Paulo. Il a un master à l'Univap, un partenariat avec l'Unicamp dans le domaine de la bioingénierie et un MBA à la FGV en gestion entrepreneuriale. Outre l'équipe interne de R&D, l'entreprise Johnson a des partenariats avec l'USP, l'Unicamp, l'ITA, l'Univap, l'Institut National de Recherches Spatiales (Inpe) et l'Université fédérale du Rio Grande do Sul (UFRGS).

Le secteur de la R&D bénéficie également de chercheurs ayant un grand cursus universitaire qui font le lien avec des professeurs d'odontologie et des spécialistes dans ce domaine, comme c'est le cas du dentiste José Eduardo Pelino, 42 ans, formé par l'Universidade Estadual Paulista (Unesp) de São José dos Campos, où il est également titulaire d'un master dans le domaine de la microbiologie avec sources lumineuses, comme le laser et les DELs, utilisés pour la prévention des caries, un doctorat à l'Université de Californie à San Francisco, aux États-Unis, sur les propriétés optiques des tissus dentaires, un diplôme de troisième cycle dans cette même université en blanchissement des dents, et un doctorat à l'USP avec une bourse de la FAPESP. Outre son métier de dentiste, José Eduardo Pelino donne des cours de master à l'USP et aux Facultés Métropolitaines Unies (FMU) sur le laser en odontologie et il a également été directeur et coordonnateur du cours de troisième cycle en odontologie à l'Université Cruzeiro do Sul (Unicsul). Il travaille chez Johnson depuis 2009 et occupe le poste de directeur des relations scientifiques et professionnelles. «Tout les produits de soins oral qui sont distribués en Amérique Latine passent sous mon crible scientifique», déclare José Eduardo Pelino, qui souligne: «Les différentes lignes de recherche que j'ai conduites tout au long de ma carrière universitaire m'aident aujourd'hui dans l'industrie et me servent de support pour développer des produits». Des spécialistes en optique de l'Univap et de l'Institut de Chimie de l'USP, à São Carlos, collaborent également aux études dans le domaine du soin oral. ■ **Dinorah Ereno**

Un carreau de céramique plus sophistiqué

Des développements technologiques dans des usines de revêtements de sols et de carrelage hissent le Brésil au rang de deuxième producteur mondial

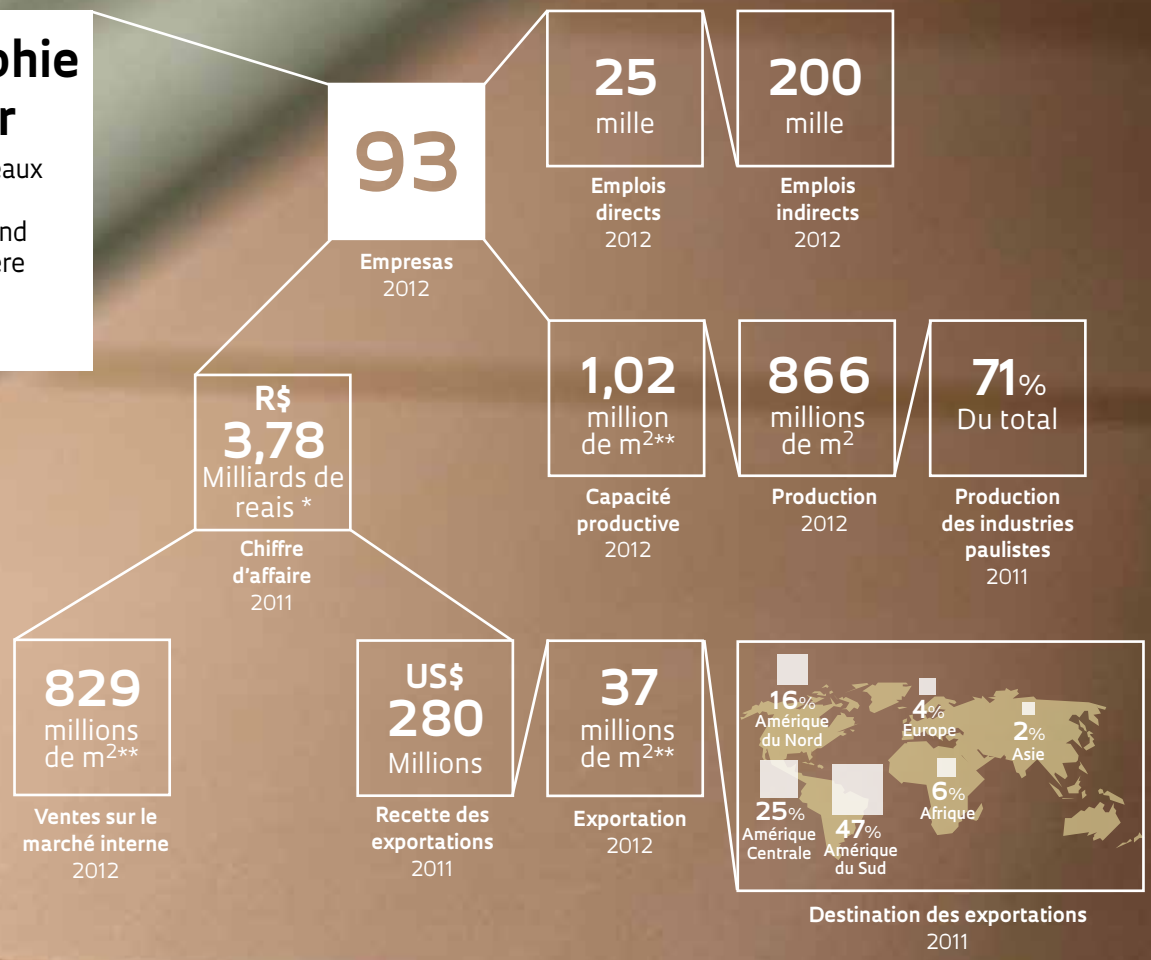
Yuri Vasconcelos

PUBLIÉ EN MARS 2013

Ces 15 dernières années, le Brésil a multiplié par quatre sa production de revêtements céramiques, matériau qui englobe les sols et les carrelages pour devenir aujourd'hui le deuxième fabriquant mondial de ces produits. Avec 866 millions de mètres carrés produits en 2012, le Brésil ne perd que pour la Chine et a déjà dépassé ses concurrents traditionnels comme l'Espagne et l'Italie qui, il y a quelques années, dominaient encore le secteur. Selon l'Association Nationale des Fabricants de Céramique pour Revêtements, Sanitaires et Congénères (Anfacer), qui représente 93 entreprises dans 18 états, les fabricants nationaux sont en ligne avec la meilleure technologie disponible au monde. La croissance brésilienne s'est accentuée au cours de la dernière décennie quand le secteur a bénéficié d'un projet lancé par le programme de Consortiums Sectoriels pour l'Innovation Technologique (Consitec), de la FAPESP, qui réunit des chercheurs du Centre Céramique Brésilien (CCB) et un conglomérat d'entreprises du pôle céramique de Santa Gertrudes, dans la région de Rio Claro, dans l'intérieur pauliste, outre des chercheurs d'universités et d'instituts de recherche. Dans le but de mettre l'accent sur le développement de l'industrie locale,

Radiographie du secteur

Le secteur des carreaux céramiques pour le revêtement comprend 93 entreprises et gère 225 mille emplois directs et indirects



*Secteur céramique Pauliste uniquement

**Prévision

SOURCE ANFACER

le projet a introduit l'innovation et la formation du personnel dans les fabriques afin d'améliorer la qualité et la compétitivité de la céramique dans l'état de São Paulo.

En 2001, au début du projet Consitec, le Brésil était le quatrième producteur mondial de carreaux céramiques avec 473 millions de m², et São Paulo représentait 40 % de la production nationale. Aujourd'hui, les entreprises paulistes représentent 70 % de la production nationale avec 866 millions de m², et le pays est devenu le deuxième producteur mondial. «Quand nous avons initié les contacts avec les entreprises pour la création du consortium, l'image des produits de Santa Gertrudes était bien négative. Les articles étaient réputés comme ayant une basse qualité technique et esthétique», se rappelle l'ingénieur des matériaux José Octavio Armani Paschoal, président du CCB et coordonnateur du projet du Consitec. «Maintenant cela a changé. São Paulo a conquis une place de choix dans le monde de la fabrication de carreaux céramiques pour les revêtements. Avant, si nous étions à la traine, aujourd'hui nous sommes sur la ligne de front», dit-il. Le chiffre d'affaire des entreprises paulistes a atteint 3,78 milliards de reais en 2011.

Anfacer n'a pas publié les données sur le chiffre d'affaire du secteur sur le plan national qui concerne 25 mille postes de travail directs et environ 200 mille indirects. Le projet Consitec a été monté avec 20 fabriques paulistes, considérant sept lignes de recherches, allant des innovations dans le domaine des essais jusqu'à l'évaluation des produits et des études en technologie de pose des carreaux céramiques. Trois lignes ont mis l'accent sur le grès cérame, un type de carreau céramique sophistiqué de grande valeur ajoutée avec des réquisits techniques différenciés comme une plus grande étanchéité, une plus grande résistance mécanique et un design plus élaboré. Des études ont été menées sur le développement de matières premières pour la fabrication de ces pièces, l'étude technologique du processus industriel et la création d'émaux spéciaux.

L'un des principaux avantages du projet Consitec, qui a bénéficié d'un investissement de 586 mille reais pour une période de sept ans de la part de la FAPESP ainsi qu'un financement équivalent de la part des entreprises, a été de réaliser une amélioration significative de la qualité de la céramique pauliste. «Le pourcentage de carreaux classées classe A, sans défauts, comme des fêlures, des taches et des variations dans la tonalité de l'émail, entre autres, est passé de 50 % à 98 % à

PHOTOGRAPHIES LEO RAMOS INFOGRAPHIE ANA PAULA CAMPOS

Leaderships mondiaux

L'industrie céramique a fortement évolué au cours de la dernière décennie et se distingue sur le plan mondial, dépassant des pays traditionnels dans ce secteur comme l'Italie et l'Espagne (en millions de m^2)

la fin du programme. Moins de 2 % des carreaux céramiques produits aujourd'hui dans l'état ont des imperfections», déclare José Octavio Armani Paschoal. D'après lui, le premier obstacle qu'il a fallu surmonter a été d'ajuster le processus de production en essayant d'implanter un système de gestion de qualité dans les fabriques. «Nous avons constaté que les entreprises ne contrôlaient pas toutes les étapes du processus. Après le démarrage de la certification de la qualité du produit fini, faite par le CCB, l'indice de non conformité aux normes nationales et internationales a chuté drastiquement. Le secteur de la céramique pour revêtement est devenu l'un des leader du secteur de la construction civile en matière de conformité technique», commente José Octavio Armani Paschoal. Le nombre d'entreprises du pôle céramique de Santa Gertrudes ayant des produits de qualité certifiés se chiffrait à 20 en 2008, le double d'il y a sept ans. Au cours de la même période, le nombre de fabriques ayant un système de qualité certifié par la norme ISO 9001 est passé de 4 à 13.

Outre l'augmentation de la qualité et la certification des produits, les industries paulistes ont commencé à fabriquer un volume plus important de pièces en grès cérame. «Le grès cérame est un produit plus cher et il concurrence des roches naturelles comme le marbre et le granit», déclare l'ingénieur des matériaux Ana Paula Menegazzo, surintendante du CCB. «Quand les entreprises brésiliennes ont commencé à fabriquer ce type de produit, le consommateur ayant un meilleur pouvoir d'achat a acheté la «griffe», y compris en payant plus cher pour elle». Selon les statistiques de l'organisme, la production brésilienne de cet article a été multipliée par 18 au cours de la dernière décennie, passant de 4 millions de mètres cubes en 2001 à 72 millions en 2011. Au cours de la même période, le nombre de fabricants pauliste de cet article est passé de 3, ne produisant seulement que des pièces de petites dimensions (plaquettes), à 15, avec un savoir faire suffisant pour fabriquer des carreaux de plus d'un mètre carré. Malgré cette augmentation, le principal centre producteur de grès cérame est l'état de Santa Catarina qui concentre également un pôle céramique important.

Dans l'intérieur pauliste, l'entreprise Villagres, dont le siège est à Santa Gertrudes, est l'un des principaux fabricants de sols et de revêtements en grès cérame. Productrice traditionnelle de céramique depuis près de 90 ans, elle possède

108 articles différents dans son portefeuille et investit dans de nouvelles technologies. L'entreprise a été l'une des premières de l'état à utiliser la technologie d'impression numérique, un procédé réalisé avec un jet d'encre qui permet de sérigraphier n'importe quelle surface en céramique. «C'est un processus sophistiqué, mais en même temps facile à travailler. Vous pouvez, par exemple, scanner une pierre dans la nature et reproduire ses traits sur le grès cérame. La machine fonctionne comme une imprimante papier à la différence qu'elle utilise de l'émail sur un carreau de céramiques», explique Vanderli Vitório Della Coletta, propriétaire de l'entreprise Villagres. L'entreprise a produit 6 millions de m2 de revêtements céramiques en 2012 et a enregistré une croissance de 6% du chiffre d'affaire par rapport à 2011. «Nous avons eu une très bonne année et nous continuons notre expansion. Nous sommes en train d'améliorer notre portefeuille et notre production migre vers le grès cérame», dit-il.

Pour Marcos Serafim, directeur du secteur d'innovation du CCB, l'impression numérique représente une nouvelle manière de penser le design de produits, le système industriel du secteur et impose quelques enjeux. «Malgré tout ce changement technologique, la transformation la plus profonde souhaitée doit se produire dans le design. La question maintenant est de savoir comment capturer, travailler et manipuler numériquement ces dessins sans que cela ne devienne aseptisé», dit-il. Selon Marcos Serafim, les industries nationales continuent d'avoir comme référence des pays comme l'Espagne et l'Italie, qui vendent directement les dessins numériques à des entreprises nationales ou via des fournisseurs de matières premières ou des studios de design. «Le Brésil a besoin d'innover en créant sa propre identité en design de produits», dit-il.

