

Pesquisa

FAPESP ▲

2018_ÉDITION 1 WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR/FR

PIPE 20 ANS

*Un programme de la FAPESP
a favorisé l'essor de plus de 1 100
petites et moyennes entreprises*

Il y a 100 ans,
la Commission
Rondon tournait
le premier
documentaire
ethnographique

Des analyses
en temps réel
révèlent
la trajectoire
du zika dans
les Amériques

Articles
« endormis » :
le phénomène de
la reconnaissance
tardive d'articles
novateurs

Le Brésil
développe une
canne à sucre
transgénique
qui combat les
ravageurs

Une
technologie
informatique
renouvelle
les humanités
numériques



4 Couverture

En 20 ans, le programme Pipe de la Fapesp a favorisé l'essor de plus de 1 100 petites et moyennes entreprises

ENTRETIEN

10 Maria Ligia Prado

L'historienne parle d'identités et d'interprétations autour du développement de l'Amérique latine

POLITIQUES S&T

16 Indicateurs

Un rapport montre que la FAPESP a réussi à maintenir le rythme de ses investissements en 2016

20 Innovation

Le FMI et l'OCDE recommandent l'attribution d'avantages fiscaux pour stimuler la recherche dans les entreprises

24 Scientométrie

Des chercheurs étudient des articles qui ont une reconnaissance tardive

28 Genre

Le Brésil se distingue dans une étude internationale menée sur la production scientifique féminine

32 Financement

En temps de crise, la société prône un retour au financement public de la recherche

SCIENCE

40 Médecine

Des activités physiques peuvent stopper la cachexie, une inflammation qui entraîne la perte de poids et aggrave le cancer et d'autres maladies

46 Épidémiologie

Un séquençage génétique reproduit la trajectoire du virus Zika dans les Amériques

50 Neurosciences

Une région de l'amygdale contrôle le comportement agressif du prédateur

52 Chimie

Des champignons bioluminescents recyclent une molécule qui permet l'émission de lumière

54 Écologie

Des poissons nettoyeurs de l'atoll des Rocas s'alimentent des parasites de gros poissons

57 Géophysique

Les profondeurs de la planète abriteraient des blocs rocheux de la taille de continents

60 Physique

Des Brésiliens réalisent une expérience pour démontrer que l'espace vide peut échauffer un objet en mouvement accéléré

62 Un groupe de Brésiliens contrôle la chaleur émise par des noyaux atomiques

TECHNOLOGIE

64 Ingénierie aéronautique

L'Inpe et l'Aéronautique développent un moteur et un carburant durable pour fusées et satellites

69 Biotechnologie

La culture d'une variété de canne à sucre transgénique a été approuvée au Brésil

72 Ingénierie forestière

Des systèmes de vision informatique indiquent la qualité des planches et leur origine

76 Agriculture

Des entreprises misent sur de petites guêpes pour combattre la maladie des orangeraies



HUMANITÉS

80 Sciences de l'information

L'analyse de grands volumes de données augmente le champ d'action des humanités numériques

88 Anthropologie

Le film sur les indiens Bororo serait le premier documentaire ethnographique

94 Justice

La majorité des délibérations du STF sont des réponses à des recours internes au tribunal

98 Société

Des chercheuses retracent l'histoire de la lutte des mouvements féministes brésiliens

102 Histoire

Des femmes esclaves recouraient à des stratégies pour acheter leur liberté et travailler comme des affranchies

SECTIONS

3 Lettre de l'éditrice

106 Art

JOSÉ GOLDEMBERG
PRÉSIDENTEDUARDO MOACYR KRIEGER
VICE-PRÉSIDENT**CONSEIL SUPÉRIEUR**CARMINO ANTONIO DE SOUZA, EDUARDO MOACYR
KRIEGER, IGNACIO MARIA POVEDA VELASCO,
FERNANDO FERREIRA COSTA, JOÃO FERNANDO
GOMES DE OLIVEIRA, JOSÉ GOLDEMBERG,
MARCO ANTONIO ZAGÓ, MARILZA VIEIRA CUNHA
RUDGE, JOSÉ DE SOUZA MARTINS, PEDRO LUIZ
BARREIROS PASSOS, PEDRO WONGTSCHOWSKI ET
VANDERLAN DA SILVA BOLZANI**CONSEIL TECHNIQUE & ADMINISTRATIF**CARLOS AMÉRICO PACHECO
PRÉSIDENT-DIRECTEURCARLOS HENRIQUE DE BRITO CRUZ
DIRECTEUR SCIENTIFIQUEFERNANDO MENEZES DE ALMEIDA
DIRECTEUR ADMINISTRATIF**Pesquisa**ISSN 1519-8774 **FAPESP****CONSEIL ÉDITORIAL**Carlos Henrique de Brito Cruz (*Président*), Caio Túlio
Costa, Eugênio Bucci, Fernando Reinach, José Eduardo
Krieger, Luiz Davidovich, Marcelo Knobel,
Maria Hermínia Tavares de Almeida, Marisa Lajolo,
Maurício Tuffani, Mônica Teixeira**COMITÉ SCIENTIFIQUE**Luiz Henrique Lopes dos Santos (*Président*),
Anamaria Aranha Camargo, Ana Maria Fonseca Almeida,
Carlos Américo Pacheco, Carlos Eduardo Negrão, Fabio
Kon, Francisco Antônio Bezerra Coutinho, Francisco
Rafael Martins Laurindo, José Goldeberg, José Roberto
de Franca Arruda, José Roberto Postali Parra, Lucio
Angnes, Luiz Nunes de Oliveira, Marie-Anne Van Sluys,
Maria Julia Manso Alves, Paula Montero, Roberto
Marcondes Cesar Júnior, Sérgio Robles Reis Queiroz,
Wagner Caradori do Amaral, Walter Coll**COORDINATEUR SCIENTIFIQUE**

Luiz Henrique Lopes dos Santos

DIRECTRICE DE LA RÉDACTION

Alexandra Ozorio de Almeida

RÉDACTEUR EN CHEF

Nelson Marcolin

ÉDITEURS Fabrício Marques (*Politiques S&T*),
Clenda Mezarobba (*Humanités*), Marcos Pivetta
(*Science*), Carlos Fioravanti et Ricardo Zorzetto (*Éditeurs
spéciaux*), Maria Guimarães (*Site*), Bruno de Piero
(*Assistant d'édition*)**Reporteurs** Christina Queiroz, Rodrigo de Oliveira
Andrade et Yuri Vasconcelos**Rédacteurs** Jayne Oliveira (*Site*) et Renata Oliveira
do Prado (*Médias sociaux*)**TRADUCTION VERS LE FRANÇAIS**

Jorge Thierry Calasans et Eric René Lalagüe

Art Mayumi Okuyama (*Éditrice*), Ana Paula
Campos (*Infographiste*), Júlia Cherem Rodrigues et
Maria Cecilia Felli (*Assistants*)**Photographes** Eduardo Cesar et Léo Ramos Chaves**Banque d'images** Valter Rodrigues**COLLABORATEURS** André Luis Debiasso Rossi,
Danilo Albergaria, Domingos Zapparoli, Evanielo da
Silveira, Fabio Otubo, Felipe Braz, Igor Zolnerkevich,
Karina Toledo, Márcio Ferrari, Pedro Hamdan,
Negreiros, Zansky et Zé Vicente**IMPRESSION** RR Donnelley Editora e Gráfica Ltda.**LA REPRODUCTION TOTALE OU PARTIELLE DES
TEXTES, DES PHOTOGRAPHIES, DES ILLUSTRATIONS
ET DES INFOGRAPHIQUES EST INTERDITE, SAUF
AUTORISATION PRÉALABLE****GESTION ADMINISTRATIVE** FUSP – FUNDAÇÃO DE
APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**PESQUISA FAPESP** Rue Joaquim Antunes, nº 727,
10^e étage, CEP 05415-012, Pinheiros, São Paulo-SP, Brésil**FAPESP** Rue Pio XI, no 1.500, CEP 05468-901,
Alto da Lapa, São Paulo-SP, BrésilSECRÉTARIAT POUR LE DÉVELOPPEMENT
ÉCONOMIQUE, POUR LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE
GOUVERNEMENT DE L'ÉTAT DE SÃO PAULO**LETTRE DE L'ÉDITRICE****Identité et Zika en Amérique latine****Alexandra Ozorio de Almeida** | DIRECTRICE DE LA RÉDACTION

Un programme pionnier, de soutien aux entreprises de base technologique au Brésil, a fêté ses 20 ans en 2017. Le programme Recherche Innovante en Petites Entreprises (Pipe), de la Fondation d'Appui à la Recherche de l'État de São Paulo (FAPESP), a financé plus de 1 700 projets et a investi plus de 360 millions de réais dans 1 100 petites et moyennes entreprises qui veulent transformer les connaissances en de nouveaux produits ou services. Le reportage à la une en page couverture de cette édition internationale (*page 4*), qui rassemble des reportages publiés entre mai et août 2017, raconte l'histoire du Pipe, qui s'est inspiré du programme nord-américain SBIR (Small Business Innovation Research).

Leader mondial de la culture de la canne à sucre, il est naturel que le Brésil consacre une attention particulière à la recherche scientifique et technologique sur cette plante. En 2017, la société CTC (*Centro de Tecnologia Canavieira*, en français : Centre de Technologie de la Culture de Canne à Sucre), située à l'intérieur de l'état de São Paulo, a mis au point une canne transgénique résistante à la mineuse de la canne à sucre, principal fléau des plantations de canne à sucre (*page 69*). La culture de la variété a été approuvée par le CTNBio, organisme national chargé de l'évaluation de la biosécurité des organismes génétiquement modifiés au Brésil.

Le rapprochement de chercheurs en sciences humaines et sociales avec des informaticiens a donné lieu à un nouveau domaine interdisciplinaire appelé « les humanités numériques ». Il s'agit là d'une voie à double sens car l'existence de grandes bases de données économiques et sociales et la numérisation de collections artistiques et historiques, a permis d'élargir les fronts de recherche des chercheurs en sciences sociales, tout en confrontant les informaticiens au défi de créer des outils pour ré-

pondre aux demandes de l'humanité. Un autre aspect de ce nouveau domaine est l'étude du rôle de la technologie numérique dans la société. Une de ses caractéristiques les plus intéressantes, dépeintes dans un reportage sur le sujet à la page 80, est l'adoption par les chercheurs d'outils et de concepts empruntés à d'autres domaines.