La qualité de la matière première utilisée dans la fabrication des produits est un facteur déterminant pour la croissance du secteur céramique de São Paulo. «Santa Gertrudes possède une des plus grandes mines d'argile du monde», déclare Elson Longo, professeur de l'Institut de chimie de l'Université Publique pauliste (Unesp), à Araraquara, et coordonnateur du centre Multidisciplinaire pour le Développement de Matériaux Céramiques (CMDMC), l'un des 11 Centres de Recherche, Innovation et Diffusion (Cepid) de la Fapesp. «En outre, l'argile rouge qui affleure à la surface dans la région est d'une excellente qualité et les fabricants n'ont pratiquement pas besoins d'ajouter d'additifs pour fabriquer les produits. C'est un atout en termes de compétitivité», déclare Elson Longo. Il a coordonné les recherches du projet Consitec, au niveau universitaire, avec des chercheurs de l'Université Fédérale de São Carlos (UFSCar) et de l'Institut de Recherches Énergétiques et Nucléaires (Ipen), de São Paulo. «La technologie et les connaissances produites par le projet Consitec n'ont été possible que grâce au financement de la FAPESP», déclare Longo.

L'argile de la région de Santa Gertrudes est d'une excellente qualité et les fabricants n'ont pas besoin d'ajouter d'additifs dans la production

Compte-tenu des propriétés de la matière première, les revêtements céramiques fabriqués dans l'intérieur pauliste utilisent le broyage à sec, un procédé plus simple que la «voie humide» et qui permet une réduction du coût d'environ 50 %. La préparation de la pâte pour le broyage humide, utilisée dans l'état de Santa Catarina et dans d'autres endroits du pays, requiert différentes étapes, alors que dans le procédé de broyage à

1 Argile brute avant son traitement industriel

2 Ligne de production de l'entreprise Rochaforte: la technologie et l'amélioration des processus de fabrication ont apporté de bons résultats

sec, l'argile passe par un seul broyeur et est déjà prête pour le pressage. «L'argile trouvée dans la formation géologique de Corumbataí, dans la région de Santa Gertrudes, possède des propriétés plastiques privilégiées, ce qui favorise un temps de cuisson plus court, élevant les indices de productivité», déclare Ana Paula.

L'étude des propriétés de l'argile de l'intérieur pauliste est le thème de doctorat défendu par l'ingénieur des matériaux Rogers Rocha, propriétaire de l'usine Rochaforte, à Cordeirópolis. «Il y a une grande différence dans la composition d'une argile d'une mine à l'autre. Je mène des recherches sur les caractéristiques minéralogiques, chimiques et céramiques des roches de la formation géologique de Corumbataí, d'où est extraite l'argile utilisée par les usine locales», déclare le chercheur-entrepreneur. «Mieux comprendre les caractéristiques de la matière première va nous aider à améliorer la qualités des articles que nous produisons. L'entreprise Rochaforte a été créée il y a 60 par le grand-père de Rogers Rocha. Comme beaucoup d'autres entreprises du secteur dans la région, il a commencé par fabriquer des tuiles et des briques pour ensuite proposer un type de sol carrelé rudimentaire. Il fabrique actuellement 2 millions de m2 de revêtements céramique par mois en utilisant le broyage à sec. «Ce procédé est incomparable en termes de coût», déclare Rogers Rocha.

Selon l'entrepreneur, le développement technologique et l'amélioration des processus de fabrication ont été fondamentaux pour le boom de la céramique pauliste. «Le rapprochement de notre industrie avec l'université a énormément amélioré les produits et les processus. Je constate les résultats pratiques de la recherche dans mon entreprise. Certains de nos produits possèdent le même niveau de qualité que ceux fabriqués en Espagne et en Italie», dit-il. Outre le fait de vendre sur le marché interne, Rochaforte exporte vers les États-Unis, le Chili, l'Argentine et certains pays d'Amérique Centrale.

Le CCB, inauguré il y a 20 ans, a joué un rôle primordial dans l'évolution du secteur céramique national. L'organisme a été actif dans la recherche et le développement de produits céramiques, en réalisant principalement l'interface entre les universités et les entreprises et en offrant des services de conseils techniques et technologiques au secteur. Le Centre d'Innovation Technologique en Céramiques (Citec/CCB) possède une infrastructure moderne en termes de laboratoires qui a été certifiée par l'Institut National de Métrologie, Qualité et Technologie (Inmetro) pour la réalisation d'essais de certification et de contrôle de qualité des produits et des processus. Le centre possède une infrastructure complète pour fabriquer n'importe quel type de carreau céramique à l'échelle du laboratoire, ainsi que des équipements pour évaluer la résistance à la flexion, l'usure par abrasion et la résistance au glissement des sols.

Le Brésil est le seul pays à posséder des normes spécifiques pour le grès cérame, un type de revêtement qui exige des réquisits techniques plus avancés

Une évolution constante

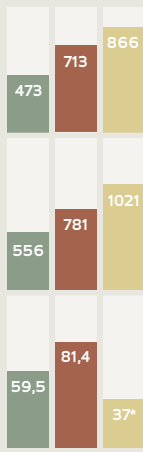
2001 2008 2011 2012

LE SECTEUR A AUGMENTÉ DE 90 %
L'augmentation s'est produite entre 2001 et 2012

PRODUCTION
En millions de m²

CAPACITÉ PRODUCTIVE
En millions de m²

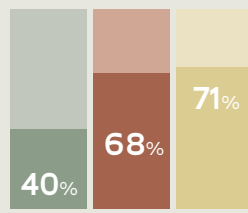
EXPORTATION
En millions de m²
*Estimation



SOURCE CCB et Anfacer

LE POIDS DE SÃO PAULO
En 10 ans, la participation des industries paulistes dans la production nationale de revêtements céramiques est passée de 40% à 72% du total

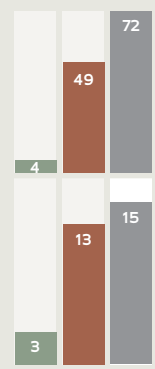
Production nationale
Production pauliste

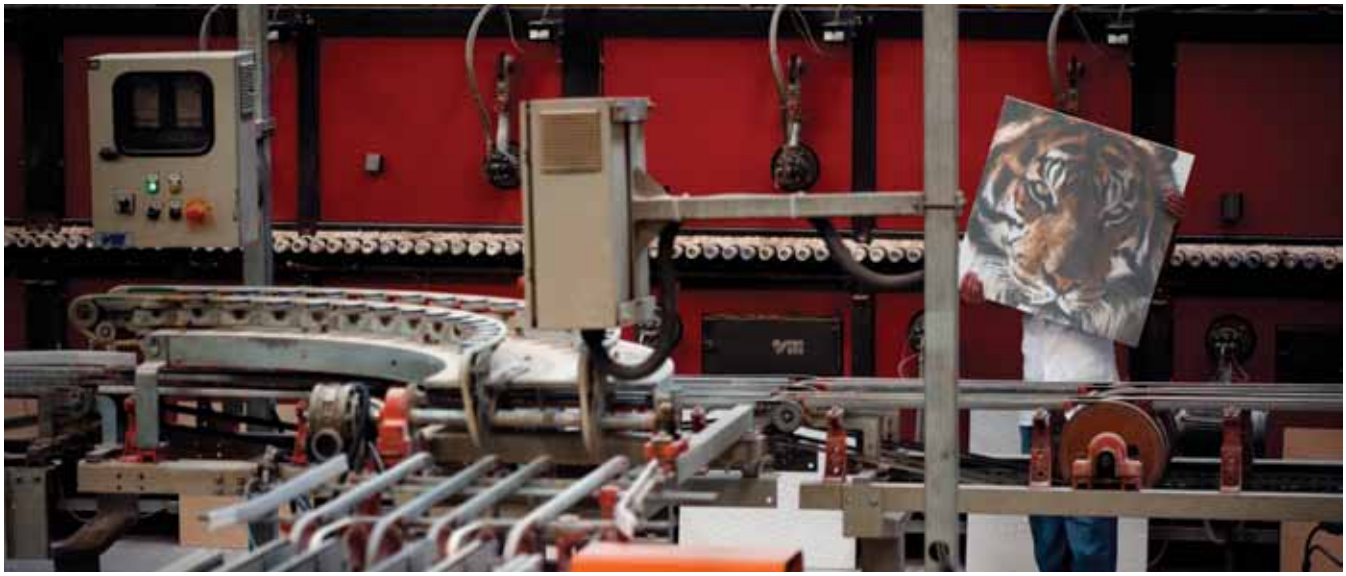


NICHE EN EXPANSION
La production brésilienne de grès cérame, article de plus grande valeur ajoutée, a été multipliée par 18 entre 2001 et 2011

PRODUCTION DE GRÈS CÉRAME
En millions de m²

ENTREPRISES PAULISTE DE GRÈS CÉRAME





À l'entreprise Villagres, l'impression numérique reproduit la photographie d'un tigre sur un carreau de céramique

Pour la seule année 2011, 20 577 essais ont été réalisés dans les laboratoires du Citec/CCB, qui compte sur 12 chercheurs, parmi lesquels 3 maîtres et 3 docteurs. «Avec la mise en route du Citec, nous avons commencé à développer de nouveaux produits, à améliorer le processus productif et à réaliser des activités de services après-vente. Ceci nous a permis d'avoir une solide compréhension sur les principaux problèmes observés dans les revêtements céramiques. Nous avons également mené des recherches sur les méthodes d'application de la céramique qui ont permis de réduire de manière très importante les problème liés à la pose du produit», déclare José Octávio Armani Paschoal.

Le CCB a également participé à l'élaboration de normes techniques du secteur, comme la norme brésilienne sur le grès cérame, avec l'association des fabricants Anfacer. Le CCB est le coordonnateur de la Commission des Études des Carreaux Céramiques de l'Association Brésilienne des Normes Techniques (ABNT). «La norme du grès cérame NBR 15463, qui a des paramètres très rigoureux, a été créée suite à la demande des propres fabricants afin de mettre l'accent sur la qualité élevée et la compétitivité du grès cérame brésilien. Cette norme, pionnière dans le monde, a été présentée au Comité International ISO 189 qui travaille sur les normes mondiales pour les revêtements céramiques», raconte Ana Paula. «Le Brésil est le seul pays à avoir une norme spécifiques pour le grès cérame avec des requis techniques qui sont les plus exigeants au monde. C'est pour cela que je peux affirmer sans aucune crainte que les grès cérames certifiés par le CCB sont les meilleurs du monde», dit-il. Selon le CCB, le Brésil participe activement aux travaux de révision des normes techniques internationales. «Nous travaillons actuellement avec l'Institut de Technologie Céramique d'Espagne (ITC), le Tile Council of North America des États-Unis (TCNA), et le Centre Céramique de Bologne en Italie (CCB), à la création d'une nouvelle méthodologie d'essai pour la mesure de la résistance à l'abrasion des produits céramiques», dit-il.

Les bons résultats de ces dernières années ont permis aux industriels de rester largement optimistes. De nombreuses entreprises Paulistes ont l'intention de développer leurs fabriques, comme Rochaforte qui a programmé l'ouverture de filiales dans le Nordeste. Les filiales sont importantes car le transport des marchandises du lieu de production jusqu'au lieu de consommation représente un coût important dans le prix final du produit. L'expansion du marché interne, selon José Octávio Armani Paschoal, devrait continuer de favoriser la demande en revêtements céramiques. «Malgré l'augmentation significative du nombre de nouvelles habitations de ces dernières années, il y a encore un grand déficit habitationnel dans le pays, de l'ordre de 10 millions d'unités. En outre, il y a également le marché de la rénovation des constructions, et tout cela indique une grande consommation potentielle pour la céramique», dit-il. D'après lui, le grand défi à relever dans l'avenir sera d'élever la productivité de l'industrie nationale et de promouvoir le développement de nouveaux produits céramiques, principalement à travers les innovations technologiques, «pour que le Brésil augmente encore plus sa participation sur le marché mondial». ■

Projet

Consortium sectoriel de l'industrie de la céramique de revêtement de l'état de São Paulo: innovation technologique et compétitivité (nº 2001/10783-5); **Modalité** Programme Consortiums Sectoriels pour l'Innovation Technologique (Consitec); **Coordonnateur** José Octávio Armani Paschoal — CCB; **Investissement** 586 715,13 reais (FAPESP) et 586 715,13 reais (Entreprises).

Plus de cellulose par centimètre carré

Un eucalyptus transgénique produit 20 % de plus que l'arbre original

Evanildo da Silveira

PUBLIÉ EN FÉVRIER 2013

En apparence, la petite plantation d'eucalyptus de 2,2 hectares située dans une ferme de la commune d'Angatuba (SP) n'a rien d'inhabituel. Mais les différences existent et se trouvent dans les cellules de ces arbres qui ont reçu le gène d'une autre espèce, l'Arabidopsis thaliana, une plante-modèle très utilisée dans les expérimentations génétiques. Avec cette modification, les arbres sont capables de produire 20% de plus de bois que les eucalyptus originaux. La petite forêt d'eucalyptus transgéniques en pleine croissance est l'une des quatre plantations expérimentales, de cet arbre génétiquement modifié, cultivées par FuturaGene, entreprise qui se consacre à l'amélioration de la productivité et à la durabilité des forêts cultivées pour les marchés de la cellulose, de la bioénergie et des biocarburants. L'objectif est d'évaluer la biosécurité des transgéniques pour vérifier s'ils créent des impacts et des interférences sur l'environnement et d'autres végétaux.

FuturaGene a été fondée en 1993 en Israël, comme entreprise incubée, à l'Université Hébraïque de Jérusalem qui se consacre à l'ingénierie des protéines et appelée CBD Technologies. FuturaGene a été achetée en juillet 2010 par l'entreprise brésilienne Suzano Papier et Cellulose. Les expériences menées dans l'intérieur pauliste, dans l'état de Bahia et dans l'état du Piauí sont une étape nécessaire avant la libération commerciale des plantes génétiquement modifiées et c'est une exigence de la Commission Technique Nationale de Biosécurité (CTNBio), organisme responsable au Brésil de l'évaluation des produits transgéniques. «Ces quatre plantations cultivées en 2012 totalisent neuf hectares», déclare Eugenio Ulian, vice-président des affaires réglementaires de l'entreprise FuturaGene. L'objectif recherché est de faire des analyses et de collecter des données pour répondre aux exigences de la loi sur la biosécurité et de transmettre prochainement une demande d'autorisation commerciale à

CTNBio. La perspective est que ce produit puisse être approuvé pour un usage commercial d'ici environ quatre ans».

Le gène qui a été introduit dans l'eucalyptus codifie l'une des enzymes spécifiques qui participent à la formation chimique de la cellulose, l'endoglucanase. «L'entreprise FuturaGene a découvert une manière de modifier la structure de la paroi cellulaire (qui est composée de cellulose) des arbres transgéniques grâce à l'expression du gène Arabidopsis thaliana de cet enzyme dans les plantes», déclare Eugenio Ulian. «De cette manière, le gène exogène fait en sorte que les cellules déposent plus de cellulose dans la formation des parois cellulaires de l'arbre, ce qui, dans le cas d'espèces comme l'eucalyptus, produit un plus grand volume de bois».

La paroi des cellules d'une plante est un composé chimique composé de cellulose, un polymère d'unités de glucose, enchevêtré à d'autres polymères complexes comme l'hémicellulose et la lignine. Ceci forme une structure rigide autour de la cellule végétale qui se détend seulement pour lui permettre d'augmenter de taille et de se diviser. «La technologie de l'entreprise FuturaGene rend possible la production d'espèces ayant des parois cellulaires modifiées qui sont capables d'accélérer leur distension et leur reconstitution pendant la croissance normale de l'arbre», explique Eugenio Ulian. «L'introduction du nouveau gène dans l'eucalyptus provoque une croissance accélérée et une plus grande productivité». Ce sont deux bonnes raisons pour que les industries du papier et de l'énergie se sentent attirées par cette technologie. La cellulose extraite de la paroi cellulaire de la plante est la matière première de toute fibre industrielle utilisée dans la fabrication de papier, de panneaux d'aggloméré et de bois. En outre, ce procédé technologique produit également des matériaux pour une série d'autres produits forestiers

Eucalyptus génétiquement modifié de 6 ans, à Angatuba, dans l'intérieur pauliste

LÉO RAMOS

ou agricoles comme les sucres qui seront prochainement utilisés dans la production d'éthanol de deuxième génération, ou encore, les composés chimiques utilisés dans les bioplastiques. Dans le cas de l'eucalyptus transgénique développé par l'entreprise FuturaGene, outre le fait de produire 20% de plus de cellulose que les plantes normales (qui produisent en général une moyenne de 45 mètres cubes à l'hectare), ce procédé peut augmenter les taux de productivité du bois de 30 à 40% qui seront utilisés dans d'autres applications, comme la bioénergie, par exemple.

L'entreprise FuturaGene a parcouru un long chemin avant d'arriver à cette plante génétiquement modifiée. Les premières recherches qui ont débouché sur l'eucalyptus transgénique ont commencé à être menées juste après sa création à l'Université Hébraïque de Jérusalem. «De nombreuses études ont été réalisées sur les différents gènes impliqués dans la formation de la paroi cellulaire qui ont été clonés et introduits par surexpression dans des espèces-modèle comme sur le propre *Arabidopsis*, sur le peuplier et sur l'eucalyptus lui-même», raconte Eugenio Ulian. «Le gène de l'endoglucanase a été choisi pour la suite des travaux car c'est lui qui a obtenu les meilleurs résultats».

L'entreprise utilise des semences provenant du croisement de transgéniques avec des plantes originales pour analyser leur productivité

L'entreprise FuturaGene a déjà planté 12 zones expérimentales avec de l'eucalyptus transgénique. Les premières cultures ont été cultivées en 2006 et 2007 en Israël et au Brésil. Les travaux ont continué après l'acquisition par l'entreprise Suzano, avec de nouvelles plantations au Brésil. En 2012, outre les neuf hectares cultivés avec la première espèce génétiquement modifiée, six autres hectares ont été plantés avec des semences provenant de croisements réalisés entre le transgénique et des matrices conventionnelles, visant à sélectionner des clones améliorés ayant comme caractéristique un taux de productivité élevé.

Depuis 1998 l'entreprise Suzano développe également des projets en partenariat avec le professeur Carlos Alberto Labate, du Département de Génétique de l'École Supérieure d'Agriculture Luiz de Queiroz (Esalq), de l'Université São Paulo (USP). «Il s'agit de travaux tournés vers le domaine de la biotechnologie et de la génomique fonctionnelle de l'eucalyptus», déclare Labate. «Nous avons déjà eu deux projets financés et approuvés par le Programme de Soutien à la Recherche en Partenariat pour l'Innovation Technologique (Pite) de la FAPESP et maintenant nous en sommes au troisième. Dans notre premier projet Pite, l'objectif était de développer la méthodologie de transformation génétique de l'eucalyptus. «Esteban Roberto González, mon élève de doctorat a été embauché par l'entreprise Suzano et est aujourd'hui le directeur de la recherche et du développement de l'entreprise FuturaGene», déclare le chercheur de l'Esalq, qui assumé au mois de janvier le poste de directeur du Laboratoire National de Sciences et de Technologie du Bioéthanol (CTBE). «La méthodologie que nous avons développé a été brevetée et toute la connaissance acquise a été d'une certaine manière transférée vers l'entreprise. En outre, nous réalisons jusqu'à aujourd'hui des réunions fréquentes et des formations pour le personnel de l'entreprise FuturaGene, ce qui nous permet d'avoir une excellente interaction avec l'entreprise».

1 Laboratoire de biotechnologie de l'entreprise FuturaGene, à Itapetininga (SP)

2 Manipulation de feuilles d'eucalyptus pour la replantation

3 Deux phases de plantation transgénique à Angatuba

TENEURS EN SUCRE

Dans le second projet Pite, le chercheur de l'Esalq a développé différents plants transgénique d'eucalyptus en modifiant l'expression des gènes liés à la synthèse des glucides de la plante. «L'objectif du projet était d'augmenter la quantité de xylanes dans le bois d'eucalyptus», explique-t-il. «Ces plantes transgéniques se trouvent actuellement chez l'entreprise FuturaGene qui va réaliser des essais sur le terrain». La xylane est une hémicellulose, un polymère de xylose (un sucre présent dans le bois), qui a un rôle important dans le blanchissement des pâtes de cellulose et dans les propriétés du papier.

PHOTOGRAPHIES 1 ET 2 FUTURAGENE ET 3 LÉO RAMOS

La modification des teneurs de ce sucre dans la plante permet d'augmenter la production et de différencier les propriétés des pâtes et des papiers produits.

Les Objectifs de l'entreprise FuturaGene pour 2013 sont de planter 30 hectares d'eucalyptus génétiquement modifiés pour réaliser des tests. «L'objectif est de tester de nouvelles modifications génétiques qui pourront éventuellement déboucher sur d'autres produits ayant la même caractéristique en termes de productivité élevée, comme dans le premier eucalyptus transgénique produit, mais contenant des gènes différents ou des constructions génétiques améliorées», déclare Eduardo José de Mello, vice-président des opérations Brésil et directeur de l'amélioration forestière de l'entreprise FuturaGene. «Nous pensons que les expériences de cette année serviront à la sélection de nouveaux produits». En outre, les laboratoires de l'entreprise sont en train de développer de nouvelles espèces résistantes aux parasites et aux maladies qui permettront une meilleure gestion des plantes invasives et une amélioration de la qualité du bois. Outre la biosécurité, l'entreprise FuturaGene, dans les différents tests réalisés, vérifie également le comportement de l'eucalyptus transgénique dans divers espacements de culture. «Cette information sera importante pour la planification des plantations futures en fonction de leur finalité, comme la production d'électricité, de panneaux d'aggloméré ou de cellulose, par exemple», déclare Mello. «Compte tenu de la haute productivité du transgénique et de la finalité de la biomasse, l'abattage pourra être réalisé plus précocement vers 5 ans et demi». L'eucalyptus conventionnel n'atteint la même productivité qu'à l'âge de 7 ans.

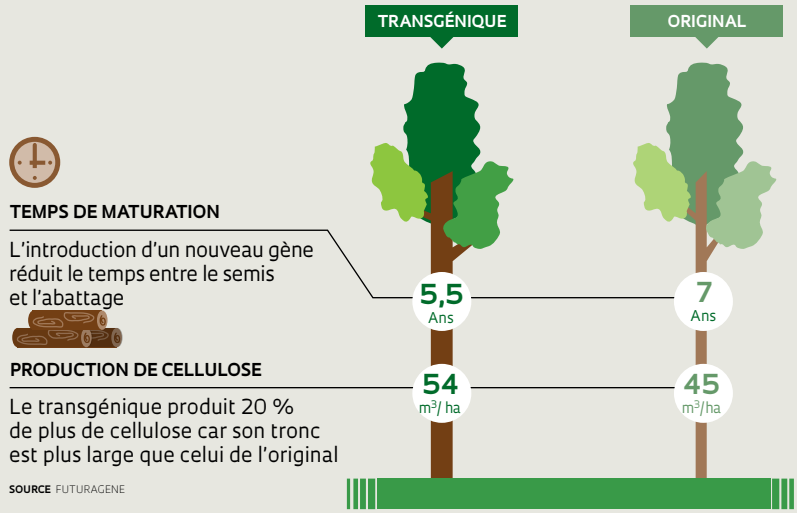
Aujourd'hui, selon Mello, le Brésil détient le plus grand taux de productivité mondial en termes de culture d'eucalyptus. Cette supériorité est due au climat favorable et au développement technologique atteint par le pays. «L'amélioration génétique conventionnelle par sélection et propagation des meilleurs individus est un apport important en termes de gains de productivité, mais la tendance montre que ces résultats sont chaque fois plus difficile à dépasser», déclare Mello. «La biotechnologie, à travers l'utilisation de transgéniques, sera un outil important pour que le Brésil reste leader en termes de productivité et continue compétitif sur le marché du bois d'eucalyptus et de ses dérivés». L'entreprise Suzano est actuellement la deuxième productrice mondiale de cellulose d'eucalyptus et le résultat net de l'entreprise a atteint 4,8 milliards de reais en 2011, sachant que plus de 50 % des ventes sont réalisées sur le marché extérieur.

La manipulation génétique des plantes pourra également avoir un rôle important dans le maintien et la préservation des forêts natives du monde entier. Selon les données de l'organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO), il y a environ 4 milliards d'hectares de forêts sur la planète, ce qui représente autour de 27 % des terres émergées du globe. On estime aujourd'hui que la consommation mondiale de bois s'élève à environ 3,4 milliards de mètres cubes par an, avec une prévision d'augmentation de 25 % jusqu'en 2020. Pour répondre à cette demande, les forêts natives de la planète sont abattues à un rythme de 12 millions d'hectares par an. Selon une étude du Centre pour l'Évaluation du Risque Environnemental de Cultures Génétiquement Modifiées (Cera), d'Ilsi Research Foundation (fondation qui réunit des institutions de recherche du monde entier), les forêts plantées représentaient 5 % du total des forêts de la planète mais représentaient environ 35 % du bois produit en 2000. Depuis lors, la zone de culture des espèces arborées s'élève à 264 millions d'hectares, ce qui représente 6,6 % des forêts mondiales. On estime que depuis la fin des années 80, à l'époque où les premiers végétaux transgéniques ont été autorisés pour une culture commerciale, plus de 800 expériences sur le terrain, avec des arbres génétiquement modifiés appartenant à environ 40 espèces, ont déjà été réalisées à travers le monde. ■

INFOGRAPHIE ANA PAULA CAMPOS

Croissance accélérée

L'eucalyptus transgénique a un taux d'occupation de la terre plus court et devient ainsi plus rentable pour tout le secteur du papier et de la cellulose conventionnelle



SOURCE FUTURAGENE

La manipulation génétique des plantes pourra avoir un rôle important dans le maintien et la préservation des forêts natives

Projet

Génomique fonctionnelle appliquée à la découverte de gènes de résistance à la rouille de l'eucalyptus – nº 2008/50361-1; **Modalité** Programme de Soutien à la Recherche en Partenariat pour l'Innovation Technologique (Pite); **Coordonnateur** Carlos Alberto Labate – USP; **Investissement** 330 195,78 reais et 242 235,41 dollars US (FAPESP) et 1 376 000,00 reais (Suzano).

La recherche qui devient politique

Des études universitaires sur les besoins de la population aident chaque fois plus les gouvernements à adopter des mesures

Claudia Izique

PUBLIÉ EN OCTOBRE 2012

La Cour des Comptes de l'état du Mato Grosso (TCE/MT) contrôle les dépenses d'éducation et de santé de 141 communes et les impacts de ces politiques sur la qualité de la prise en charge par l'intermédiaire de la base de données géoréférencées développée par le Centre d'Études sur la Métropole (CEM). D'après Marta Arretche, professeur du département de science politique de l'Université de São Paulo (USP) et directrice du CEM, «ce modèle permet à la fois de voir si les communes dépensent ce qu'exige la Constitution et si elles améliorent leur performance».

Créée il y a cinq ans à la demande de la Cour des Comptes du Mato Grosso, la méthodologie a été transférée à l'état pour être utilisée comme outil d'évaluation de la compétence des administrations communales. Mais pas seulement. Les informations issues de l'application de l'*Indice de performance en matière de santé et d'éducation* des villes de l'état du Mato Grosso sont disponibles sur le site de la Cour des Comptes et peuvent être consultées par tout citoyen désireux d'en savoir plus sur la prise en charge et les dépenses de santé et d'éducation dans sa commune.

Le transfert de connaissances pour l'évaluation de politiques publiques est la mission principale du CEM, un des Centres de Recherche, Innovation et Diffusion (Cepid) soutenus par la FAPESP. Il est formé du Centre Brésilien d'Analyse et de Planification (Cebrap), de la Faculté de Philosophie, Lettres et Sciences Humaines (FFLCH) et de l'École de Communications et d'Arts (ECA) de l'USP. Depuis son ouverture en 2003, plus de 30 projets de recherche impliquant un transfert de méthodologie vers le secteur public ont été implantés.

Le partenariat entre la Cour des Comptes de l'état du Mato Grosso et le CEM a débuté en 2007, lorsque la première a décidé de mener une recherche ne se limitant pas à vérifier la régularité de la dépense publique en termes de légalité, légitimité et économicité. Auditeur public à la Cour des Comptes, Volmar Bucco Júnior raconte que «la Cour a compris qu'il fallait aussi voir si ces dépenses avaient un impact positif sur la société». D'où l'idée d'évaluer les politiques publiques au moyen d'indicateurs de résultats et de signer un partenariat avec le CEM. Selon lui, «il s'agit d'un outil précieux. En décrivant les résultats des politiques publiques de santé et d'éducation de l'état et des communes, le contrôle externe évalue l'efficacité de la gestion des ressources publiques». Ainsi, les administrations peuvent évaluer leurs propres actions, vérifier l'évolution des résultats et leur situation comparativement à la moyenne brésilienne, et prendre des décisions. D'un autre côté, la société peut accompagner le travail des administrateurs publics et revendiquer, le cas échéant, une amélioration des services.