Deux articles publiés dans la revue *Nature* présentent les résultats de deux groupes de recherche distincts, travaillant avec différents moyens, qui se sont dédiés en parallèle à la surveillance de l'évolution du génome du virus Zika (*page 46*). Avec l'objectif commun de comprendre ce qui s'est passé et de prédire les nouvelles épidémies ainsi que d'actualiser constamment les méthodes de diagnostic, les recherches ont démontré, grâce à une combinaison de données épidémiologiques et génétiques, que le virus du Zika a circulé silencieusement à travers les Amériques pendant au moins un an avant qu'il ne soit considéré comme un danger pour la santé publique. Un des projets a bénéficié d'un laboratoire mobile et d'une technologie portative de séquençage génétique qui leur ont permis de chercher des indices expliquant la trajectoire du virus depuis son entrée au Brésil, probablement en février 2014.

L'Amérique latine est le sujet de l'entretien avec l'historienne Maria Ligia Prado qui, il y a environ cinq décennies, étudie l'histoire de la région et les interprétations de son développement (*page 10*). Pour la chercheuse, l'identité de l'Amérique latine, une question toujours fortement présente dans la région depuis son indépendance, est un sujet délicat. La construction d'une identité, quelle qu'elle soit, laisse facilement de côté les différences et les conflits et l'autre n'est alors perçu que comme un ennemi. L'antidote, selon Maria Ligia, est l'esprit critique.

PIPE 20 ans

Un programme de la Fapesp favorise l'essor de plus de 1 100 petites et moyennes entreprises de base technologique en finançant quotidiennement un projet innovateur

Fabricao Marques

PUBLIÉ EN JUILLET 2017

Une nouvelle étape dans le soutien aux entreprises de base technologique a été franchie à São Paulo fin juillet. Le programme Recherche Innovante en Petites Entreprises (Pipe), de la FAPESP, a commémoré ses 20 ans d'existence avec le financement de 1 788 projets pour un investissement total de plus de 360 millions de réais. Le programme Pipe apporte son soutien aux entrepreneurs qui souhaitent innover dans de nouveaux produits ou services et soutient fréquemment l'innovation dès le début, étape cruciale et souvent à haut risque. La FAPESP lance un nouvel appel à projets tous les trois mois à la recherche de nouveaux projets en matière de développement technologique.

Les projets de recherche sont examinés dans une première phase sous l'angle de la faisabilité technique et commerciale pour des innovations visant à résoudre un problème posé par la recherche. La limite de financement s'élève à 200 mille réais sur 9 mois. La deuxième phase dure deux ans et concerne le propre développement du projet qui peut aller jusqu'à la fabrication d'un prototype et un financement d'un million de réais par projet. La troisième phase, financée par la FAPESP et l'Agent Financier d'Études et de Projet (Finep) a pour objectif le développement final de l'innovation et sa première commercialisation. « Le programme Pipe est le principal programme de soutien aux startups brésiliennes. Il combine l'innovation et la méritocratie et a créé un grand vivier dans lequel viennent pêcher les investisseurs, selon les propres termes des techniciens de la Banque Nationale de Développement Économique et Social [BNDES] qui nous ont récemment rendu visite », a déclaré José Goldemberg, président de la FAPESP, lors

de la cérémonie commémorative de l'anniversaire du programme, le 30 juin.

Le programme a investi 56 millions de réais en 2016 dans le financement de 228 projets ce qui représente le plus grand investissement de son histoire. « Nous avons pratiquement financé un projet par jour », observe Carlos Henrique de Brito Cruz, directeur scientifique de la FAPESP, qui souligne l'engagement constant de la Fondation pour élargir son programme malgré la crise financière qui a touché le pays et ses répercussions sur le budget de la FAPESP. Le programme Pipe a déjà financé les entreprises de 125 communes paulistes, la plupart d'entre elles situées à São Paulo, Campinas, São Carlos, São José dos Campos ou Ribeirão Preto, où se trouvent les grandes universités et les instituts de recherche. « L'innovation technologique surgit naturellement à proximité des bonnes institutions de recherche », affirme Brito Cruz.

Parmi les 1 100 projets approuvés, l'un des plus grands succès a été obtenu par l'entreprise Griaule. Née en 2002 dans l'incubateur de l'Université Publique de Campinas (Unicamp), elle a développé des algorithmes et des logiciels de reconnaissance d'empreintes digitales à l'instar de ceux utilisés dans les urnes électroniques au Brésil, outre des systèmes de reconnaissance vocale et du visage humain. L'entreprise Griaule a été sélectionnée dans 3 projets du programme Pipe. « Ils nous ont permis d'accélérer notre développement. Les bourses de recherches rattachées aux projets nous ont permis de réunir une masse critique afin de perfectionner les algorithmes qui sont notre point fort », déclare Alexandre Creto, directeur des produits chez Griaule. Deux chercheurs boursiers du dernier programme Pipe qui s'est achevé en 2011, ont été recrutés par l'entreprise et y travaillent toujours. L'entreprise qui a commencé avec cinq personnes en 2003 avec un chiffre d'affaires de 100 mille réais possède aujourd'hui 40 employés dont la moitié en Recherche et Développement et a enregistré un chiffre d'affaires de 40 millions de réais en 2016.

Un autre exemple de réussite est celui de l'entreprise Promip Gestion Intégrée des Ravageurs dont le siège se trouve à Limeira, avec un projet approuvé dans le cadre du programme Pipe en 2006, quand elle faisait partie de l'incubateur de l'École Supérieure d'Agriculture Luiz de Queiroz à l'Université de São Paulo (Esalq-USP). La recherche a débouché sur deux produits biologiques contenant des acariens prédateurs et destinés au contrôle de l'acarien tétranyque qui est un fléau des potagers. « Le défi n'a pas été simple



L'entreprise Apis Flora, à Ribeirão Preto, a mis au point un extrait sec de propolis utilisé dans la composition de médicaments

à relever. Le produit biologique n'existait pas et les producteurs ne percevaient pas son importance en matière de réduction des pesticides », se rappelle Marcelo Poletti, qui a fondé l'entreprise avec deux associés après avoir conclu son doctorat en entomologie à l'Esalq. D'autres projets du programme Pipe ont permis de créer des produits portant sur différents types d'acariens et d'insectes prédateurs et de développer des kits pour évaluer la résistance du moustique *Aedes aegypti* aux insecticides chimiques. L'entreprise Promip investit aujourd'hui 8 % de ses bénéfices en R&D. Elle possède 100 employés et a enregistré un chiffre d'affaires de 10 millions de réais l'année dernière.

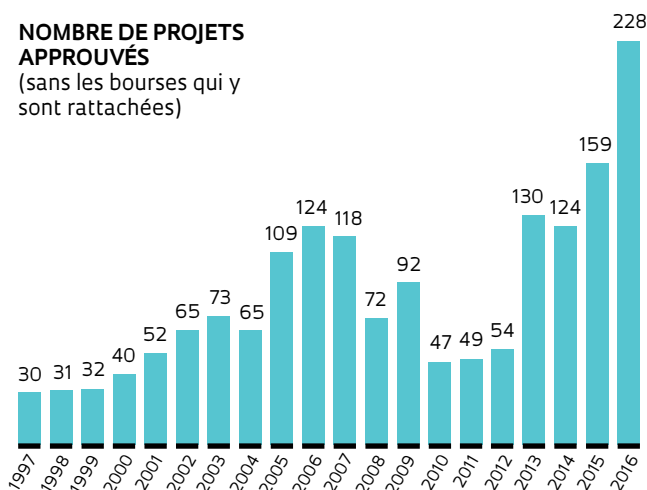
L'entreprise Promip commercialise cinq produits et cinq autres sont en cours de développement. Son profil innovateur lui a permis en 2014 de bénéficier d'un apport de 4 millions de réais financé par le Fonds d'Innovation Pauliste, créé par l'agence Développez São Paulo, en partenariat avec la FAPESP, la Finep, par la Banque de Développement d'Amérique Latine (CAF), le Service Brésilien d'Appui aux Micros et Petites Entreprises (Sebrae), outre d'autres investisseurs privés. « La FAPESP a investi 10 millions de réais dans un fonds destiné aux entreprises du programme Pipe », explique Francisco Jardim, gestionnaire du Fonds d'Innovation Pauliste. « Nous l'avons fait avec beaucoup d'enthousiasme car certaines affaires sont fortement porteuses pour promouvoir l'innovation de manière systématique. Nous sommes prêts à doubler la mise sur certaines d'entre elles ». D'autres participants au programme Pipe, comme les entreprises Nexsto et Inpreinha Biotechnologia ont également bénéficié de ce fonds « Le programme Pipe comble une lacune importante grâce à une évaluation rigoureuse des différents projets et dans sa manière d'orienter les chefs d'entreprise. Les fonds aident les startups à se positionner sur le marché et dans la résolution

Un bond en avant dans le soutien à l'innovation

Évolution annuelle du nombre de projets Pipe approuvés et financement de la FAPESP avec le programme pour la période 1997 à 2016

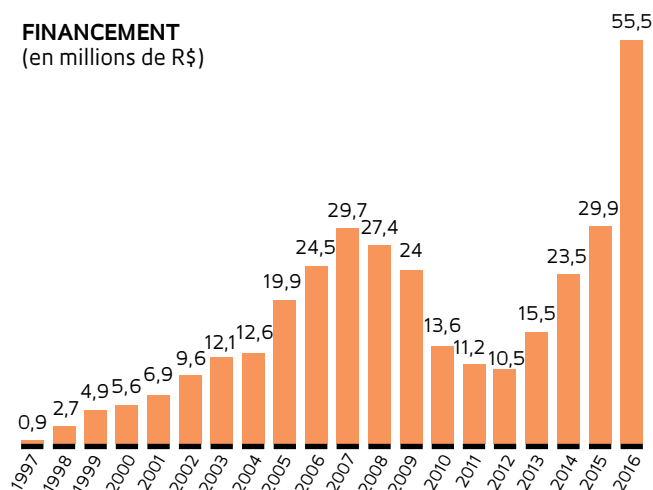
NOMBRE DE PROJETS APPROUVÉS

(sans les bourses qui y sont rattachées)



FINANCEMENT

(en millions de R\$)



SOURCE FAPESP

de problèmes de gestion, mais ils n'arrivent pas encore à bien évaluer le potentiel de recherches qui pourraient déboucher sur des innovations », affirme-t-il. Selon Francisco Jardim, le fonds a encouragé d'autres entreprises comme InCeres, dans le domaine de l'agriculture de précision et Ventrix, dans le domaine de la santé, à présenter des projets dans le cadre du programme Pipe. « La possibilité de faire de la R&D en interne multiplie les chances de survie d'une startup ».

Le Fonds Pitanga créé en 2011 s'élève à 100 millions de réais et est financé par des chefs d'entreprises brésiliens de groupes comme Natura et Itaú qui, durant deux ans, ont analysé 700 candidats à un financement. La première startup choisie dans son portefeuille d'investissement en 2013 a été l'entreprise I.Systems, fondée à Campinas il y a 10 ans par quatre ingénieurs informatique formés à l'Unicamp. Cette entreprise fournit des logiciels qui utilisent l'intelligence artificielle dans le contrôle des processus industriels pour des clients importants comme Coca-Cola, Braskem, Ambev, Suzano et Raízen. Leurs programmes peuvent gérer un vaste ensemble d'informations et prendre des décisions permettant de réduire de 2 % à 10 % les coûts de production. Selon Igor Santiago, président de l'entreprise, deux projets du programme Pipe, approuvés en 2009 et 2012, ont été cruciaux pour développer le prototype du premier produit, le programme Horus, et introduire cette technologie sur le marché. « Nous aurions mis beaucoup plus de temps si nous n'avions dépendu que de nos propres moyens », affirme-t-il. L'entreprise a reçu le soutien du programme en 2015 pour développer un nouveau produit dans le secteur de l'assainissement, appelé Leaf Cap-

tage, qui contrôle le débit des pompes de captage d'eau des fleuves servant à approvisionner les villes afin de rationaliser la consommation d'énergie. Le produit phare de I.Systems est un type de software sur lequel on ne misait pas beaucoup au départ, le Leaf pour Windows, et destiné aux grands systèmes utilisés par l'industrie. I.Systems a enregistré un taux de croissance de 100 % par an au cours de ces dernières années.

Une évaluation menée par le Groupe d'Étude sur l'Organisation de la Recherche et de l'Innovation (Geopi), rattaché à l'Unicamp et portant sur 214 projets Pipe développés entre 1997 et 2006, a montré que le programme a eu un impact positif dans différents secteurs. Environ 60 % des projets évalués ont débouché sur des innovations technologiques, ce qui est un indice très satisfaisant. Ceci représente 111 innovations, 59 étant considérées comme des nouveautés dans le pays et 17 au niveau mondial. « Il s'agissait d'innovations de base technologique conformément aux objectifs du programme », déclare Sérgio Salles-Filho, professeur à l'Unicamp et l'un des coordonnateurs du Geopi. Les projets ont permis de créer des emplois qualifiés dans ces entreprises avec une hausse de 60 % du nombre d'employés de niveau universitaire et de 91 % pour les professionnels avec un doctorat. Un article publié en 2011 dans la revue *Research Evaluation*, dont le principal auteur était Sérgio Salles-Filho, a indiqué un bénéfice de 10,50 réais pour chaque réal versé par la FAPESP. Une nouvelle évaluation concernant la période 2007 à 2016 est actuellement menée par le Geopi afin de comparer les résultats des projets avec ceux de programmes d'autres pays comme les États-Unis, la France et le Japon. « Le programme sera

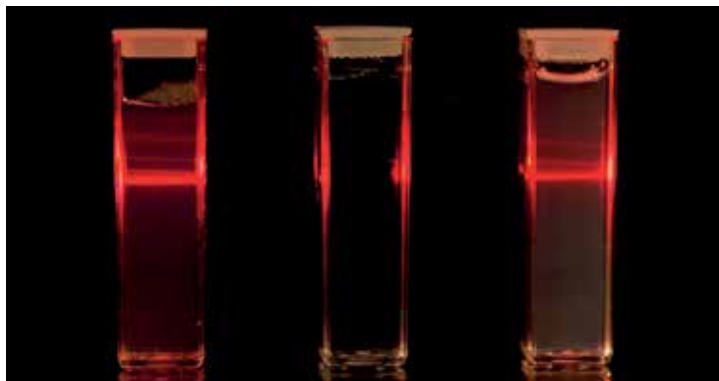
également régulièrement évalué avec des collectes de données dès la clôture du projet et deux ans plus tard », affirme Sérgio Salles-Filho.

BUSINESS ANGELS

L'entreprise XMobots, de São Carlos, qui fabrique des drones, et dont le chiffre d'affaires s'élève à plus de 7 millions de réais par an, est parvenue à monter son premier drone de test grâce à l'approbation de l'un de ses projets dans le programme Pipe phase 1 en 2009. « Nous dépendions jusqu'alors d'équipements prêtés par des laboratoires de l'USP à São Paulo pour travailler », déclare l'ingénieur Giovanni Amianti, l'un des fondateurs. Le soutien du programme Pipe nous a fait comprendre que notre produit avait de l'avenir. Dans d'autres pays, ce sont les *business angels* qui jouent ce rôle aidant à transformer une bonne idée en nouvelle affaire », observe Giovanni Amianti, dont l'entreprise commercialise aujourd'hui trois types de drones et emploie 40 personnes, 10 d'entre elles sont ingénieurs dans l'équipe de R&D.

Gustavo Pagotto Simões, président de l'entreprise Nanox, startup de São Carlos qui produit des microparticules ayant des propriétés bactéricides, souligne une particularité du programme Pipe qui, avec quatre appels à projets par an à l'initiative de la FAPESP, est devenue une référence pour les chefs d'entreprise de l'état. « Chaque fois que nous en avons besoin, il nous était possible de soumettre un projet dans le cadre du programme Pipe. Cette régularité n'est pas aussi courante avec d'autres sources de financement », reconnaît Gustavo, qui a déjà bénéficié de financements de la Finep, du BNDES, du Sebrae et du Conseil National de Développement Scientifique et Technologique (CNPq). Une dizaine de projets de l'entreprise Nanox ont déjà été approuvés dans le cadre du programme Pipe, mais deux d'entre eux se sont distingués. « Le premier, en 2005, grâce à un financement de 70 mille réais qui nous a permis de tester notre technologie sur les clients », explique Gustavo Pagotto, qui a monté cette affaire avec deux collègues universitaires de l'Université Publique Pauliste (Unesp),

Composés de microparticules produits par l'entreprise Nanox, à São Carlos



à Araraquara. L'entreprise Nanox a reçu en 2006 un financement du fonds Novarum. Cet apport a permis d'accélérer sa croissance avec un chiffre d'affaires qui est passé de 1,3 millions de réais en 2009 à 2,3 millions de réais en 2010.

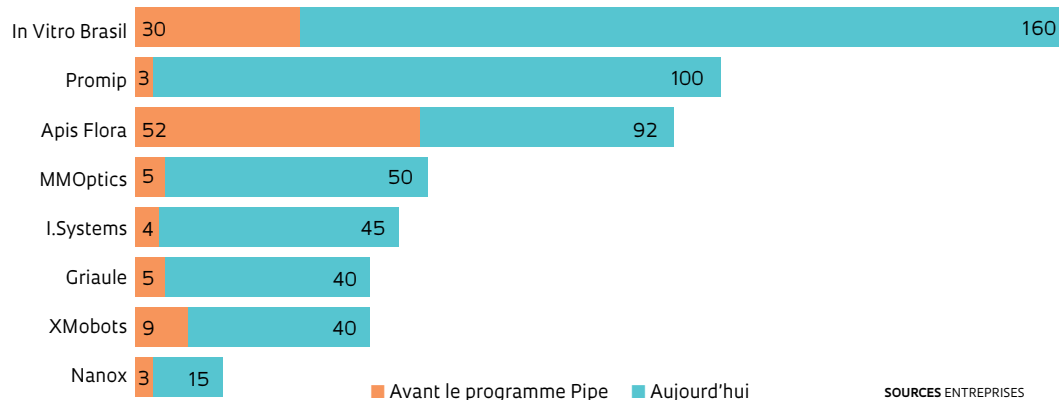
Un autre projet important verra le jour en 2012, alors que l'entreprise Nanox produisait déjà 2 à 3 kilos de microparticules d'argent par jour et souhaitait multiplier sa production par 10. « La FAPESP et la Finep ont lancé un appel à projets pour la phase 3 du programme Pipe qui nous a permis d'augmenter notre capacité productive et de fabriquer 20 kilos de microparticules par jour », explique Gustavo Pagotto. La production actuelle s'élève à 60 kilos par jour. Actuellement, les additifs à base d'argent sont utilisés dans les briques de lait, les films PVC et les instruments odontologiques.

Les nombreux bénéficiaires du programme Pipe ont multiplié leur chiffre d'affaires, mais ce n'est pas l'unique cause du succès du programme. Selon Sérgio Queiroz, professeur à l'Unicamp et coordonnateur adjoint du secteur de Recherche pour l'Innovation de la FAPESP, il y a des avantages indirects dus à l'implantation d'une culture de l'innovation au sein des entreprises. C'est le cas de l'entreprise Apis Flora, de Ribeirão Preto, spécialisée en produits et médicaments faits à base de miel et de propolis. L'entreprise, fondée en 1983, a renforcé sa structure en R&D ces 10 dernières années à la recherche de produits innovateurs. Le premier projet Pipe a été approuvé en 2009 afin de développer une biomembrane de cellulose qui, associée à la propolis, peut être appliquée sur des plaies cicatrisant difficilement. « Mon doctorat avait démontré que ce matériel était utile dans le traitement de brûlures », déclare Andresa Berretta e Silva, directrice en R&D et innovation d'Apis Flora. Un projet de recherche visant à obtenir un gel à base de propolis pour lutter contre la candidose vaginale a été lancé en 2010. « Grâce à ce projet, notre laboratoire de biotechnologie a fait un immense bond en avant ».

Les financements reçus depuis 2009 ont permis de mettre au point cinq produits innovateurs, quatre d'entre eux étant des médicaments qui n'ont pas encore été commercialisés. Cela n'a pas empêché leur chiffre d'affaires de passer de 7 millions de réais à 38 millions de réais en 10 ans. L'une des raisons de ce succès est le savoir-faire développé par l'entreprise dans la production d'un extrait de propolis en forme de microparticules et utilisé dans la composition de médicaments. Les compétences acquises et la recherche financée par le CNPq ont permis à l'entreprise d'exporter leur produit vers la Chine et d'améliorer ainsi leur chiffre d'affaires. La création d'une startup, incubateur d'Apis Flora, appelée Eleve Recherche et Développement a également récompensé leurs efforts. Deux projets Pipe de

Création d'emplois

Dans un groupe d'entreprises sélectionnées, le nombre d'employés à l'époque du premier projet Pipe et le nombre actuel



SOURCES ENTREPRISES

cette startup, visant à développer un remède pour combattre la leishmaniose et un modèle de peau qui remplace celle des animaux lors de tests cosmétiques, ont déjà été approuvés.