L'*Indice de performance en matière de santé et d'éducation* est en réalité une base géoréférencée de données avec des informations fournies par les

ILLUSTRATION GABRIEL BITAR

ministères de l'Éducation et de la Santé, ce qui permet de comparer la performance des différentes communes brésiliennes. L'évaluation se base sur 10 items pour chacun des domaines. Pour l'analyse des systèmes de santé, par exemple, sont comptabilisés : la mortalité néonatale, la couverture santé de la femme enceinte, des indicateurs sur la santé de l'enfant, les décès pour maladies infectieuses-contagieuses (comme la dengue et la tuberculose) et les nombres de prises en charge liées à la santé de la femme. Les données sont recueillies par la banque de données du Système Unique de Santé (Datasus). Quant à l'analyse du système d'éducation, elle porte entre autres sur les taux d'échec dans le primaire et le secondaire. Les informations ont été fournies par l'Institut National d'Études et de Recherches Éducatives (Inep) et par le Recensement Scolaire (systèmes d'évaluation de l'éducation de base du pays).

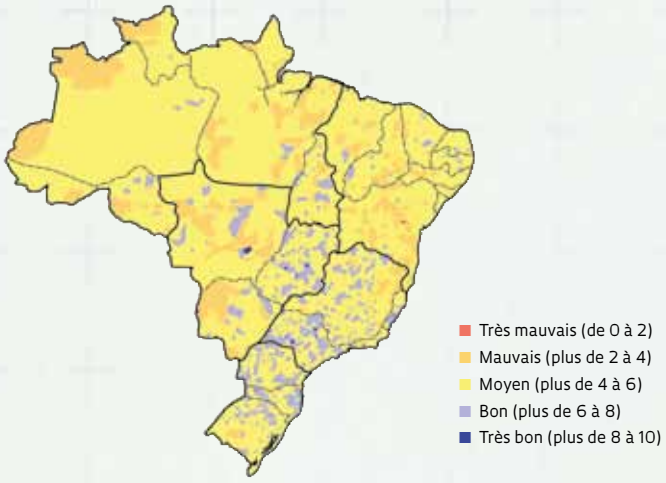
DONNÉES NATIONALES

Les cartes sur cette page et sur la page suivante permettent notamment de comparer la performance de systèmes de santé et d'éducation dans différentes communes du pays. Les taches rougeâtres signalent des situations jugées «très mauvaises». La couleur bleue foncée correspond à ce qui a été évalué comme «très bon». Ces deux couleurs et leurs différentes nuances consolident des données recueillies commune par commune sur tout le territoire national.

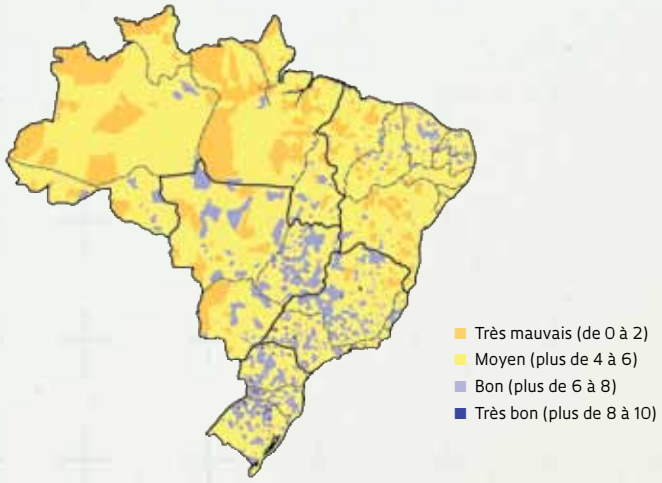
De l'avis de Marta Arretche, ce type d'étude ne peut être réalisé que parce que le pays dispose de vastes systèmes gratuits d'informations : «Pour savoir comment les autorités municipales ou étatiques dépensent, il faut monter un système fiable. Et cette information existe déjà. Seul le Japon peut être comparé au Brésil en termes de mise à disposition de l'information sur les systèmes publics». Aux États-Unis, ajoute-t-elle, il n'existe pas de systèmes d'informations nationaux sur les communes. Pour monter un système similaire, il faudrait parcourir les villes les unes après les autres en quête de l'information désirée, et ensuite la comptabiliser : «Au Brésil, nous avons le Recensement Scolaire, le système d'évaluation *Prova Brasil*, le Datasus, ainsi que les recherches d'informations municipales de l'Institut Brésilien de Géographie et Statistiques (IBGE)».

CARTE DES BESOINS

Inégalité des conditions de santé (2004-2006)



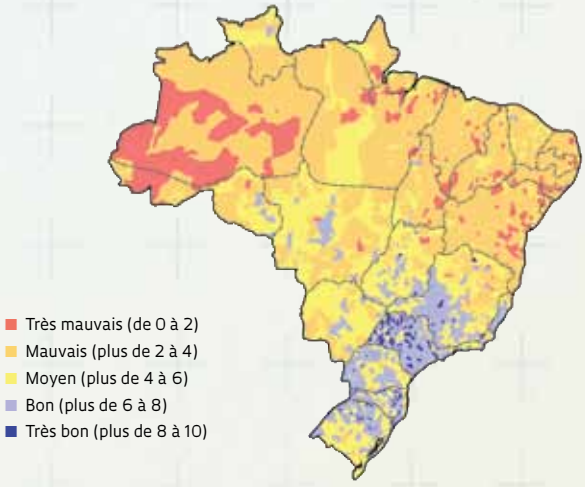
Inégalité des conditions de santé (2007-2009)



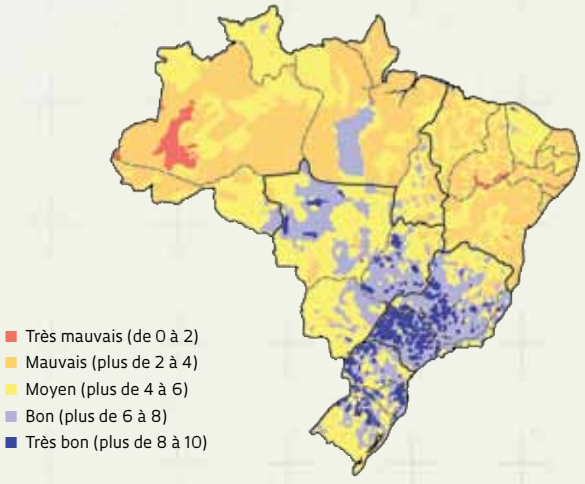
Ces informations doivent être notées pour permettre des comparaisons. Pour chaque indicateur, la commune reçoit la note de 0 ou 1 ; puis les items sont additionnés pour obtenir la note totale. Les conditions sont toujours analysées sur des périodes de trois ans (les cartes se réfèrent aux triennats de 2004 à 2006 et de 2007 à 2009). «On travaille avec une moyenne de trois ans parce que s'il se produit un événement extrême dans une ville au cours d'une année donnée, par exemple, il est possible de corriger des distorsions».

Le résultat des analyses comparatives pendant la période indique qu'en matière d'éducation il y avait une «masse» de communes dans une situation très mauvaise au début de la décennie, tandis qu'un petit nombre de villes représentait des «îles d'excellence» qui ont augmenté au cours de cette décennie. Dans le domaine de la santé, cette situation de contrastes n'existe pas. Marta Arretche précise qu'«il y a moins d'inégalité entre les communes mais pas non plus de points d'excellence, même si des améliorations significatives sont observées au fil des années».

Inégalité des conditions d'éducation (2003-2005)



Inégalité des conditions d'éducation (2007-2009)



SOURCE CENTRE D'ÉTUDES SUR LA MÉTROPOLE

INDICATEUR DE QUALITÉ DE VIE

L'auditeur public de la Cour des Comptes du Mato Grosso espère que cette méthodologie d'analyse pourra être utilisée par n'importe quel organisme public, voire même privé, du Brésil. Marta Arretche pense que l'étude peut aider à mesurer le degré de développement économique et la qualité de vie offerte à la population d'un pays de la taille du Brésil. L'Indice de Développement Humain (IDH) ne donne pas une assez bonne évaluation des systèmes décentralisés de prestation de services publics. La méthodologie du CEM, par contre, permet d'évaluer la performance des politiques sociales de santé et d'éducation dans des zones beaucoup plus vastes et plus proches de la réalité. Cela donne lieu à des politiques publiques plus précises et plus efficaces vis-à-vis de la population concernée.

En ce qui concerne l'état du Mato Grosso, il commence déjà à récolter les fruits de cette démarche. Les diagnostics consolidés par ce système ont entraîné des améliorations dans tout l'état. La directrice du CEM explique : «Comme la Cour des Comptes du Mato Grosso s'est aussi mise à utiliser cette méthodologie pour évaluer les comptes des administrateurs publics, le contrôle social s'est intensifié et l'instrument a commencé à montrer la situation de leur commune par rapport aux autres. [...] Les agents publics ont alors dû prendre des mesures pour améliorer leur taux».

Le succès de l'implantation de la méthodologie a même eu des répercussions : le CEM a été invité à développer pour le secrétariat à la sécurité publique de l'état un panneau contrôlant le nombre de meurtres, basé sur un ensemble d'indicateurs qui mesurent la performance des actions de sécurité et permettent de faire des comparaisons entre différentes régions de l'état. Le panneau fonctionne comme une sorte d'alarme à chaque fois qu'il enregistre des changements négatifs des indicateurs, éloignés de la moyenne établie.

Eduardo Marques, chercheur du CEM et professeur du Département de Science Politique de l'USP, affirme que «cette méthodologie d'informations est devenue un outil important pour évaluer et aider à la formulation de politiques publiques». Le CEM a développé plus de 30 projets de recherche destinés à servir d'auxiliaires pour la formulation et la mise en place de politiques publiques. À titre d'exemple, la *Carte de la vulnérabilité sociale*, élaborée pour la mairie de São Paulo pour détecter les situations de carence sociale via l'analyse de la distribution de la structure socioéconomique. Ou encore les *Indicateurs environnementaux et de gestion urbaine : défis pour la construction de la durabilité dans la ville de São Paulo*, qui ont permis à l'administration d'identifier le degré élevé de variété des pressions et problèmes environnementaux dans différents espaces urbains. Deux autres études sur la précarité du logement – qui ont entraîné le Plan Logement de la Ville – ont aussi été développées pour la mairie de São Paulo. Cette dernière expérience a conduit le Ministère des Villes à commander une méthodologie pour analyser des ensembles d'habitations précaires et obtenir des informations sur les besoins en logement d'un groupe sélectionné dans 560 communes.

Les partenariats avec les organismes publics se sont établis progressivement, suite aux contacts entre les administrateurs. Marques signale que «le CEM a été l'un des premiers à numériser des bases de données. [...] Nous avons commencé par la mairie de Mauá en 2003. L'information circule et les demandes apparaissent». ■

Monument aux
Découvertes
Lisbonne, Portugal

ROBERT EVERTS / GETTY IMAGES

Un immense Portugal

L'empire lusitanien a su utiliser la liberté des élites locales et la religion missionnaire pour se maintenir pendant cinq siècles

Carlos Haag

PUBLIÉ EN NOVEMBRE 2012

Comment un petit pays de moins de 90 000 kilomètres carrés a-t-il réussi à marquer sa présence sur cinq continents, dans des régions comme l'Afrique, le Japon, la Chine, l'Inde et le Brésil ? Aucun empire européen colonial moderne n'a été aussi long et aussi vaste. Le Portugal est le premier à avoir construit un empire global (même si les Portugais parlaient de royaume et non d'empire, comme les Espagnols) qui a en grande partie survécu jusqu'à la moitié des années 1970 – Macau n'étant redevenu chinois qu'en 1999. D'après Laura de Mello e Souza, historienne et professeur de l'Université de São Paulo (USP), « le succès est dû à des innovations qui échappent à tout modèle. La relation pionnière entre centre et périphérie a été marquée par la flexibilisation du pouvoir par les élites locales, sans que Lisbonne cesse pour autant d'être le pôle central de l'autorité. L'historienne coordonne le projet de recherche Dimensões do Império Português [Dimensions de l'empire portugais] débuté en 2004 avec le soutien de la FASPESP et conclu récemment.

La recherche a déjà donné lieu au lancement de livres tels que : O governo dos povos [Le gouvernement des peuples, éd. Alameda], Contextos Missionários : religião e política no Império Português [Contextes Missionnaires : religion et politique dans l'empire portugais, éd. Hucitec/FAPESP] et O império por escrito [L'empire par écrit, éd. Alameda]. L'objectif était de reprendre le concept de l'ancien système colonial et de voir s'il était encore opérationnel en face des nouveautés mises à jour par la recherche historique. L'étude a servi de base à 30 travaux universitaires, parmi lesquels des mémoires de master et des thèses de doctorat ; divisée en groupes de recherche pour mieux analyser les dimensions politiques, économiques, culturels et religieuses de l'empire portugais, elle a révélé

un tableau complexe et plein de diversités, où se « perçoit le multiple dans le un – pour reprendre Laura de Mello e Souza.

L'historienne explique que « des visions reconnues d'une administration coloniale chaotique et d'une machine bureaucratique monstrueuse, entravée et inefficace, avec un centre autoritaire et des colonies soumises, ne rendent pas compte de la capacité de maintien durable de l'immense empire. Il y a eu une utilisation intelligente du pouvoir par Lisbonne, qui a dépassé les limites de la séparation océanique entre la métropole et ses colonies .

La chronologie adoptée par le projet – entre les XVe et XIXe siècles – s'explique par le fait qu'il s'agit de la période d'expansion lusitanienne ; après 1822 la mise en relation de formations aussi indépendantes que les empires portugais et brésilien ne se justifie plus.

Le projet remet à l'ordre du jour un débat apparu à la fin des années 1970 sur l'interprétation de l'économie et la société de l'Amérique portugaise en réévaluant l'idée de « sens de la colonisation (Caio Prado) et le concept d'« ancien système colonial (Fernando Novais). Le résultat est un jeu dialectique entre les parties et le tout qui élimine l'opposition mécanique entre la métropole et la colonie, très au-delà de la relation Brésil-Portugal. Dans cette relecture, observe la chercheuse, « l'empire portugais apparaît peu homogène et avec des centres politiques relativement autonomes. Il est nécessaire de questionner l'idée d'une idéologie impériale unitaire .