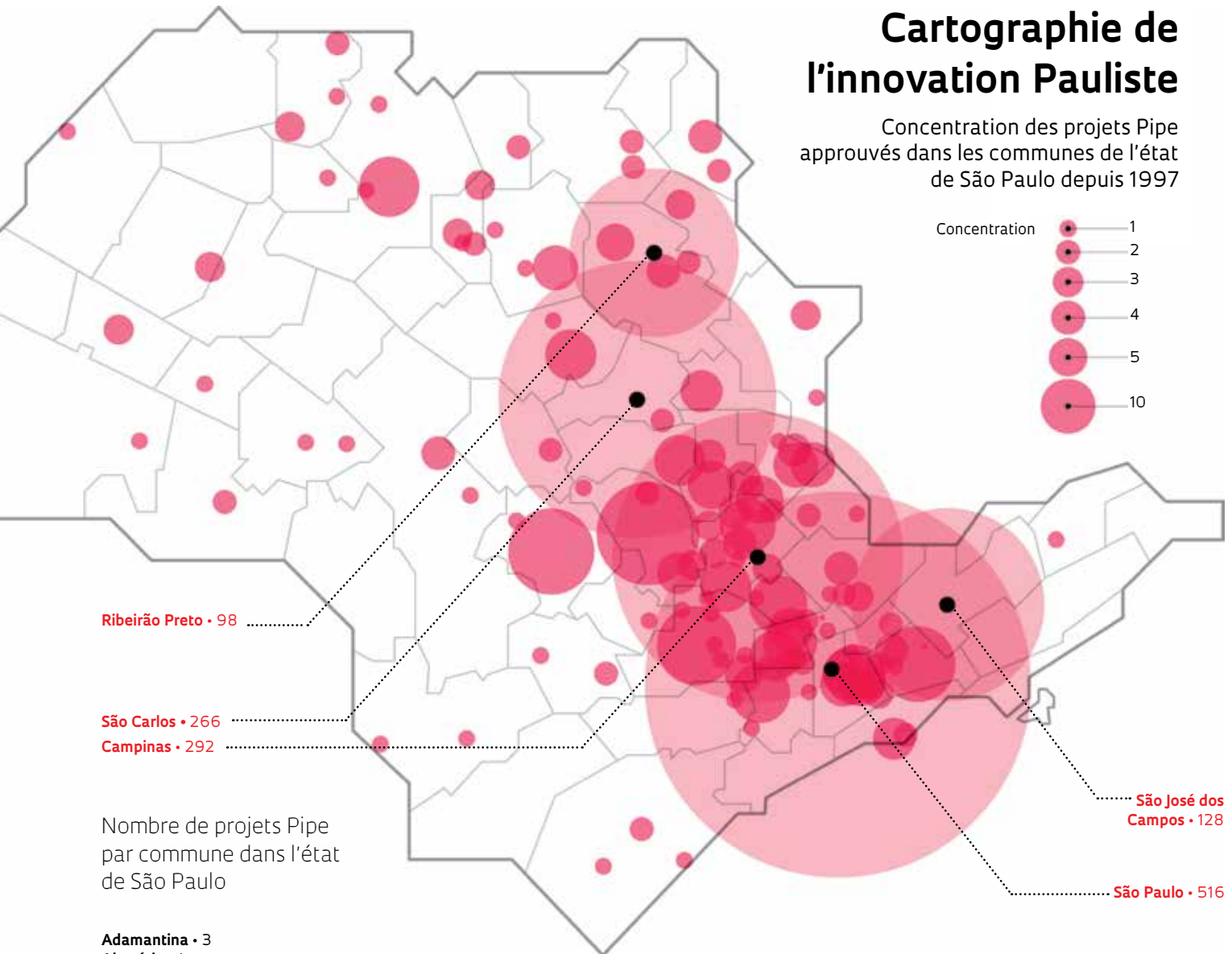
L'entreprise In Vitro Brasil de Mogi Mirim, a multiplié son chiffre d'affaires depuis qu'elle a commencé à investir en R&D, au point de représenter plus de la moitié de la production mondiale d'embryons bovins *in vitro* et d'être achetée en 2015 par l'entreprise nord-américaine ABS Global, principale entreprise mondiale dans le domaine génétique des taureaux. L'entreprise In Vitro a été créée en 2002 et ce n'est que quelques années plus tard qu'elle s'est mise à innover. Selon Andrea Basso, coordonnatrice de recherche de l'entreprise, deux projets Pipe sont le fruit d'approches innovatrices sur le marché international. L'un d'entre eux a montré que la production d'embryons utilisant des génisses à la place de vaches adultes était parfaitement viable, le prélèvement d'ovules étant réalisé par vidéolaparoscopie après une stimulation hormonale. L'autre projet concerne une méthode d'analyse génétique qui a permis de sélectionner des embryons avant leur insémination dans des vaches réceptrices. « Jusqu'alors, le génotypage n'était utilisé que pour sélectionner des animaux nouveau-nés qui seraient ensuite utilisés comme reproducteurs. Nous avons proposé d'évaluer génétiquement un échantillon de cellules embryonnaires, de les congeler et, après avoir conclu l'analyse, de choisir l'animal qui allait naître », explique Andrea Basso. L'entreprise est passée de 30 employés à plus de 160 en 10 ans. Elle a créé un réseau de 33 laboratoires associés qui ont produit 450 mille embryons en 2016. L'année dernière, son chiffre d'affaires a atteint 28 millions de réais, soit cent fois plus que celui de 2007. L'entreprise In Vitro Brasil a créé une startup brésilienne appelée In Vitro Brasil Clonage Animal et dont Andrea Basso est l'une des associés. Elle vient d'être sélectionnée dans le cadre d'un projet Pipe phase 1, pour la production d'une protéine qui joue un rôle essentiel dans la coagulation sanguine.

Le programme Pipe a été la première modalité de financement brésilien à investir des fonds non remboursables en R&D d'entreprises. « Avec la Loi d'Innovation en 2004, d'autres agences se sont mises à financer à fonds perdus l'innovation dans le secteur privé. Mais en 1997 ceci était presque un tabou et nous avons dû faire face à de nombreuses résistances pour mettre en œuvre le programme », se rappelle le physicien José Fernando Perez, directeur scientifique de la FAPESP au moment du lancement du programme. Selon José Fernando Perez, le programme Pipe s'est inspiré des programmes SBIR (Small Business Innovation Research) utilisés par les agences de financement nord-américaines pour un budget supérieur à 100 millions US\$. Quand nous avons pris connaissance des programmes SBIR, nous avons vu qu'ils correspondaient exactement à ce que nous voulions implanter à la FAPESP, soit une recherche menée au sein même de l'entreprise et débouchant sur des produits, des procédés ou des services innovateurs », affirme José Fernando Perez. Selon le physicien, l'un des arguments contraires à ce programme disait que par manque de candidats cette initiative allait se transformer en fiasco. Nous avons décidé de prendre ce risque et, lors du premier appel à projets, nous avons reçus 79 projets parmi lesquels 30 ont été sélectionnés.

Le programme a gagné un nouvel élan ces cinq dernières années en devenant moins restrictif sur la taille des entreprises. Il est possible désormais de présenter un projet avant que l'entreprise ne soit créée et de formaliser sa création plus tard. À chaque nouvel appel à projets, la FAPESP organise un événement appelé Dialogue sur le Soutien à la Recherche pour l'Innovation dans les Petites Entreprises afin d'éclaircir les doutes des intéressés. « Cet événement est essentiel pour que les candidats sachent exactement ce qu'est le programme et pour garantir la bonne qualité des projets présentés », déclare Sérgio Queiroz. Le 29 juillet, à la veille de la commémoration des 20 ans du programme Pipe, l'auditorium de la FAPESP était rempli d'entrepreneurs intéressés par le prochain appel à projets. ■

Cartographie de l'innovation Pauliste

Concentration des projets Pipe approuvés dans les communes de l'état de São Paulo depuis 1997



Ribeirão Preto • 98

São Carlos • 266

Campinas • 292

São José dos Campos • 128

São Paulo • 516

Nombre de projets Pipe par commune dans l'état de São Paulo

Adamantina • 3
 Alumínio • 1
 Americana • 4
 Américo de Campos • 1
 Amparo • 2
 Analândia • 2
 Angatuba • 1
 Araçatuba • 1
 Araçatuba • 3
 Araraquara • 9
 Araras • 5
 Ariranha • 2
 Artur Nogueira • 2
 Arujá • 2
 Assis • 2
 Atibaia • 2
 Barretos • 2
 Barueri • 9
 Batatais • 3
 Bauru • 4
 Boituva • 1
 Bom Jesus dos Perdões • 3
 Botucatu • 26
 Bragança Paulista • 4
 Caieiras • 1
 Cajamar • 7
 Cajobi • 3
 Campinas • 292
 Capivari • 3

Carapicuíba • 2
 Cajati • 1
 Catanduva • 3
 Charqueada • 2
 Cotia • 13
 Cravinhos • 4
 Diadema • 9
 Dois Córregos • 2
 Engenheiro Coelho • 4
 Estiva Gerbi • 1
 Ferraz de Vasconcelos • 2
 Franca • 4
 Francisco Morato • 2
 Franco da Rocha • 1
 Garça • 1
 Guararema • 2
 Guaratinguetá • 1
 Guarujá • 2
 Guarulhos • 5
 Holambra • 8
 Hortolândia • 1
 Ibiúna • 1
 Ilha Comprida • 1
 Ilha Solteira • 1

Indaiatuba • 9
 Itapeperica da Serra • 1
 Itapetininga • 2
 Itapeva • 1
 Itapira • 7
 Itararé • 1
 Itu • 1
 Itupeva • 1
 Jaboticabal • 7
 Jaguariúna • 2
 Jandira • 1
 Jarinu • 1
 Jundiaí • 12
 Juquitiba • 1
 Lençóis Paulista • 1
 Limeira • 8
 Mairinque • 1
 Marília • 1
 Matão • 1
 Mauá • 4
 Mirassol • 1
 Mococa • 3
 Mogi das Cruzes • 20
 Mogi Guaçu • 4

Mogi Mirim • 7
 Monte Alto • 1
 Monte Aprazível • 1
 Monte Mor • 1
 Orlândia • 2
 Osasco • 2
 Palestina • 1
 Patrocínio Paulista • 2
 Paulínia • 11
 Pindorama • 1
 Piracicaba • 37
 Pirassununga • 6
 Poá • 4
 Porto Feliz • 1
 Rafard • 6
 Rancheira • 1
 Registro • 2
 Ribeirão Pires • 3
 Ribeirão Preto • 98
 Rio Claro • 9
 Riolândia • 2
 Salto • 1
 Santa Bárbara d'Oeste • 3
 Santa Maria da Serra • 1