HYPOTHÈSES

Pour elle, le ressentiment postcolonial des Brésiliens a pendant longtemps laissé la voie libre à des historiens étrangers pour formuler des hypothèses et remplir des lacunes évidentes dans la mesure où ils n'étaient pas gênés par le poids d'un passé qui n'était pas le leur et contre lequel ils n'avaient pas besoin de régler des comptes : « C'est au cours des dernières années que l'empire est devenu un sujet 'à la mode', réunissant un large éventail d'historiens, de nationalités et de bases théoriques différentes .

Néanmoins, beaucoup tombent encore dans les « pièges historiographiques en laissant de côté la question de l'esclavage ou en survalorisant le pouvoir de la lecture de textes officiels ; une erreur déjà signalée par Caio Prado en 1942, quand il critiqua l'« optique de la norme , qui restait très souvent « lettre morte .

Laura de Mello e Souza pense que « la flexibilité des institutions politico-administratives, capables d'établir un système complexe de relations horizontales et verticales avec le pouvoir central, intermédiaire et local, n'annule pas le besoin de comprendre le système comme un ensemble hiérarchisé de relations politiques .

Il ne s'agit pas de la vision de l'« empire contrôleur ou de l'« empire incapable de contrôler , mais d'un empire qui, conscient de l'immensité océanique qui séparait ses parties, a compris qu'il fallait maintenir des relations avec des périphéries relativement autonomes, via des liens plus ou moins flexibles. Et Lisbonne ne cessait pas pour autant d'être le cœur du pouvoir. Au lieu de se présenter comme un problème, la distance entre le roi et ses sujets réapparaît comme une « vertu de l'action de gouverner.

La chercheuse rappelle que « les colonies se sont aussi constituées, mais pas seulement, de manière mimétique, en reproduisant les valeurs socioculturelles de la péninsule ibérique. Pour

Praefecturae Paranambucae Pars Meridionalis, Georg Markgraf, 1665, 41,5 x 45 cm

Il s'agissait d'un empire très rationnel, conscient que les problèmes locaux exigeaient des solutions immédiates et produites localement

Novissima et Acuratíssima Totius Americae Descriptio, John Ogilby, 1671, 43,5 x 54 cm

cela, la création par les Portugais d'un système de communication quasi universel entre la Cour et les colonies a joué un rôle important. Ce qui pouvait apparaître comme une faiblesse institutionnelle se transforme en sa force, illustrée dans l'adaptabilité aux différentes conjonctures politiques et territoriales et, parfois, en un certain pluralisme administratif .

L'originalité des bases de l'empire portugais peut être vue au niveau de la création de nouvelles structures qui médiaient la relation entre les pouvoirs locaux des territoires d'outre-mer et les pouvoirs du centre.

Elle observe aussi que « les administrateurs portugais qui sont par exemple venus dans certaines parties qui allaient devenir le Brésil sont éloignés du stéréotype du 'petit tyran' intéressé par les butins des Brésiliens. Il y a bien sûr eu des gens sans aucun scrupule. Mais en général, on savait que l'on ne pouvait pas exagérer par rapport à la colonie. L'exploitation apparaissait très souvent sous la forme de l'intolérance, suivie de la flexibilité dans l'application des lois. [...] Dire comme Tiradentes que les Portugais venaient pour nous dépouiller et nous vider de notre sang n'explique pas grand chose et nous emprisonne dans le discours erroné de la domination. En réalité, l'administration ne peut fonctionner que parce que les élites locales y participaient .

COURONNE

Pour Laura de Mello e Souza, on ne peut comprendre les relations de cet empire sur la seule base des documents légaux : « la Couronne savait qu'elle ne pouvait pas imposer un contrôle en appliquant la loi au pied de la lettre . Jusqu'en 1822, les 'Brésiliens' se voyaient comme des Portugais, et non pas comme des dominés . Ainsi, les mouvements de révolte locale n'étaient pas toujours synonymes de « lutte pour l'indépendance , mais plutôt des réactions à des réorganisations. La définition de l'Ancien Régime par Tocqueville vaut encore : « Une règle rigide, une pratique molle .

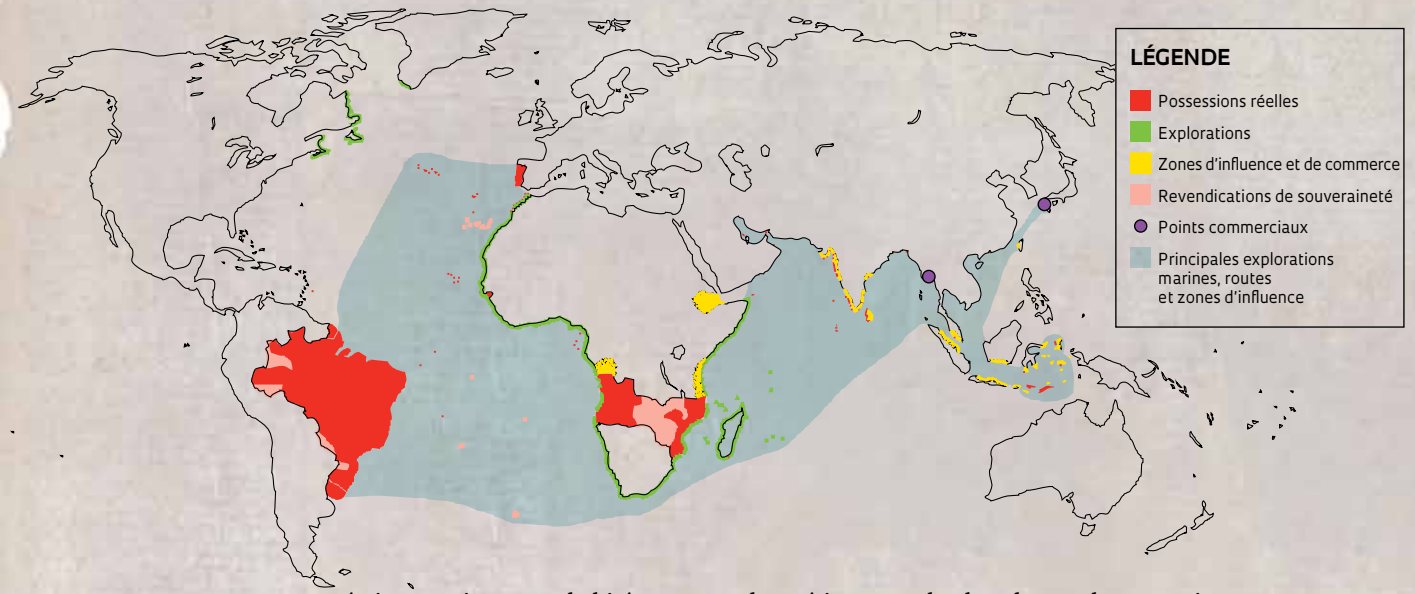
Mais on ne doit pas parler d'un « Ancien Régime tropicalisé , poursuit l'historienne. « Si la société coloniale a été vue comme étant de l'Ancien Régime au sens strict, ses particularités explosent et renversent les principes de bases car elle était organisée et fondée sur l'esclavagisme, quelque chose qui n'existait pas dans le milieu européen. [...] L'acquisition d'esclaves tachait l'image de la noblesse locale, la séparait de celle du royaume. On courait derrière les titres, honneurs et grâces, ce qui augmentait la dépendance au roi portugais ; et cette dépendance s'est aggravée au fil des ans . La spécificité de l'Amérique portugaise n'était pas l'assimilation pure et simple du monde de l'Ancien Régime, mais sa recréation perverse, alimentée par le trafic et le travail des esclaves noirs, l'introduction dans la vieille société d'un nouvel élément plus structurel qu'institutionnel : l'esclavagisme.

Une fois encore, l'issue a été la flexibilisation : attendu que « les principes de l'Ancien Régime interdisaient aux porteurs d'un 'sang infecté' d'exercer des fonctions administratives, il aurait été impossible de gouverner les régions coloniales si la plupart de l'élite locale était composée de métis : des régions comme São Paulo ou Minas Gerais, par exemple,

IMAGES DU LIVRE *O TESOURO DAS MAPAS – A CARTOGRAFIA NA FORMAÇÃO DO BRASIL*

Carte de l'empire portugais (1415-1999)

Le développement et la décadence des lusitaniens, de la gloire au processus de décolonisation



n'étaient pratiquement habitées que par des métis et des mulâtres. On donnait alors à un mulâtre le titre d'amiral, et grâce à cela il cessait d'être un mulâtre et pouvait accéder au pouvoir , explique l'historienne. Bien qu'officiellement sujette aux règles de l'ancien système colonial, la périphérie usait et abusait de la stratégie de la flexibilisation.

Pour l'historien de l'USP Jobson Arruda, également membre du projet, « le projet innove en évoquant et en expliquant davantage ces particularités de l'empire portugais. La discussion nous a conduit à remplacer le concept de système colonial par l'idée que la colonie n'était pas une simple extension de la métropole mais un territoire subordonné, qui a joué un rôle fondamental pour l'empire en fournissant une part considérable des ressources essentielles à son existence. [...] Le système impérial lusitanien était très rationnel et conscient que les problèmes locaux exigeaient des solutions immédiates et produites localement .

Ce fut l'une des raisons principales du succès des Portugais face à leurs rivaux espagnols. Autre chercheuse engagée dans le projet, Ana Paula Megiani précise que « la monarchie espagnole était constituée d'une variété de royaumes, tandis que le Portugal était un royaume unifié. De grands efforts ont été faits pour augmenter le pouvoir de l'État aux dépens de la noblesse et des communes. Ces ressources ont favorisé l'expansion maritime qui, à son tour, a rendu le royaume moins dépendant des nobles et du peuple grâce aux fonds obtenus. En échange, ces ressources ont permis à l'État de coopter la noblesse, ce qui a énormément consolidé le pouvoir du roi portugais . Historienne de l'USP, Ana Paula Megiani est l'organisatrice du livre O império por escrito (Alameda).

Et la chercheuse de poursuivre : « Avec cette centralité, la monarchie portugaise disposait d'une capacité de pouvoir sur l'empire plus grande que la monarchie espagnole, avec le pouvoir local fonctionnant comme des formes d'exercice de ce pouvoir, des expressions de centralité, et non pas de démembrement de l'empire . Malgré tout, le Portugal était victime d'une contradiction que ne connaissaient pas les Espagnols : il s'agissait d'un empire sans empereur.

Dans ce contexte, « la face religieuse de l'empire est celle qui exprime le mieux son universalité , avance Adone Agnolin. Historien de l'USP, Agnolin participe du projet à travers le groupe de recherche Religion et Évangélisation : « L'Église a offert un support adéquat pour la mise en pratique d'un groupe de dogmes et de principes, avec comme instrument opérationnel principal, pour cimenter les parties de la totalité, les missions religieuses. [...] La perspective religieuse apporte la base d'une universalitas (principe constructeur d'empires hérité des Romains), repassée, du point de vue politique, au maintien des empires mais qui, dans le fond, s'appuie sur l'idée d'un 'empire symbolique, unissant politique et religion' .

De son point de vue, l'empire portugais a renversé le processus de formation historique par le biais des missionnaires, après avoir rencontré son présupposé universel dans la dimension du religieux : « Le religieux est son instrument privilégié pour la réalisation du projet et, à partir de lui, le Portugal se présente comme un modèle impérial nouveau et inédit .

Laura de Mello e Souza affirme que cette vision est l'une des grandes nouveautés de la recherche : « Les missionnaires sont les leaders de l'homogénéisation de la foi, ils ont donné plus d'adaptabilité aux

Portugais en face des conflits religieux et culturels. La tentation de « démoniser l'Église est grande, mais elle est équivoque : « Toute l'action des agents diplomatiques, administratifs ou commerciaux était cautionnée par les missionnaires, qui conféraient une légitimité à l'ensemble d'actions tendant au bien commun, et donc au salut des hommes .

RICHESSE

À l'époque, la notion de « bien commun renfermait côte à côte la dimension coloniale et le christianisme, et ce malgré certaines tensions. Augmenter la richesse du roi, c'était augmenter la richesse du royaume et donc celle des vassaux chrétiens. L'augmentation de l'activité commerciale et de la richesse du royaume était liée et se basait sur la fonction du roi dans son expression de l'exercice de la vertu théologique de la charité et de l'exercice des vertus terriennes dans la justice distributive.

En tant qu'unité de la communauté, l'unité du royaume visait le bien commun et le salut. La finalité de l'empire ne se limite pas à la colonisation seulement vue comme un moyen, elle concerne aussi le salut qui permet de convertir les sauvages et soutient l'action missionnaire, expansionniste et universalisante de l'Église Catholique.

D'après Adone Agnolin, « cette spécificité apparaît à partir de la deuxième moitié du XVe siècle. Sur la base de l'expansion coloniale se trouve la théologie, et dans son sillage les résultats d'un nouveau commerce colonial. C'est dans cette direction que le Portugal construit bien avant les autres nations européennes la nouvelle perspective d'universalisation qui est née de l'articulation entre empire, théologie et commerce . De même que le commerce, les missions ont été une des voies privilégiées des premiers dialogues avec les cultures en contact avec le monde ibérique. L'empire des hommes était, par-dessus tout, celui de Dieu.

L'historien ajoute que « si les Européens avaient besoin de comprendre les cultures locales, il leur fallait aussi développer de nouveaux instruments cognitifs pour rendre compte des nouvelles situations de contact. C'était un processus de traduction réciproque, où le langage religieux fonctionnait comme une zone de médiation symbolique, indispensable pour l'incorporation des autochtones à la monarchie portugaise . Les missions se sont chargées des « accommodations nécessaires aux différentes réalités locales.

« Si les relations entre l'empire et la religion, entre la gestion des peuples et les missions catholiques se sont établies à partir d'intérêts commerciaux, il ne faut pas oublier de penser à la manière dont les dimensions de l'empire portugais se fondent sur l'universalisme qui renvoie à l'autonomisation moderne de droit naturel , signale Agnolin. Ainsi, derrière la tension entre l'empire

Possessions réelles

De la gloire à la décadence, chaque siècle révèle le développement impérial

et la théologie se trouve la notion d'empire dont l'objectif était d'imposer un gouvernement commun aux peuples selon les différentes modalités d'interlocution locale, comme dans les dimensions politiques et culturelles.

Un autre discernement lusitain consistait à maintenir des gouvernements spécifiques pour chaque partie de l'empire, en s'adaptant aux idiosyncrasies locales. Une région coloniale ne se gouvernait pas de la même manière qu'une autre région coloniale. Dans le cas fondamental de la religion, le christianisme a déterminé à partir de ce contexte un lien entre les « choses de la foi et la « vie politique . C'est de cette perspective qui visait l'universel que la praxis évangélisatrice a réalisé les « ajustements nécessaires par rapport à des cultures non occidentales particulières.

L'empire portugais a élaboré des projets qui recherchaient l'incorporation d'autres peuples, avec comme moteur de cette tentative le catéchisme. D'après Kenneth Maxwell, « brasilianiste de l'Université d'Harvard, « la flexibilité et l'adaptabilité, d'autonomie relative, ont été les instruments de survie de cet empire dont le centre était Lisbonne, même si elle était très souvent surchargée. Sur ce point, l'Église et les ordres religieux ont joué un rôle fondamental au niveau du maintien et de la défense du territoire lusitanien, plus que l'État portugais .

Comme la religion, la culture européanisante a aidé au maintien de l'empire. « C'était une culture qui était imprégnée de l'idéal civilisateur , indique l'historienne Leila Agranti de l'Université d'état de Campinas (Unicamp), « mais attentive aux redispositions et aux mécanismes capables de mieux étendre sa domination. D'où les nombreuses formes de circulation de l'écriture ou les supports de représentation comme la cartographie . Cette particularité a permis

L'empire lusitanien agissait avec discernement en gouvernant chaque région de façon spécifique, en flexibilisant le pouvoir conformément aux questions locales et en donnant le pouvoir en fonction des besoins

de créer à partir de la thématique la Bibliothèque Numérique de Cartographie Historique, le Laboratoire d'Études de Cartographie Historique (LECH) et le Centre de Documentation sur l'Atlantique (Cenda).

Pour Laura de Souza e Mello, cette question de l'écriture a été un autre point fort du projet. Jusque là ignorée, elle a permis de découvrir le type de communication entre les parties éloignées de l'empire, indépendamment de l'invention de la presse. Leila Agranti observe : « Ça a été un processus d'intensification et de diffusion des manières de recueillir, organiser et préserver l'information écrite, liées à la formation de la bureaucratie et de l'État moderne, ainsi qu'à la sophistication de formes de connaissance et aux nouvelles formes d'ascension sociale d'éléments en lien avec l'écriture .

« En termes de Portugal et Brésil, il est évident que sans la communication par écrit il aurait été pratiquement impossible d'administrer l'empire , indique Leila Algranti. « « En plus des imprimés, des registres manuscrits de tout type (cartes, règlements, chroniques, grammaires) ont exercé un rôle fondamental dans la transmission d'idées, de valeurs, de normes, de coutumes et de savoirs entre les métropoles et leurs colonies, mais aussi entre les différentes possessions d'outre-mer qui intégraient ces empires coloniaux .

En s'étendant, l'empire portugais a ressenti le besoin d'échanger plus rapidement des informations. Leila Algranti poursuit : « Les ordres qui étaient jusqu'alors donnés oralement ont commencé à être donnés par écrit. Les normes ne régulaient pas seulement l'administration, mais aussi d'autres sphères dans le contexte politique et juridique, impliquant des plaintes ou des dénonciations .

Sphère armillaire, 38,5 x 38,5 cm

D'après elle, comprendre la colonisation de l'Amérique c'est capter les formes de communication entre conquérants et conquis, d'intégration et de modification entre l'Ancien et le Nouveau Monde. Laura de Mello e Souza affirme que « ces nouvelles analyses nous ont permis de voir, sur la base de l'empire, une relativisation de la présence métropolitaine, le rôle important des élites coloniales et la spécificité et globalité des processus évangélisateurs. [...] Avec cela, les questions économiques et sociales de fond, c'est-à-dire le drainage de richesses et la constitution de systèmes de travail obligatoire, en particulier l'esclavagisme, sont relativisées. Les significations et contenus de l'empire lusitanien ont acquis une singularité qui nous ont obligé à repenser son essence et la manière spécifique dont il s'est inséré dans la logique capitaliste .

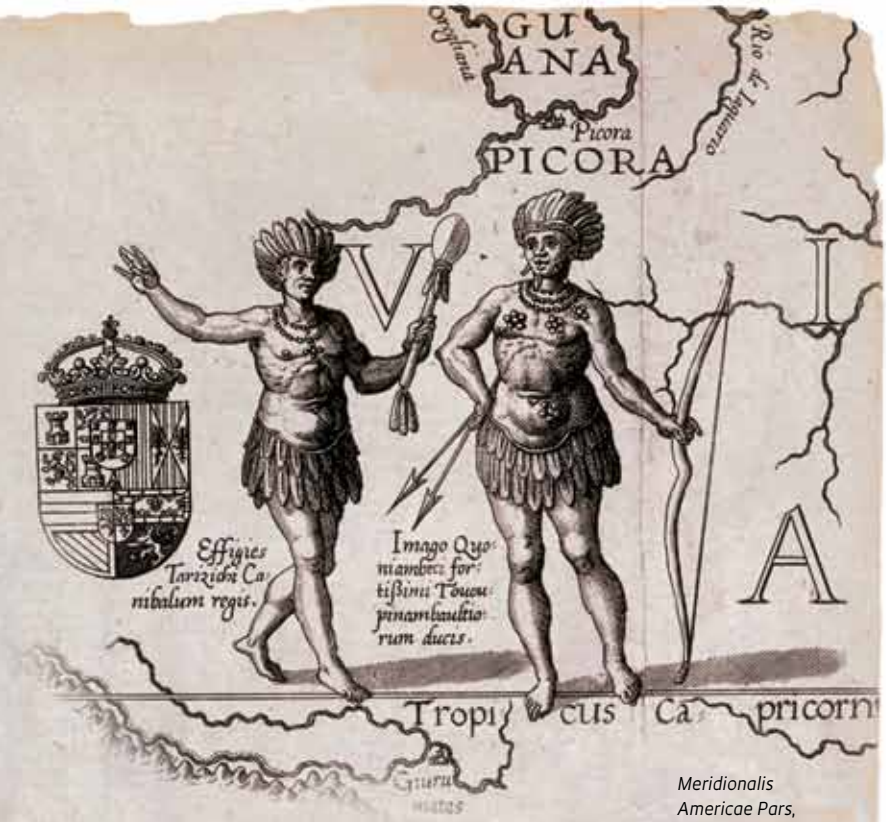
Cette dynamique coloniale a fini par donner au colonisateur résident – auparavant lié à la souveraineté métropolitaine, une plus grande force d'autonomisation. Pour Jobson Arruda, « son action rendait viable l'enracinement de capital et la conquête de routes commerciales qui le rendait indépendant de la métropole .

On ne pouvait pas exploiter la colonie sans la faire croître, sans la développer, ce qui générait des tensions avec le pouvoir central de Lisbonne à chaque fois qu'il était incapable de répondre aux nouveaux besoins locaux et bloquait la croissance.

DÉCADENCE

C'est dans l'essence même du maintien de l'empire que se trouvaient les semences de sa décadence. Ana Paula Megiani explique que le « Portugal a été un engrenage important pour la construction du capitalisme, en particulier pendant la phase commerciale. Mais en matière de capitalisme il n'est pas possible de maintenir l'hégémonie pour toujours, parce que sa logique est la dynamique de migration du centre d'accumulation . Aux XVIIIe et XIXe siècles en Europe, l'afflux de la richesse parmi les ibériens ne se voit plus. « La crise du capitalisme commercial a déterminé la crise de l'empire portugais, mais si l'on observe les dimensions culturelle, religieuse et politique, la durée est autre . Pour sa part, Maxwell rappelle que « l'impact de la colonisation lusitanienne a été beaucoup plus grand que sa structure gouvernementale

« Le point d'inflexion de l'empire s'est produit pendant la période du marquis de Pombal, entre 1750 et 1777 , signale Laura de Mello e Souza. « Le marquis de Pombal a donné beaucoup de force aux élites locales, et on s'est aperçu qu'à chaque fois que cela n'avait pas lieu il y avait des conflits . L'idée ancienne du besoin et de la possibilité d'un empire luso-brésilien égratigne de plus en plus la notion de l'ancien système colonial. « Beaucoup souhaitaient décentraliser l'empire et prendre le Brésil comme centre, ce qui va décomposer les relations entre métropole et colonie au point de ne plus pouvoir parler de centre et de périphérie .



Meridionalis Americae Pars, Petrus Plancius, env. 1592-1610, 39,5 x 55,5 cm

Les élites locales obtiennent un statut inédit. La venue de la famille royale en 1808 a accéléré le mouvement en créant la situation étrange d'une colonie qui était aussi le siège de l'empire.

Laura de Mello e Souza dit que « les craintes d'autonomisation des groupes locaux n'ont augmenté qu'avec la Révolution Française et l'avancée de Napoléon, qui a conduit une partie de l'élite portugaise à penser sérieusement à ce changement de rôles comme seul moyen pour maintenir le Brésil.

En 1822, le processus s'est consolidé. Mais, signale Maxwell, « une partie de l'ancien empire ne s'est libérée qu'après un processus douloureux de guerres civiles, comme en Afrique, où des forces étrangères sont entrées sur le terrain suite au refus du régime de Salazar de négocier .

D'après le « brasilianiste , cette intransigeance a laissé peu d'alternatives. Et dans les années 1970, l'empire en Afrique s'est éteint mais les luttes de la Guerre Froide et l'apartheid en Afrique du Sud sont restées, avec Cuba, les USA et l'ex-URSS qui étendaient leurs conflits sur les anciennes colonies portugaises.

Comme le dit le chanteur Chico Buarque dans sa bravade lusitaine de la chanson Fado Tropical, il était devenu impossible pour « cette terre de suivre son idéal/ Se transformer en un immense Portugal. ■

Projet

1. Dimensions de l'empire portugais - n° 2004/10367; **Modalité** Projet Thématique; **Coordonnatrice** Laura de Mello e Souza – USP; **Investissement** 578 580, 17 reais (FAPESP).

Les subtilités du bon voisinage latino-américain

Les archives révèlent les intérêts cachés du gouvernement américain en attirant les artistes brésiliens à New York

PUBLIÉ EN FÉVRIER 2013

En 1958, le vice-président Nixon a rendu visite à plusieurs pays d'Amérique latine, dont le Brésil. Reçu sous les huées et les protestations des étudiants en colère, il a été encerclé par la foule, reçu des pierres et presque mis à mort au Venezuela. L'administration Eisenhower a dû en conclure que l'image américaine dans la région n'était pas bonne. Jusqu'alors centré sur la lutte contre le communisme en Europe, le gouvernement américain a finalement tourné son regard vers le Sud; et cette posture s'est intensifiée après la révolution cubaine. Les mesures économiques visant à renverser cette situation sont bien connues. Par contre, les initiatives culturelles, plus subtiles, pendant la Guerre Froide sont beaucoup moins connues au Brésil. «Les arts ont fait partie de la stratégie destinée à construire une image positive que le gouvernement nord-américain a utilisé pour s'attirer les sympathies. La Biennale de São Paulo, par exemple, était un espace privilégié dans le déroulement de cette » politique de séduction« qui, entre autres choses, proposait des voyages d'études aux artistes et aux intellectuels», dit Dária Jaremtchuk, professeur d'Histoire de l'Art à l'École des Arts, des Sciences et des Lettres (EACH), de l'Université de São Paulo (USP), auteur de la recherche Transits et politique: les artistes brésiliens à New York pendant la dictature civile et militaire au Brésil.

Bien que le gouvernement américain ne se centre pas particulièrement sur les artistes mais sur les intellectuels en général, des personnalités en vue comme Amilcar de Castro (1966 et 1971), Rubens Gerchman (1967), Hélio Oiticica (1970), Antonio Henrique Amaral (1973), Anna Maria Maiolino (1971) et Antonio Dias (1972), entre autres, ont séjourné à New York dès les années 1960, subventionnés par des fondations telles que Guggenheim et Fulbright et l'Organisation des États Américains (OEA). «Ce va-et-vient d'artistes des arts visuels et une quelconque implication dans des activités politiques sont encore mal élucidés en profondeur, et considérés comme de simples éléments biographique épars d'un phénomène plus ample et lié à des facteurs historiques communs», explique la chercheuse. «Même les manifestations contre la dictature militaire ont été peu citées dans la littérature, de même que le rapprochement de ces Brésiliens et de la communauté latino-américaine déjà en place à New York», dit-elle.

Pour en savoir plus et comme point de départ, Dária s'est rendue aux États-Unis pour faire la cartographie des expériences de ces Brésiliens. Or, les découvertes faites dans les archives américaines ont élargi le spectre de sa recherche. «Il ya beaucoup de documents qui contiennent des indications claires sur les actions du gouvernement amé-

L'ENSEMBLE DES IMAGES QUI ILLUSTRENT CET ARTICLE A ÉTÉ AIMABLEMENT FOURNI PAR LE MAC-USP

Marcello Nitsche, *Alliance pour le Progrès*, 1965

ricain pour attirer les artistes et les intellectuels brésiliens. À ce niveau, cette influence ne semble être qu'une conséquence d'un moment politique répressif qui aurait conduit certains groupes à »s'exiler« à New York», dit-elle. «Mais, Washington a agi sans tenir particulièrement compte du régime militaire. Les États-Unis étaient intéressés à recevoir ces Brésiliens, sans s´intéresser particulièrement au gouvernement en place chez eux. Le plus important était de donner une bonne image d'eux en Amérique latine », dit-elle. « Bien sûr, il y a les fameux éléments » conspirateurs « impérialistes, mais dans le domaine des arts tout est plus subtil. Tout part de l'idéal des strates de la bourgeoisie américaine qui se prenaient pour des » civilisateurs » en collaborant avec le gouvernement pour le «bien» des latino-américains», déclare Dária.

Or, les institutions refusent encore de reconnaître que des bourses ont été attribuées sur des critères autres que le «mérite». «Il est surprenant qu'entre 1920 et 1950 seulement six artistes aient reçu de l'aide. Mais, ce chiffre s'élève à 20 entre 1950 et 1970. Outre cela, des documents d'archives du gouvernement américain prouvent la participation des Fondations à cette politique», dit-Dária. Contrairement à toute attente, la dictature s'est chargée de faciliter ce va-et-vient. «Tout devient plus visible avec la création de l'Institut Culturel Américano-brésilien (Baci), un organe d´échange rattaché au Ministère des Affaires Étrangères mais conçu par la diplomatie américaine qui pourrait n´être qu´une hypothèse s'il n´était pas soutenu et renforcé par la présence de membres du Congrès américain à son conseil d'administration», note la chercheuse. Créé en 1964 et fermé en 2007, il s'est vidé au milieu des années 1970, avec le changement de cap de Washington, dorénavant désireux de gagner «les cœurs et les esprits» en Asie en raison de la guerre du Vietnam.