Santana de Parnaíba • 10
 Santo André • 8
 Santos • 6
 São Bernardo do Campo • 7
 São Caetano do Sul • 13
 São Carlos • 266
 São João da Boa Vista • 1
 Patrocínio Paulista • 2
 São José do Rio Preto • 13
 São José dos Campos • 128
 São Manuel • 1
 São Paulo • 516
 São Roque • 5
 Serrana • 2
 Sertãozinho • 5
 Socorro • 1
 Sorocaba • 22
 Sumaré • 4
 Suzano • 1
 Taboão da Serra • 2
 Tupã • 1
 Valinhos • 3
 Vista Alegre do Alto • 1
 Votuporanga • 3

FUENTE FAPESP

Questions ouvertes en Amérique latine

L'historienne parle d'identités, de guerres d'indépendance et d'interprétations autour du développement de la région

Glenda Mezarobba | PHOTO Léo Ramos Chaves

PUBLIÉ EN JUILLET 2017

Maria Ligia Coelho Prado était déjà mère de 3 enfants quand elle décida, à l'âge de 27 ans, d'étudier l'histoire à l'Université de São Paulo (USP). Si le choix peut paraître tardif, il fut sans conteste le bon : en plus du « coup de foudre » pour la discipline, il lui a donné la possibilité d'exercer comme professeure – un métier dans lequel elle s'est particulièrement distinguée. Elle a donné des cours dans des lycées publics et privés. Dans les années 1980, elle a parcouru l'état de São Paulo pour enseigner l'histoire de l'Amérique aux professeurs de l'enseignement secondaire. Sur le plan universitaire, elle a débuté sa carrière en tant que professeure d'histoire contemporaine de futurs architectes avant d'intégrer la Faculté de Philosophie, Lettres et Sciences Humaines (FFLCH) de l'USP.

En salle de classe, les grands thèmes abordés étaient l'esclavagisme, le capitalisme et le développement de l'Amérique latine. En plus de la bibliographie traditionnelle, elle avait l'habitude de présenter aux élèves des contrats de travailleurs, des déclarations d'ouvriers et des programmes de partis politiques. Faisant fi des frontières, elle a donné huit cours aux États-Unis entre 1987 et 1995, à l'invitation d'institutions nord-améri-

caines : trois cours de niveau licence et cinq de master-doctorat, dans des universités comme Brown, Stanford et New York.

Maria Ligia Coelho Prado a formé des générations de professionnels, en licence, master et doctorat, et forgé de grandes amitiés, parmi lesquelles l'historienne Maria Helena Capelato : « Nous avons soutenu notre mémoire de master le même jour, devant le même jury, l'une après l'autre ». Puis elles ont lancé un livre ensemble : *O bravo matutino* (Alfa Omega, 1980), avec les résultats d'une recherche concernant le journal *O Estado de São Paulo*. Entre les livres publiés, l'un d'eux en est à sa 23^e édition et a été vendu à plus de 70 000 exemplaires : *A formação das nações latino-americanas* (Atual, 1985), qui traite de la formation des nations latino-américaines. Actuellement elle prépare un nouveau livre qui rassemble des articles déjà publiés et des textes inédits, dont un sur les significations de la peine de mort appliquée à des femmes accusées d'être des traîtresses par la Cour Espagnole pendant les guerres d'indépendance, et un autre sur le rôle de l'État, de l'Église et de la famille dans l'enseignement public colombien à la fin du XIX^e siècle.

Fondatrice de l'Association Nationale des Chercheurs et Professeurs d'Histoire des Amériques

ÂGE 76 ans

SPÉCIALITÉ

Histoire de l'Amérique latine

FORMATION

Licence en histoire (1971), master (1974) et doctorat (1982) en histoire sociale de l'USP

INSTITUTION

Université de São Paulo (USP)

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

15 livres dont 5 écrits en tant que coauteure, directrice de 19 mémoires de master et 32 thèses de doctorat, superviseuse de 6 postdoctorants



(ANPHLAC), qu'elle a aussi présidé entre 1998 et 2000, elle a reçu *Pesquisa FAPESP* pour parler de l'Amérique latine, d'identité, du rôle du discours historique et de la fonction de la connaissance.

Comment est né votre intérêt pour la recherche sur l'Amérique latine ?

Pendant ma licence en histoire, il y avait deux disciplines qui portaient sur l'Amérique : histoire de l'Amérique coloniale et histoire de l'Amérique indépendante. J'ai terminé le cours en 1971, mais je n'ai jamais étudié l'Amérique indépendante – on n'a jamais dépassé la période du caudillisme. En tant qu'étudiante, je n'ai jamais rien étudié sur l'Amérique latine d'après 1850. Rien. En 1975, quand je suis entrée à l'université comme professeure après un concours pour enseigner l'histoire de l'Amérique, il fallait donner des cours d'histoire de l'Amérique indépendante. J'avais l'intention de changer plus tard, parce que je faisais des recherches sur l'histoire du Brésil. Je suis autodidacte en histoire de l'Amérique latine, j'ai commencé sans aucunes références. J'ai commencé à étudier et ça m'a fasciné.

Qu'est-ce qui vous a fasciné ?

Un exemple : l'histoire du Mexique, du monde amérindien et la manière dont s'est formé l'État mexicain. On n'a pas idée de ce qu'ont été les communautés amérindiennes au Mexique, après au Pérou, en Bolivie, au Guatemala. Ce qu'ont été les réformes libérales au Mexique et après dans l'Amérique espagnole, la tentative de destruction de la communauté amérindienne. Le monde culturel, la question de la langue, la question de l'art, le lieu de l'Église catholique. Et les disputes entre le monde laïque et le monde religieux.

Quand vous approfondissez certaines questions d'histoire, vous le faites toujours en lien avec l'Amérique latine ?

Toujours. Je connais l'histoire de quelques pays de l'Amérique latine, je ne connais pas celle de tous parce que c'est impossible. Je connais mieux l'histoire du Mexique, de l'Argentine et du Chili. Quand j'ai commencé à enseigner, en pleine dictature, Cuba était un sujet interdit, tabou. Donc on ne l'étudiait pas. L'Amérique latine était un lieu de dictatures. Comme j'étais politiquement de gauche, je me suis opposée dès le début

à la dictature. Cela a en quelque sorte contribué à l'enchantement que j'ai pour la région. Ce qui m'a fasciné dès le début, ce sont les rapprochements historiques entre l'Amérique portugaise et l'Amérique espagnole. Entre elles, des perspectives pour penser la connaissance, la religion et l'art, à côté des relations sociales particulières qui se forment dans cet espace où la présence des populations africaine et amérindienne est marquante.

Quand est apparue la notion d'Amérique latine ? Quand cette région a-t-elle reçu cette dénomination ?

Cette question est très intéressante parce que les personnes utilisent le terme sans se rendre compte de ses significations. Il semble que ce soit une dénomination du XIX^e siècle, créée par les Français. On en parle beaucoup. C'est l'économiste Michel Chevalier (1806-1879) qui a pensé le premier à cette différence, qui était commune au XIX^e siècle, entre Latins et Anglo-saxons. Et comme les Français s'intéressaient aux Amériques, et beaucoup au Mexique, on a pensé que cette partie des Amériques, qui n'était pas anglo-saxonne, était une partie latine qui rapprochait toute cette région de la France. Dans les textes, par exemple, de la *Revue des deux Mondes* [revue française qui cir-

culait au XIX^e siècle], il est clairement dit que la France était le principal pays latin du monde, et par conséquent que cette partie des Amériques s'identifiait aux Français. Donc ça c'est une version, un terme créé ailleurs avec d'autres intentions, un terme en quelque sorte imposé.

Mais il y a une autre perspective, celle de ceux qui pensent que le terme est en fait né en Amérique latine.

Oui, il y a une discussion autour du colombien Torres Caicedo (1830-1889), qui a écrit un poème parlant d'une Amérique latine. Mais la question principale de cette dispute, c'est un problème qui nous accompagne. En d'autres termes, soit le terme a été créé à l'étranger, par l'Europe, par l'impérialisme, et il nous a été imposé, soit il est né dans l'Amérique ibérique pour penser à une Amérique latine unie, où il y avait un rapprochement entre la partie espagnole et, d'une certaine manière, la partie portugaise, qui allaient affronter ensemble ses vicissitudes. En somme, la désignation elle-même est déjà source de problème.

Comment pensez-vous la question de l'identité latino-américaine ?

Je vais faire une digression pour vous répondre. Si l'on considère les textes d'érudits – intellectuels ou politiciens – tels que ceux de Simón Bolívar (1783-1830), par exemple, dans la célèbre *Lettre de Jamaïque* (1815) il demande : « Qui sommes-nous ? Nous ne sommes pas américains et nous ne sommes pas européens ». Cette quête d'affirmation est très fortement présente dans les textes, et ensuite dans plusieurs manifestations du XIX^e siècle. Je dis cela pour montrer que la question de l'identité nous accompagne depuis l'indépendance. Si on prend les sources à partir de cette époque, il y a des documents et des actions qui mettent l'accent sur le rapprochement entre les différentes parties de l'Amérique colonisée par les Espagnols et puis, déjà au XX^e siècle, avec le Brésil.

Donc très relationnel.

Oui, beaucoup. On a les textes de l'intellectuel et politicien chilien Francisco Bilbao (1823-1865) des années 1850, dans lesquels il décrit une Amérique en danger ; il fait référence à ce qui viendrait s'appeler plus tard Amérique latine en opposition aux États-Unis. Le problème



Travailler avec les identités doit être garanti par l'esprit critique, parce qu'elles effacent les contradictions

de l'identité n'est pas une invention des historiens ou des anthropologues. Je ne vois pas cela comme quelque chose d'artificiel. Mais comme je l'ai déjà écrit, travailler avec des identités doit être garanti par l'esprit critique, parce que les identités effacent les contradictions. Les identités harmonisent.

Elles pasteurisent, presque.

Elles pasteurisent. Toutes les femmes sont égales, tous les Noirs sont égaux, tous les Amérindiens sont égaux, pour utiliser une terminologie du XIX^e siècle, et les contradictions, les tensions, les conflits sont éclipsés. L'identité qui touche aux sentiments est une construction intellectuelle, mais elle entre dans les cœurs, a un impact sur la vie, les choix, et laisse de côté les différences et les conflits. Il faut avoir beaucoup d'esprit critique pour travailler sur ce sujet. L'identité suppose toujours l'autre – et l'autre, c'est l'ennemi. Il faut choisir. Dans le cas des Latino-américains, la construction de l'ennemi passe déjà par les États-Unis au XIX^e siècle. Il y a une date clé : 1898, quand les États-Unis entrent dans la guerre pour l'indépendance de Cuba aux côtés des Cubains, c'est-à-dire contre les Espagnols, et transforment Cuba en un protectorat.

Vous avez écrit que les élites latino-américaines aspiraient, depuis l'indépendance de leurs pays, à consolider leur domination sur la société en se basant sur une identité homogène, qui leur garantisse l'hégémonie politique. Peut-on dire dans une certaine mesure qu'elles n'ont pas si bien réussi en Amérique latine ?

C'est une question qui m'accompagne, à laquelle il est très difficile de répondre. Le XIX^e siècle est un sujet d'étude merveilleux parce que les intellectuels, les politiciens, ont posé les questions essentielles – avec lesquelles on continue de travailler. Qu'est-ce que la nation, qu'est-ce que la civilisation, qu'est-ce qui est légitime, qu'est-ce que l'État ? Ils ont répondu en établissant des normes de ce que devrait être la « civilisation ». L'association établie entre race et culture a été un élément central dans la domination symbolique des élites, elle a favorisé la



Avec Maria Helena Capelato (à gauche), en 1980, au lancement de leur ouvrage *O Bravo matutino*

discrimination et les préjugés. Même s'il est artificiel et invraisemblable, ce discours a eu un grand pouvoir de persuasion sur les sociétés latino-américaines jusqu'à aujourd'hui. Le discours blanc et civilisé voulait imposer sa vision sur toute la société, s'éloigner de « l'autre barbare ». Mais annuler ou contrôler *los de abajo* n'a jamais été possible. Les Amérindiens, les esclaves, les Métis, les femmes se font présents dans la politique, dans l'art, dans la littérature ; ils résistent à la domination imposée par les Blancs. Finalement, je crois que les élites ont réussi leur projet de domination. Mais il est nécessaire d'affirmer le rôle politique majeur joué par les subalternes sans qu'ils aient, très souvent, été reconnus par l'historiographie.

Dans l'histoire récente de l'Amérique latine, y-a-t-il eu un moment où les pays qui en font partie ont été plus proches, y compris comme objet d'étude ?

Oui, pendant les dictatures récentes, plus proches en raison des circonstances politiques d'une lutte unique pour la démocratie. Il y a eu un rapprochement, un intérêt, une plus grande connaissance. L'avènement de la démocratie a fini par nous éloigner. Le Brésil a à nouveau tourné le dos à l'Amérique latine et, une fois de plus, s'est mis dans la position d'un pays différent. Dans l'histoire politique et démocratique brésilienne, le Brésil a

toujours voulu être le pays hégémonique de l'Amérique du Sud. Cela a des répercussions sur la place de l'Amérique latine et sur l'importance de l'Amérique latine dans les études de l'histoire. En l'ignorant, on perd cette perspective de nouvelles voies pour comprendre le Brésil lui-même. Quand on accompagne et qu'on étudie l'histoire de ces pays, on réussit à comprendre beaucoup de questions de l'histoire brésilienne. Les historiens sont très habitués à s'enfermer dans des interprétations des historiographies nationales, encore très influencées par les constructions élaborées au XIX^e siècle.

Vous avez abordé cette question dans votre livre *America Latina no século XIX : Tramas, telas e textos* (Edusp, 1999) [Amérique latine au XIX^e siècle : Trames, toiles et textes].

En premier lieu, je réaffirme l'importance de penser le Brésil comme une partie de l'Amérique latine. Traverser les frontières offre des possibilités intéressantes à l'historien pour proposer de nouveaux problèmes et élargir les dialogues historiographiques. On le sait, au XIX^e siècle les États nationaux se sont organisés et les identités nationales se sont construites après les indépendances. Je pense que la question de la nation s'imposait et s'insérait dans la grande production politique, historiographique et artistique de l'époque ; politiciens, publicitaires, historiens, femmes et hommes intellectuels et artistes des différents pays d'Amérique latine, tous se sont penchés sur la question nationale. En plus des problèmes économiques, des disputes politiques, des troubles sociaux, des guerres civiles qui ont mobilisé les énergies des sociétés, des débats enflammés ont eu lieu sur la construction de la Nation et des identités.

Cela renvoie aussi au concept de transculturation du sociologue cubain Fernando Ortiz. Qu'en pensez-vous ?

C'est dans son livre *Contrapunteo cubano del tabaco y del azúcar* (1940), sur la culture cubaine, qu'Ortiz (1881-1969) a fondé le concept de transculturation – qui sera repris ensuite par beaucoup de critiques littéraires, anthropologues et historiens. Le concept renferme une idée



Anciens étudiants de M.L. Coelho Prado (au centre, en bleu) : José Luís Beired (Unesp), Sílvia Miskulin (UMC), Luiz Felipe Moreira (UEM), Kátia Gerab Baggio (UFMG) et Stella Maris Vilardaga (USP)

– que je partage – très importante pour penser l'Amérique latine. Pendant très longtemps, on a affirmé que la culture européenne nous avait été imposée, qu'elle avait été imposée aux peuples qui vivaient ici avant l'arrivée des Européens, et ensuite à ceux qui vivaient dans les colonies. La culture européenne aurait été transposée et imposée ici. La seule issue était l'acceptation. Et le résultat de cette acceptation serait la copie. Ortiz dit que l'on ne peut pas penser – et il parle de Cuba – à une simple imposition du dehors vers le dedans, même dans une société structurée autour de l'esclavage. De son point de vue, il s'est créé ici et là une culture très particulière et les Européens ont été affectés par le milieu dans lequel ils vivaient, y compris la culture africaine. C'est une voie à double sens. Il y a une question de pouvoir et l'Europe a gagné en ce qui concerne la langue, la religion ; mais comme il le dit, ces relations se font à tous les niveaux, depuis l'économique jusqu'au sexuel. Ce qui s'étudie dans ce milieu sociétair, c'est une transculturation, quelque chose qui subit des mutations et qui est repensé. Je pense que cela a du sens.

Pour vous, le discours historique peut-il être réduit à une fonction de connaissance ? Ou a-t-il une fonction sociale ? Si vous m'aviez demandé ça en 1975, je vous aurais répondu que le discours historique ne se réduit pas à une fonction de connaissance, qu'il possède une fonction sociale en intervenant dans la réalité où il sera plus ou moins utile pour les forces

qui luttent. La compréhension du passé permettait de connaître le présent et de prédire le futur. L'histoire jouait un rôle important dans la confrontation idéologique, et les historiens et universitaires devaient comprendre que leur travail n'était pas isolé de leur responsabilité politique. Aujourd'hui, les débats sont d'un autre ordre. Prenons la question de l'« École sans Parti », un mouvement politique qui entend lutter contre les « abus » de la liberté d'enseigner. Il ne fait aucun doute qu'il part de l'idée que le discours historique a une fonction sociale. Ce groupe, qui est de droite, attaque la gauche à qui il reproche d'instrumentaliser le sens à des fins idéologiques et politiques, et il affirme que la connaissance n'est pas neutre. Contrairement, il se présente comme un groupe non touché par la politique et s'érige en gardien de la seule « vérité ».

Est-il possible de noter des changements dans l'historiographie qui renvoient à cette fonction sociale de la connaissance ?

Surtout pendant la dictature (1964-1985). On pensait que la connaissance serait émancipatrice, qu'elle apporterait la démocratie, favoriserait la construction d'une société plus juste. Si on pense à une fonction sociale, c'est parce que la connaissance et les idées produisent de l'action. Les propositions politiques qui sont mises en pratique sont basées sur des idées, et dans ce sens la connaissance de l'histoire est fondamentale. Voyez par exemple la place qu'occupait l'Amérindien dans la société. Les historiens et

les anthropologues ont travaillé pour montrer comment les Amérindiens ont été exploités, opprimés, humiliés. Il en a été de même pour les esclaves africains au Brésil. De même que la cubaine, l'historiographie brésilienne a beaucoup travaillé pour renverser la vision établie. Votre question renferme aussi l'idée que dans le cas de l'histoire, c'est en fin de compte la vérité que l'on montre. Les historiens sont divisés sur la question de la vérité. Qu'est-ce que la vérité ? J'aime utiliser comme exemple une situation qui est éloignée de nous : la Révolution française. Ceux qui ont écrit sur elle, ses contemporains, et les premières générations postérieures. Comment écrire sur la Révolution française (1789-1799) sans prendre parti ? Comment un aristocrate, tel Alexis de Tocqueville (1805-1859), la voit-elle ? C'est un homme de gauche dans le scénario politique français du XIX^e siècle ? Certains faits sont concrets et incontestables : le roi et la reine ont été guillotins. Comment interprète-t-on les faits ? C'est la question. On peut se limiter à dire : « Maintenant je vais raconter la vérité sur la Révolution française ». Quelle vérité ? Ça veut dire qu'on interprète, qu'on analyse des documents. Il faut avoir une formation théorique pour comprendre le rôle, la place de ce document, ce qu'il exprime.

L'histoire n'enseigne-t-elle pas ? Ou c'est l'humanité qui n'apprend pas ?

Je pense beaucoup à cela. Je ne suis pas obsédée par la Révolution française, mais je vais la prendre une fois de plus comme exemple. La Révolution française a établi l'idée que la torture ne doit pas être une pratique légale, que l'être humain ne peut être violé. Pas exactement dans ces termes, mais c'est la première fois que cela était dit. Avant, la torture était absolument légale et légitime. C'est un jalon très important dans l'histoire récente de l'humanité, du moins du monde occidental. Ce qui ne signifie pas, on le sait tous, que la torture a été éliminée.

Le rôle de la femme dans les luttes pour l'indépendance – un sujet important de vos études – est encore peu connu. Pourriez-vous nous parler un peu de vos découvertes ?