Si Paris a joué un rôle crucial dans l'expérience de la modernité, New York aurait un rôle à tenir auprès des artistes contemporains demandeurs des bourses; et ceci malgré les convictions idéologiques et politiques plutôt anti-américaines. «Les États-Unis sont devenus une alternative prometteuse pour les artistes brésiliens qui s'exilaient volontairement ou non, dans les années 1960 et 1970, malgré les contradictions inhérentes à un tel choix», dit Dária. Or, les artistes eux-mêmes n'aimaient pas être étiquetés comme des «exilés» puisqu'ils pouvaient toujours retourner au Brésil où, d'ailleurs, ils étaient reconnus comme tel et y vivaient de leur travail; ce qui, à de rares exceptions près (et notamment pour Antonio Henrique Amaral) n'était pas le cas à New York.

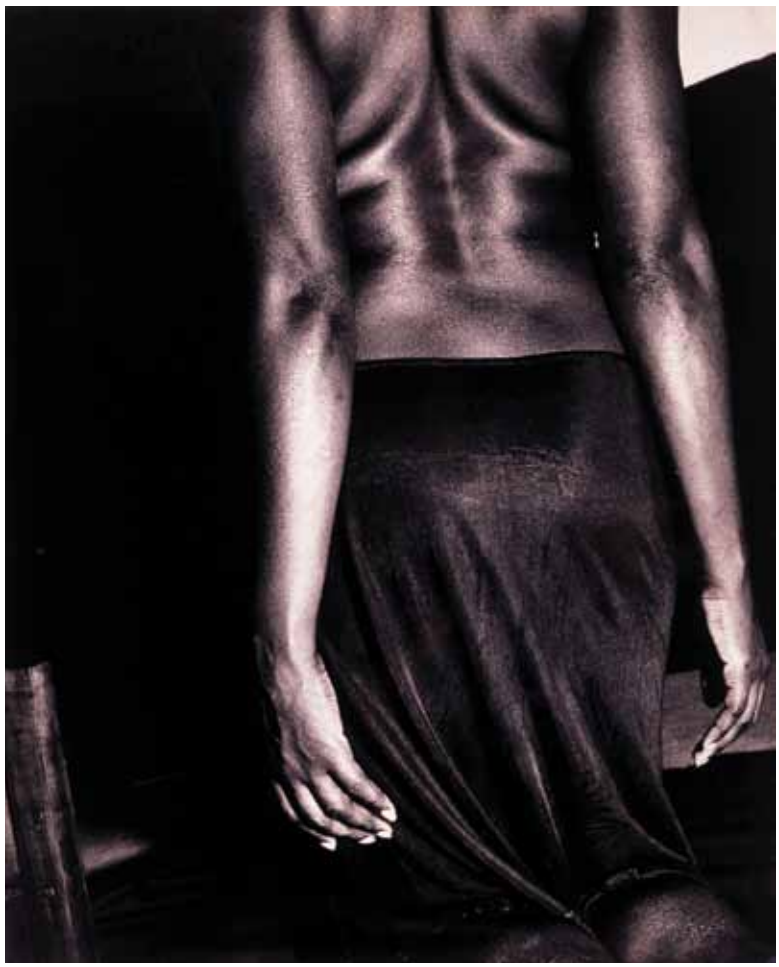
«Il était difficile à leurs collègues latino-américains de comprendre pourquoi les Brésiliens sont retournés au pays sous la dictature. En fait, ils ne se sentaient pas »cooptés« par le gouvernement américain et se situaient dans une perspective individuelle et non pas dans un collectif visé par une politique.»

Aux États-Unis, ils ont connu les difficultés d'une nouvelle ville, avec peu d'argent et sans être reconnu professionnellement par le milieu américain; ce qui a provoqué une coupure ou une interruption de leur travail. Pour le public américain, l'art latino-américain devait être figuratif, colorée et exotique. Il n'était pas intéressé par les créations conceptuelles «internationales» qui ne portaient aucune empreinte régionale, comme cela avait été le cas avec les muralistes mexicains et les peintures de Frida Kahlo. «En outre, influencé par la position du gouvernement américain, le public n'a pas vu l'art brésilien d'une manière particulière, en le plaçant dans un bloc étiqueté art latino-américain», explique la chercheuse. Ce

fut, cependant, dans cet environnement là que les Brésiliens ont fait l´expérience d´une perspective moins nationaliste en côtoyant régulièrement un groupe hétérogène et cosmopolite, où l'expérimentation et l'exploitation de moyens technologiques comme la vidéo, la photo et la photocopie, étaient à l'ordre du jour», explique l'enseignante.

«Les Brésiliens se sont joints aux latino-américains dans leur lutte contre le stéréotype massifiant de l'art exotique. Jusqu´à aujourd´hui, rares sont les artistes conceptuels du Brésil qui ont du succès aux États-Unis », note Dária. Les mots de Darcy Ribeiro se sont révélés justes: il a fallu l'exil pour que le Brésil découvre l'Amérique latine. Antonio Henrique Amaral, par exemple, a eu plus de succès que ses collègues parce que, entre autres facteurs, la banane était le thème de ses tableaux. Pour les Américains, il s´agissait d´un clin d´œil au Brésil de l'époque du «bon voisinage» de Roosevelt, de la Deuxième Guerre Mondiale et des vives critiques contre la dictature. «En transit, les Brésiliens ont réalisé qu'ils avaient des pairs et que leurs sentiments étaient aussi partagés par toute l'Amérique hispanique jusqu'alors méprisée. Ce n´est pas une identité commune qui s´est alors constituée mais juste un partage», dit la professeur.

Maureen Bisiliat, *Untitled* 1968



Le séjour américain a également soulevé de nouvelles discussions sur l'essence de l'art, sur l'utilisation de différents matériaux et de supports autres que les traditionnels. «Amilcar de Castro, par exemple, n'avait pas la matière première pour ses sculptures et s'est mis à utiliser d'autres techniques. Gerchman a également repensé son art à partir de ce qu'il a observé aux États-Unis», explique la chercheuse. Venant d'un pays où le marché de l'art était timide, avec quelques rares galeries et peu d'expositions, son passage à New York, selon les mots de l'artiste, l'a fait se sentir «comme un enfant dans un parc d´attractions». «Exposés à l'intense réalité d'un marché cosmopolite, les Brésiliens ont commencé à comprendre le fonctionnement du monde moderne de l'art et ont transmis cette expérience à la génération qui leur a succédé, en laissant leurs marques encore visibles.»

Pour des raisons économiques, les artistes vivaient dans la partie la moins «noble» de la métropole, entre Tribeca et West End, où leurs appartements furent transformés en ateliers et en point de rencontre. «Ces réunions occasionnelles ont fait naître une communauté d'artistes latino-américains et un réseau de cellules sociales sur New York; ce qui leur a permis d'aménager leur quotidien tout en préservant leurs différences vis-à-vis du monde anglo-saxon dans lequel ils vivaient. Comme beaucoup d'artistes non-hispaniques fréquentaient ces espaces, ils ont eu la possibilité de devenir plus visibles au sein des milieux plus traditionnels», explique l'historienne américaine Jacqueline Barnitz, de l'Université du Texas, auteur de l'étude Twentieth-century art of Latin America (2000). Mais, d´une manière générale, les artistes «en transit» ont choisi de construire une arène d'expositions et de galeries parallèle à ce marché officiel.

«À New York, il n'y avait qu'un espace d'exposition ouvert à l'Amérique latine qui fonctionnait comme antenne des intérêts commerciaux explicites de notre continent: c´était le Centre des Relations Interaméricaines (Ciar), dans l'élégante Park Avenue, dont le siège est parrainé par le groupe Rockefeller. Sous le régime militaire inflexible du Brésil, cet espace a été vu par nous avec de grandes réserves. Aujourd'hui, les jeunes qui y exposent n'ont aucune idée du climat qui existait dans ces lieux pendant les années 1970», explique Amaral Aracy, critique d'art et professeur retraité d'Histoire de l'Art à l'École d'Architecture et d'Urbanisme de l'USP (FAU-USP). La chercheuse, cependant, ne croit pas à une quelconque relation entre les bourses et une politique particulière émanant du gouvernement américain. «Les bourses du Guggenheim étaient très convoitées et considérées comme une confirmation par les artistes, les chercheurs et les scientifiques, car leur octroi était indépendant de critères politiques et récompensait

Antonio Henrique Amaral, *Brasiliana 9*, 1969

La Biennale de São Paulo et la Biennale de Venise, ont été considérées comme des «vitrines politiques» de la Guerre Froide

le mérite. Peu importait votre filiation politique; vous obteniez le prix si votre projet et votre bagage personnel étaient approuvés par une commission particulièrement exigeante», rappelle-t-elle.

D´après elle, même dans les années 60, Paris était toujours la destination préférée des Brésiliens où, en dépit de toutes tendances personnelles, il était possible de participer à des expositions collectives du continent latino-américain. «Ils étaient comme une grande famille, surtout à cause des dictatures qui dominaient les pays du Cône Sud. Leur intérêt envers les États-Unis a commencé en 1969 comme un nouvel engouement, lorsque Kynaston McShine, du Museum of Modern Art (MoMA) de New York, s´est rendu au Brésil et a invité Cildo Meirelles, Hélio Oiticica, Guilherme Vaz et Artur Barrio à l'exposition Information de 1970, considérée comme la première exposition collective d'art conceptuel dans un musée américain», nous confie Aracy.

La visite de McShine a eu lieu la même année que le boycott contre la X^{ème} Biennale de São Paulo, organisé par les artistes en réponse à une série de censures contre le milieu artistique brésilien. L'appel à la non-participation a eu une telle magnitude que les États-Unis n´ont pu y être présents; ce qui s'est soldé par une situation de gêne politique et diplomatique. Malgré tout, la Biennale de São Paulo, comme la Biennale de Venise, était considérée par les décideurs américains comme une «vitrine politique» de poids dans le scénario de la Guerre Froide. Jusqun 1961, les participations américaines à ces événements étaient placées sous la responsabilité du MoMA; or, dès 1962, l'Agence d'Information des États-Unis (Usia) a été chargée des expositions. De ce fait, le boycott de la Biennale a contrarié les diplomates américains. «Il nous faut donner davantage d'importance à la présence américaine à la prochaine Biennale. Notre incapacité à produire une grande exposition d'art en 1969 est un sujet de conversation récurant et souvent une source d'embarras», a écrit un fonctionnaire du Country Public Affairs Office dans une note officielle retrouvée par Dária.

Plus de 80% des artistes invités n'a pas comparu, à l´instar de Carlos Vergara, Gerchman, Burle Marx, Sergio Camargo et Oiticica. Les exposants des États-Unis, du Mexique, des Pays-Bas, de la Suède, de l'Argentine et de la France se sont ralliés à la protestation. Ciccillo Matarazzo, Président de la Biennale,

s'est rendu à Brasilia pour demander la collaboration du gouvernement militaire et éviter le fiasco de la prochaine édition, tout en demandant une rallonge budgétaire. L'effort a été bien accueilli et le régime s'est montré sensible à la «dégradation de l'image du pays» à l'étranger suite aux allégations de torture révélées par des exilés. Il était nécessaire de montrer un autre profil du Brésil au monde. Des expositions d'artistes nationaux ont été organisées dans divers pays pour montrer que la liberté d'expression existait dans les arts. À partir de 1970, le Ministère des Affaires Étrangères a commencé à organiser systématiquement des expositions, et à faire un relevé des artistes exerçant dans le pays ainsi qu'à l'étranger. «Finalement, il a été dressé une » liste noire« de qui pourrait ou ne pourrait pas recevoir l'aide du gouvernement, comme l'a dit l'ambassadeur Rubens Ricupero, responsable de la division Diffusion Culturelle du Ministère des Affaires Étrangères de 1971 à 1974», dit Dária. «Il a fini par travailler en étroite collaboration avec le Service Spécial de Relations Publiques (Aerp) parce que le gouvernement voulait réduire l'impact des récits des exilés».

La diplomatie brésilienne a ensuite été appelée à aider à ramener, dès 1971, les pays absents de la Biennale de 1969. «La présence des États-Unis était cruciale et leur absence ne pourrait en aucun cas être interprétée comme un désaveu politique; comme ce fut le cas des Pays-Bas qui se sont déclarés contre la dictature», explique la chercheuse. Grâce au Baci et au personnel du Ministère des Affaires Étrangères, la chancellerie brésilienne est devenue un agent important dans la définition des expositions qui seraient montrées à l'étranger. L'augmentation des investissements du Ministère des Affaires Étrangères dans ce secteur, immédiatement après le boycott de la Biennale, dit Dária, est symptomatique et rappellerait presque la «politique de séduction» des États-Unis. Néanmoins et malgré tout cela, les artistes américains ne sont pas venus à la XIème Biennale. Les journaux brésiliens ont mis en doute la déclaration américaine disant que cette absence était due au «maigres ressources» allouées par Washington. «Le boycott international a été ressenti plus durement que l'annulation d'une exposition. Ce fut un coup dur porté contre l'influence de la Biennale en tant que catalyseur des derniers développements dans le domaine des arts visuels de l'Amérique latine», note l'historienne Claudia Carliman, du John Jay College de New York, auteur de Brazilian art under dictatorship (Duke University Press, 2012). L'historienne rappelle que le boycott n'a pris fin qu'en 1979, lorsque le gouvernement brésilien a accordé l'amnistie aux prisonniers politiques. «Ainsi donc, les artistes visuels, qui n´avaient jamais été perçus comme une menace par le régime, ni subi aucun contrôle strict à l´instar de ceux exercés sur le théâtre, la musique et la littérature, ont contribué à dénoncer les abus de la dictature à l'étranger. Ils étaient, en outre, bien décidés à repenser le rôle du public, à questionner le marché de l'art et à défier le pouvoir et la légitimité des institutions artistiques», explique la chercheuse brésilienne.