Concernant le XIX^e et le XX^e, les femmes sont traitées par l'historiographie comme étant inexistantes du point de

vue de l'activité politique. Par contre il y a beaucoup de travaux importants sur la valorisation de ce lieu de la femme en tant qu'intellectuelle, écrivaine et journaliste. Mais ce qui m'a intéressé, c'est de penser à la participation politique des femmes au XIX^e siècle. Généralement, l'historiographie souligne la présence des femmes à partir de la question du suffrage, quand elles commencent à lutter pour le droit de vote. Même s'il s'agit d'un petit nombre, elles ont eu une participation politique dans l'histoire du Brésil et de l'Amérique latine du XIX^e siècle. Je suis partie de l'idée suivante : pourquoi Maria Quitéria (1792-1853), qui vivait dans l'arrière-pays (dans l'état de Bahia), s'est habillée en homme pour aller rejoindre le rang des soldats et lutter pour l'indépendance du Brésil contre les forces portugaises du général Madeira ? Voici l'histoire de cette femme : chez son père, elle a entendu un émissaire qui cherchait des volontaires pour la guerre. Comme mon esprit traverse sans cesse les frontières, j'ai pensé à l'Amérique espagnole. Après avoir fait beaucoup de recherches, lu plusieurs biographies et des journaux de la période, j'ai découvert que les femmes ont participé à la guerre – surtout dans le cas de l'Amérique espagnole, parce qu'ici au Brésil ça a été très rapide. Dans l'Amérique espagnole, les femmes ont participé de différentes manières pendant les 10-12 ans de guerre.

Y compris en prenant les armes.

Oui. Elles ont pris les armes, elles se sont habillées en soldat et beaucoup ont été les dites « messagères », celles qui s'infiltraient, assumaient une position et couraient des risques. Je pense que ce qui est important ici, c'est qu'elles étaient intéressées et qu'elles y ont participé ; elles ne sont pas restées à l'écart. Même quand on pense aux hommes, il ne faut pas oublier que les guerres pour l'indépendance sont d'une minorité. Seul un petit pourcentage de la population y a participé. Il y avait ceux qui croyaient à la cause, qui ont pris les armes et qui sont partis lutter pour gagner ou perdre, c'était le risque. Il y a des femmes qui ont été arrêtées, jugées et condamnées. Un cas exemplaire est celui de la colombienne Policarpa Salavarrieta (1795-1817), fusillée sur la place de Santafé à Bogota. Elle et 7 hommes, dont son fiancé. Sa mort a eu de fortes répercus-



Les femmes ont aussi participé aux guerres, surtout dans le cas de l'Amérique espagnole

sions. Il existe des tableaux d'artistes anonymes qui la montrent sur l'échafaud. Des poèmes ont été écrits en son hommage, une pièce de théâtre. Comme elle, d'autres femmes ont aussi été condamnées à mort ou à des châtiments publics – avoir le crâne rasé ou devoir marcher nue dans la ville, par exemple. Il y a beaucoup d'histoires, mais elles sont méprisées, ignorées. Pourtant, c'est un fait : en Amérique latine, la femme et la politique étaient déjà ensemble au XIX^e siècle.

Dans vos textes, vous donnez aussi une place importante à la question des utopies.

Pour ma génération qui a vécu sous la dictature, il ne fait aucun doute qu'il y avait une utopie socialiste à l'horizon, qui nous donnait de l'espoir et de la force pour affronter le quotidien. Après, dans les années 1980, la forte perspective de l'importance fondamentale de la démocratie est aussi apparue comme une utopie en Amérique latine. Aujourd'hui on vit un moment très difficile, avec de grands conflits, des confrontations idéologiques, des positions politiques très souvent prises à la va-vite, sans vraiment penser à leurs sens. Pour moi, le problème le plus grand est le manque d'une utopie. Dans les moments d'extrême difficulté et de désespoir, ma génération

imaginait qu'il y avait quelque chose de meilleur à l'horizon, que le futur nous offrirait d'une certaine manière une société plus juste, la démocratie, moins d'oppression. Cela nous aidait à la fois à supporter cette période difficile et à être solidaires. Le monde semble tellement cynique aujourd'hui... Le consumérisme a pris une place énorme. L'idée des grands principes qui ont orienté nombre de chemins politiques et intellectuels, de travailleurs du XX^e siècle, semble s'être perdue. Tout est très pragmatique, « immédiate ». Et cela me paraît troublant et dangereux. Il faut avoir un projet d'avenir pour pouvoir supporter le quotidien politique. On a besoin d'un horizon. Aujourd'hui, la grande cause qui semble réunir les personnes, c'est l'écologie, les questions environnementales, la préservation de la nature. C'est quelque chose qui émeut et rassemble même des gens aux idéologies politiques différentes, de droite comme de gauche. Mais je ne vois pas une utopie qui nous dise (on aura un monde avec moins de pauvreté, avec plus d'égalité), comme ce qui a nourri notre espérance dans les moments les plus difficiles du passé. Je ne suis pas sceptique au point d'imaginer que les choses ne vont pas changer. Je crois qu'elles vont changer, mais ça prendra du temps.

Vous dites que la dimension de l'espérance a été la boussole de votre génération. Quelle direction montre votre boussole aujourd'hui ?

Jusqu'au début des années 1990, j'avais beaucoup de certitudes. Parce que j'appartiens à une génération qui avait des certitudes par rapport au futur, en particulier du Brésil, de l'Amérique latine. Au début des années 2000, j'ai perdu – dans le bon sens, je pense – mes certitudes, mais je garde le même entrain et le même enthousiasme quand je regarde vers l'avant. Je souhaite regarder l'horizon et tenter d'apercevoir des ébauches, mêmes imprécises, d'utopies. Il faut réfléchir de manière critique sur le présent et comprendre que ce qui se vit n'est pas « naturel » mais le résultat d'actions et de contradictions des individus dans l'histoire. Et finalement, rappeler qu'il faut être patient, parce qu'on sait que les idées donnent des fruits à long terme, qu'elles ne coïncident pas avec les temps des actions des politiciens. ■

Des oeuvres du duo OSGEMEOS illustrent la publication



Bilan annuel

POLITIQUE S&T

INDICATEURS ▲

Selon le Rapport d'Activités 2016, la FAPESP a maintenu le rythme de ses investissements

Fabrício Marques

PUBLIÉ EN AOÛT 2017

En 2016, la FAPESP a investi un total de 1 137 355 628,00 réais dans 24 685 projets de recherche. Le montant a été un peu inférieur à celui de 2015, qui était de 1 188 693 702,00 réais pour 26 445 projets alors en cours. En dépit d'une conjoncture adverse, liée à la diminution des recettes fiscales étatiques à cause de la crise économique du pays, 10 480 nouveaux projets ont été retenus dans l'année – 4 % de plus qu'en

2015 –, dont 5 491 bourses au Brésil, 1 162 bourses à l'étranger et 3 827 aides à la recherche. D'après le président de la FAPESP, le physicien José Goldemberg, « la Fondation a réussi à maintenir ses engagements et son rythme d'action dans le financement de la recherche, malgré les problèmes économiques que le Brésil a connus en 2016 ».

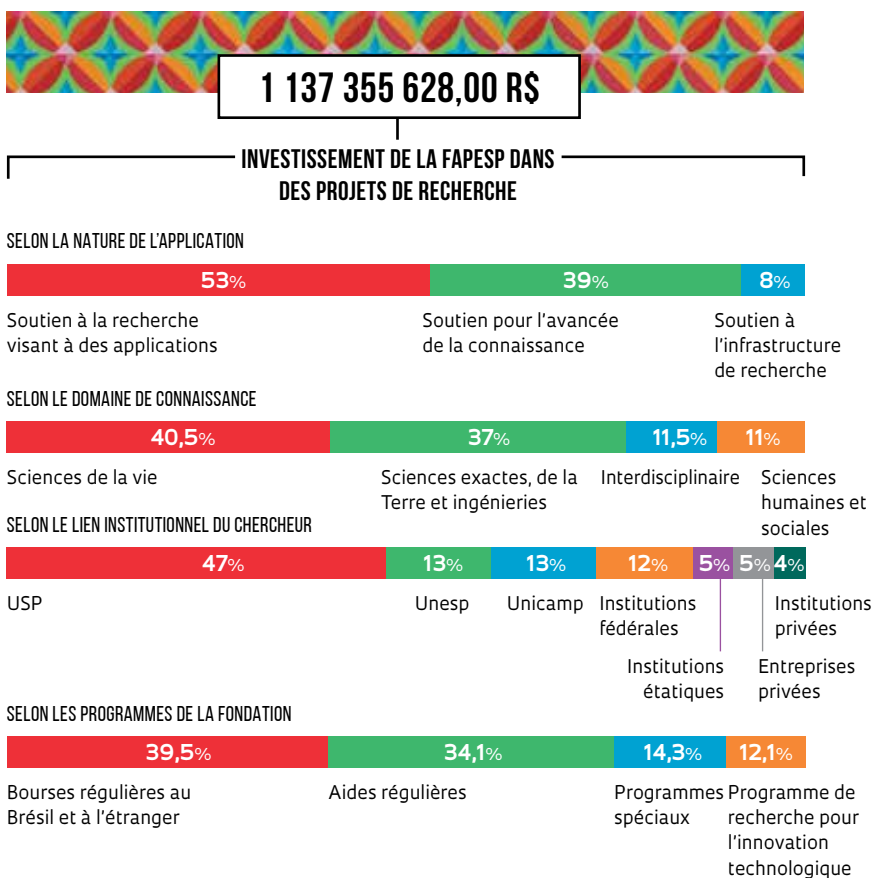
La performance de la Fondation en 2016 est décrite dans le *Compte rendu d'Activités 2016*, lancé en août et dispo-

nible à l'adresse fapesp.br/publicacoes – où l'on peut également consulter les synthèses annuelles sur les activités de la FAPESP depuis 1962, l'année où elle a commencé à opérer. Dans le document de 2016 figurent des œuvres des artistes de rue Gustavo et Otávio Pandolfo, connus sous le nom d'OSGEMEOS ; certaines de ces œuvres illustrent ce reportage.