Antonio Dias, *Prisonnier de fumée* 1964

Ce débat se pose, de façon intéressante, en tant que conséquence inattendue de la «politique de séduction» américaine. «L'intérêt croissant des soi-disant centres hégémoniques envers les arts produits dans des pays culturellement distants a finalement permis d'élargir le débat conceptuel aux »thèmes marginaux« et a suscité une relation tendue et conflictuelle par sa lecture »externe«, affirme Maria Morethy Couto, professeur d'Histoire de l'Art à l'Université Publique de Campinas (Unicamp), qui a travaillé ce sujet dans Le traumatisme de la modernité: l'art et la critique d'art en Amérique du Sud (1950-1970). Selon Dária, tout porte à renforcer l'idée d'un «transit» et non plus d'exils. «L'art brésilien de cette période passe en quelque sorte du Brésil vers les États-Unis. La Biennale du boycott fera naître la Contre-Biennale, une publication qui devient un manifeste politique animé par des groupes d'artistes latino-américains à New York, et qui sera aussi

Carlos Zilio, *Pour un jeune au brillant avenir* 1973/74 (au-dessus) Rubens

Gerchman, *Il est interdit de tourner à gauche*, 1965 (à côté)

L'intérêt américain a décliné progressivement et, avec lui, les chances d'insertion des Brésiliens aux États-Unis

une occasion pour la communauté de développer des projets conjoints», explique la chercheuse.

«Le Museo Latinoamericano sera le fruit de ce même contexte. Il est la réponse des artistes aux politiques conservatrices du Center for Inter-american Relations, dont le Conseil était constitué de personnalités telles que Dean Rusk et Lincoln Gordon, proches ou impliquées dans les coups d'état militaires de plusieurs pays du Cône Sud. L´intention était de créer un musée constitué de plusieurs ateliers. Le public recevrait un plan avec des adresses et aurait la possibilité de connaître directement la production, sans avoir à passer par le système traditionnel», explique la professeur. C'est de New York et du Museo Latinoamericano, qu'est parti le projet d'élargissement du boycott de 1969 et des accusations de torture des dictatures. Gerchman, par exemple, a soutenu le mouvement du Museo en même temps qu´il prenait ses distances vis-à-vis des dessins et des peintures retraçant les scènes urbaines et cariocas qui le rattachaient à la Figuration Libre. L'abandon des pinceaux et l'utilisation des mots au cours de cette période ne se justifient pas par l'environnement conceptuel américain, mais plutôt par les problèmes de Rio. «De fait, les propositions plastiques poétiques et visuelles seront posées de tout autre forme dans la nouvelle atmosphère new-yorkaise», dit Dária. Les pièces s'emboîtent parfaitement lorsque l'on envisage les artistes en transit.

Mais l'intérêt américain a faibli progressivement, et, avec lui, ont diminuées les chances d'insertion des Brésiliens aux États-Unis. «Les institutions possédant des œuvres de latino-américains, comme le MoMA par exemple, n'ont pas pris la peine de monter des expositions permanentes de ces pièces. Le manque de représentation des artistes latino-américains dans les musées américains n'a pas incité les galeries à les promouvoir. Le public, à son tour, n'était pas intéressé par les œuvres d'étrangers auxquelles les institutions les plus respectées n'avaient consacré aucun espace; ce qui semblait indiquer qu'elles n´étaient pas dignes d'attention», explique la chercheuse. Au Brésil, le Baci ressentait toujours plus le manque de fonds disponibles. Finalement, en 2007, il a été désactivé et Lula a déclaré que les États-Unis n´étaient plus une priorité dans sa politique étrangère.

«Aussitôt que l'Amérique latine a perdu de l´importance dans la politique du gouvernement américain - avec moins d'activités officielles dans le domaine des arts au cours des dernières décennies -, la responsabilité du rapprochement a été laissée au marché de l'art», dit Dária. La promotion est aujourd'hui à la charge des galeries et des foires; ce n'est plus que par ce biais que les musées s'intéressent un minimum à la diversité de la production des pays d'Amérique latine. ■ **Carlos Haag**

Projet

Transits et exils: les artistes brésiliens aux États-Unis pendant la dictature militaire du Brésil - No. 2011/08888-5; **Type** Bourse de recherche à l'étranger; **Coordinatrice** Dária Gorete Jaremtchuk - USP; **Investissement** 29 105 04 reais (FAPESP), 242 235,41 reais (FAPESP) et 1 376 000,00 reais (Suzano).

Niemeyer
sous la mire des universitaires

Des études analysent les œuvres du créateur de Brasilia

PUBLIÉ EN JANVIER 2013

La simplicité apparente des œuvres d'Oscar Niemeyer (1907-2012) occulte le travail ardu de l'architecte et ses nombreuses réflexions sur le savoir-faire architectonique. La compréhension de ce parcours requiert un regard expérimenté et une analyse profonde. Pour faire face à cette complexité, que le maître aimait minimiser dans ses déclarations, de nombreux chercheurs se sont penchés sur ses travaux pour essayer de comprendre comment fonctionnait l'univers très personnel de Niemeyer. Cette démarche est à l'origine d'une série d'études réalisées par des universitaires qui se sont attachés à mettre en perspective les courbes et les voûtes dans l'histoire de l'architecture, et qui ont conclu que peu de créateurs avaient autant modifié la syntaxe de la profession qu'Oscar Niemeyer. *Pesquisa FAPESP* a réuni certains des travaux les plus représentatifs du maître.

C'est une tâche que le propre architecte a délégué à ses collègues. «Quand je donne un cours, j'annonce tout de suite que je ne veux influencer personne. Je décris mes travaux, les problèmes que j'ai du affronter, ma manière d'agir en matière d'architecture et avec moi-même, et je leur laisse le reste», déclarait-il. Le message a été bien reçu par les universités. L'un des spécialistes les plus prolifiques du maître est Roberto Segre, professeur à l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ et auteur de, entre autres études, *Paradoxes esthétiques d'un Niemeyer définitif* (2008). « Cette étude réunit les principes de la logique structurelle de Le Corbusier, l'importance de la nature et du paysage, le sens de l'histoire et de la tradition, qui s'ajoutent à la rationalité indispensable pour résoudre les problèmes

BERNARDO GUTIÉRREZ / FOLHAPRESS

architecturaux. Après avoir étudié le terrain, le coût, les matériaux et la relation avec les alentours urbains ou naturels, l'idée apparaît sous la forme d'une proposition novatrice finale qui réunit l'intuition et le rationnel », écrit Roberto Segre. « Il a réinventé l'architecture moderne ».

Le Professeur Julio Katinsky, de la faculté d'Architecture et d'Urbanisme de l'Université de São Paulo (FAU-USP) et auteur de *Chemins du désir: dessins d'Oscar Niemeyer* à la *FAU-USP* (2007), est d'accord pour dire que la trajectoire de l'architecte brésilien transcende les limitations internes et externes du savoir-faire architectonique. « Les observations sur sa conception de la beauté et les tâches qui s'imposent aux architectes contemporains, ne manquent pas dans les essais de Niemeyer. Mais, comme nous l'avons déjà souligné, nous ne trouveront jamais une définition valable et définitive dans son concept de beauté », observe-t-il dans son étude *Technique et art dans l'œuvre de Niemeyer* (2007). « D'un autre côté, son œuvre d'une cohérence remarquable, depuis les œuvres précédant la Pampulha où l'on pouvait déjà voir poindre le futur architecte, nous montre également un architecte qui, durant toute sa vie, a toujours su incorporer de manière créative les innovations de son temps dans un processus d'autocréation et de renouvellement permanent depuis ses premières œuvres publiées jusqu'à celles qui sortent aujourd'hui de son bureau ».

1

1 Colonnes du Palais du Planalto à Brasilia

2 Centre Culturel Oscar Niemeyer, dans les Asturies, en Espagne

3 Bâtiment Copan, centre de São Paulo

2

Le thème de la récurrence a également éveillé l'attention d'Edson Mahfuz, professeur à l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul (UFRGS), auteur de l'ouvrage *Le classique, le poétique et l'érotique: méthode, contexte et projet dans l'œuvre d'Oscar Niemeyer* (2011). Dans l'article « Cinq raisons pour regarder avec attention les œuvres d'Oscar Niemeyer », le chercheur analyse les principaux traits architecturaux du créateur de Brasilia. « L'une des principales caractéristiques de l'œuvre de Niemeyer et qui le distingue de 99 % des architectes, est de posséder une forte identité formelle. Cette qualité est due à la présence de structures formelles claires qui servent de base à l'organisation de ses projets, à l'utilisation de formes élémentaires dans la configuration de ses éléments constitutifs et au fait que le nombre d'éléments dans ses projets est toujours limité», écrit Edson Mahfuz. « Ces caractéristiques définissent une œuvre hautement synthétique, facile à comprendre et à mémoriser, donc d'une grande valeur symbolique et qui n'a jamais cédé à la tentation de faire des projets démesurés dans une époque classée par certains comme étant néobaroque », estime-t-il.

Selon le professeur, l'une des vertus de Niemeyer est de revisiter ses œuvres. « Bien que l'on parle beaucoup de l'originalité des créations d'Oscar Niemeyer, un examen détaillé de son œuvre est suffisant pour démontrer que son trait caractéristique est la récurrence, la réutilisation de solutions personnelles ou émanant d'autres architectes, comme ce fut le cas avec l'œuvre de Le Corbusier au début de sa carrière. Comme tout artiste qui se respecte, Niemeyer a lentement dé-

PHOTOGRAPHIES 1 ALAN MARQUES / FOLHAPRESS 2 BERNADOS/ WESTEND61 / GLOW IMAGES 3 MARCOS ANDRÉ / OPÇÃO BRASIL IMAGENS

veloppé une manière personnelle d'exécuter des projets architecturaux, élargissant son répertoire, adaptant et recyclant des solutions déjà utilisées », dit-il. « Cette obsession pour l'originalité fait que l'on s'attend à une innovation constante à tous les niveaux de l'architecture de Niemeyer. Mais compte tenu du caractère évolutif, son œuvre est prévisible et facilement reconnaissable. Cela me semble être plutôt une vertu qu'un défaut. Bien qu'il ait déclaré que son objectif était de provoquer l'étonnement, la rencontre avec la plupart de ses œuvres nous passe la sensation réconfortante de retrouver quelque chose de familier », observe Edson Mahfuz.

Ce sentiment engendré par des formes architecturales a été examiné, dans un autre registre, par l'anthropologue Lauro Cavalcanti, de l'Université Publique de Rio de Janeiro (Uerj), qui a innové en analysant les projets de Niemeyer sous un angle réunissant l'architecture, l'esthétique et la société, comme dans *La douce révolution d'Oscar Niemeyer* (2007). « Tout architecte dans une phase plus mature revisite certains de ses principaux thèmes. Niemeyer le fait avec les voûtes, les promenades architectoniques et la légèreté structurelle. Cependant, il surprend toujours avec de nouvelles solutions capables de recréer des langages, dans ce qui est unique et rare. Il y a en lui une cohérence dans la diversité des différentes phases, alliant structure et architecture au profit de la forme », observe-t-il.

Cette cohérence qui a amené Carlos Dias Comas, professeur de l'UFRGS, à analyser dans *Le droit à la différence* (2007) comment des bases, des couvertures, des courbes, des clairières, ont été utilisés par l'architecte, et qui sont des exemples montrant que Niemeyer a élargi le vocabulaire et la syntaxe de l'architecture moderne. « La courbe pour Niemeyer n'est pas épisodique ou sporadique, elle ne s'unit pas à la fugacité ou à l'éventualité du compartimentage en débat avec le maintien de la structure orthogonale. La courbe peut dispenser la ligne droite, la surmonter, l'équilibrer, mais à peine apparaître. L'ambivalence, qui donne une même importance à deux extrêmes qui s'opposent, est également ambiguë. Les interstices entre le projet totalement courbe et le totalement droit attirent l'attention », déclare-t-il. Cependant, la génialité des appropriations et des solutions ne l'exonère pas toujours de critiques. « Dans les années 70, Brasilia deviendra le symbole de tout ce qui semblait être erroné en matière d'architecture moderne, condamnée pour son élitisme, sa frivolité, sa superficialité, son formaliste et son inhumanité, comme l'auteur de ses palais », dit-il. «Il commencera à

3

L'une des principales caractéristiques de l'œuvre de Niemeyer qui le distingue de 99% des architectes, est de posséder une forte identité formelle

récupérer son prestige en 1990, simultanément, dans une certaine mesure, à la récupération de la propre architecture moderne et de sa compréhension en tant que polyphonie où il y a autant de place pour l'ascétisme que pour la diversification », déclare Carlos Dias Comas.

Pour Cêça Guimaraens, professeur à la Faculté d'Architecture et d'Urbanisme de l'UFRJ, la polyphonie est une chose remarquable, mais elle a commencé à se répéter dans les gestes architecturaux de Niemeyer au cours des 10 dernières années de sa vie, et plus que cela n'était souhaitable. « Il faut reconnaître que depuis les volumes déconcertants que sont les Centres Intégrés d'Éducation Populaire (Cieps), l'architecte continue à redessiner ses formes personnelles et insolites », déclarait-elle dans *Du nouveau chez Niemeyer* (2007).

Auteur du *Guide des œuvres d'Oscar Niemeyer: Brasilia 50 ans* (2010), Sylvia Ficher, professeur à l'Université de Brasília (UnB), remet également en question ses derniers projets qui, pour la plupart, sont pour elle des «projets inutiles ou surdimensionnés». Elle accepte encore moins la liberté donnée à Niemeyer de pouvoir intervenir dans la zone de Brasilia qui est inscrite au patrimoine de l'humanité, « avec des résultats questionnables». « En général, un architecte intervient sur l'œuvre d'un autre. Niemeyer est intervenu négativement sur son œuvre. Mais comment affirmer que dans l'avenir Brasilia regrettera d'avoir autant d'œuvres de Niemeyer ? », se demande-t-il, en répondant déjà d'une certaine manière à la question. ■

Carlos Haag

Interventions on the street

PUBLISHED IN DECEMBER 2012

In 2011, São Paulo artist Eduardo Srur, 39, released 360 floats bearing the slogan "Art saves" onto the reflecting pools at Brazil's National Congress in Brasília. Srur was attempting to put into practice the idea that artistic initiatives can communicate messages about social issues. Srur is part of a long and fruitful line of avant-garde artists who have sought to use the tools of artistic creation in a manner that connects art with the everyday lives of individuals, transforming public spaces into a platform for experimentation.

Photo Fabio Rodrigues Pozzebom/ABR