La croissance de la coopération avec le secteur entrepreneurial est un des points positifs du compte rendu. Le programme Recherche Innovatrice en Petites Entreprises (PIPE) a connu sa meilleure année depuis sa création en 1997 : 228 nouvelles propositions ont été retenues, soit plus de 4 par semaine (quasiment 1 par jour ouvrable) et 55,5 millions de réais investis. En 2015, 159 projets ont été retenus pour un financement total de 29,9 millions de réais. Le PIPE a été la première initiative d'une agence brésilienne à offrir des financements non remboursables aux petites et moyennes entreprises pour

Nature des investissements

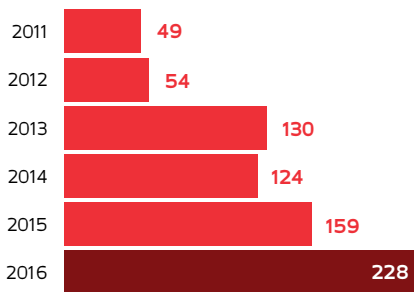
Versement de la FAPESP en 2016 selon 4 classifications



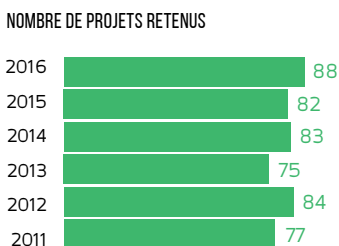
LA CROISSANCE DU PIPE
ÉVOLUTION DU NOMBRE DE PROJETS RETENUS DANS LE PROGRAMME RECHERCHE INNOVATRICE EN PETITES ENTREPRISES*

4 PROJETS PAR SEMAINE EN 2016

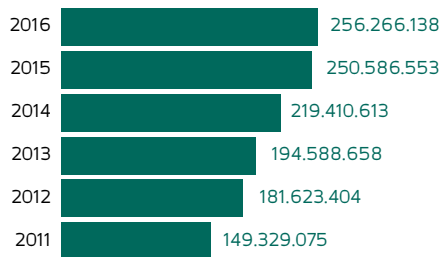
*Sans compter les bourses



L'ÉVOLUTION DES PROJETS THÉMATIQUES



MOYENS FINANCIERS INVESTIS DANS DES PROJETS ET DANS DES AIDES ET BOURSES LIÉES À CE PROJET (EN RÉAIS)

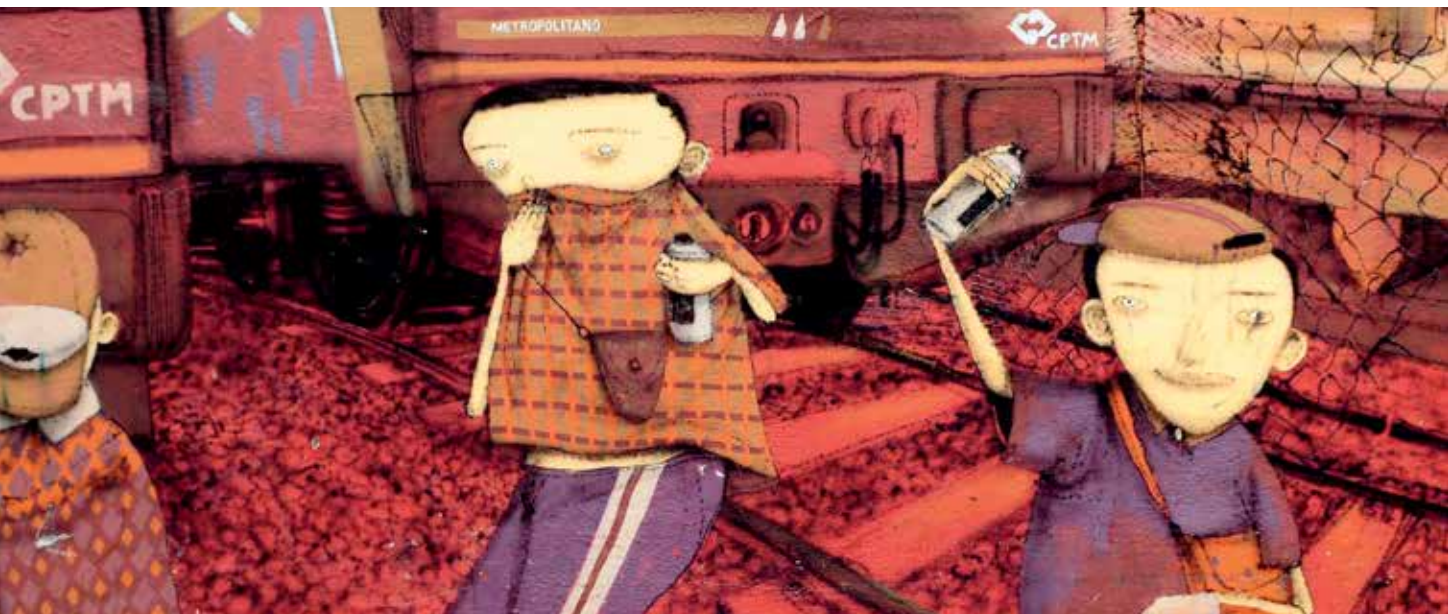


qu'elles développent des innovations aux phases initiales. Le physicien Carlos Henrique de Brito Cruz, directeur scientifique de la FAPESP, observe qu'il s'agit d'un « programme qui a énormément contribué au développement scientifique, technologique et économique de l'état de São Paulo ; il stimule la création d'entreprises qui prospèrent et génèrent de l'emploi et de la richesse ».

La création de centres de recherche en ingénierie en coopération avec des entreprises a également connu un essor en 2016 avec la mise en place du Centre de Recherche Appliquée en Bien-être et Comportement Humain, un partenariat entre la FAPESP, l'entreprise de cosmétique Natura, l'université de São Paulo (USP), l'Université Fédérale de São Paulo (Unifesp) et l'Université Mackenzie. Installé à l'USP, le centre mène des études multidisciplinaires sur le comportement humain grâce à un investissement conjoint de 40 millions de réais sur 10 ans. L'objectif est de rassembler des connaissances, des méthodologies et des technologies dans des domaines comme la psychologie expérimentale et les neurosciences, qui créent des indicateurs de bien-être de la population brésilienne et aident à créer de nouveaux produits. Andrea Álvares, vice-présidente du secteur marketing et innovation de l'entreprise Natura, a affirmé que le modèle était à l'avant-garde de l'innovation ouverte. Lors du lancement du Centre, elle a déclaré : « Plus la diversité des chercheurs concernés sera grande, plus riches seront les résultats ».

Le partenariat avec Natura s'est ajouté à quatre centres créés les années précédentes : deux avec l'entreprise pharmaceutique GSK, un avec l'usine de montage Peugeot-Citroën et un autre avec l'entreprise de pétrole et de gaz BG. Dans ce modèle, chaque réal investi par la FAPESP aura mobilisé plus de 1 réal de l'entreprise et 2 réais de l'université ou institut de recherche qui abrite le centre. Ensemble, ces 5 centres recevront 259 millions de réais en investissements.

Un autre point fort du compte rendu est la croissance du soutien à la recherche interdisciplinaire qui représente 11,5 % du versement de la FAPESP en 2016, derrière les sciences de la vie (40,5 %), les sciences exactes, les sciences de la Terre et les ingénieries (37 %), et devant les sciences humaines et sociales (11 %). Les



Des murs de São Paulo ornés de graffitis des artistes de rue

résultats sont supérieurs à ceux de 2015, quand 10,4 % du versement de la Fondation était destiné à des projets interdisciplinaires, et très largement supérieurs à ceux de 2006 (7,78 %) et 2003 (3,08 %).

La FAPESP a également investi de manière significative dans des modalités qui financent des projets de recherche mondialement compétitifs. Les projets thématiques, aux objectifs suffisamment osés pour justifier un financement d'une durée de 5 ans et qui réunissent généralement des chercheurs de plusieurs institutions, ont reçu 256 266 138,00 réais en 2016 contre 250 586 553,00 réais en 2015. Le montant inclut des financements de projets ainsi que des aides et des bourses pour des recherches au Brésil et à l'étranger. La quantité de projets retenue a été la plus grande de ces six dernières années : 88 projets retenus, soit 6 de plus qu'en 2015. En 2016, il y avait 477 projets thématiques en cours. De la même manière, le programme Jeunes Chercheurs en Centres Émergents a poursuivi son ascension : il a reçu 68,2 millions de réais en 2016 (aides et bourses incluses) pour 313 projets en cours, contre 67,3 millions de réais en 2015. 58 projets ont été retenus l'an dernier. Le programme finance pour une durée qui peut aller jusqu'à 4 ans la formation de centres dirigés par des jeunes chercheurs détenteurs d'un niveau

doctorat et d'un potentiel élevé, en particulier dans des institutions où le thème du projet est encore peu développé.

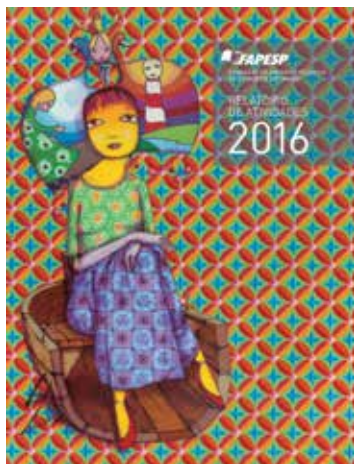
Conformément à ce que prévoit la Constitution de l'état de 1989, la FAPESP reçoit 1 % de la recette fiscale de São Paulo pour investir en recherche scientifique et technologique. Le versement du Trésor de l'état de São Paulo en 2016 a atteint 1 057 714 553,00 réais et a été 1,2 % supérieur, en valeurs nominales, au versement de l'année antérieure. Mais en valeurs corrigées par l'Indice des prix à la Consommation (IPCA), il y a eu une chute de 5 % par rapport à 2015. Ce versement correspond à 78,7 % de la recette de la Fondation. Le versement de 2016 a été complété par 215 154 402,00 réais issus d'accords avec d'autres institutions, agences et entreprises, et par

71 328 947,00 réais, qui proviennent de la recette de la Fondation elle-même, qui possède un patrimoine rentable pour compléter les apports financiers du Trésor. En termes nominaux, ces recettes complémentaires de 2016 ont été 6 % moins élevées qu'en 2015.

Il est possible d'observer la portée de l'investissement sous différentes perspectives. L'une d'elles est la répartition des ressources par les programmes de la FAPESP : 39,5 % du versement a été destiné à des bourses au Brésil et à l'étranger, 34,1 % à des aides régulières à la recherche, 14,3 % à des programmes spéciaux, comme ceux qui soutiennent les Jeunes Chercheurs et les recherches en eScience, et 12,1 % à des programmes d'innovation technologique.

Dans le cas des aides régulières, les ressources ont baissé de 9 % par rapport à 2015, et le nombre de projets retenus a baissé de 3 %. La chute a plus été perceptible au niveau de la participation ou de l'organisation de réunions scientifiques. Les aides régulières, qui sont des projets financés pour une durée pouvant aller jusqu'à 2 ans, ont par contre augmenté de 17 % et les projets thématiques de 9 %.

Le montant versé pour les bourses a totalisé 448,9 millions de réais, 6 % de moins qu'en 2015 en valeurs nominales. Malgré tout, il y a eu une augmentation de 4 % du nombre de nouvelles bourses accordées et celles déjà en vigueur ont bénéficié d'une augmentation de 11 %. Dans le pays, c'est dans le cadre de l'Initiation scientifique [niveau licence] qu'il y





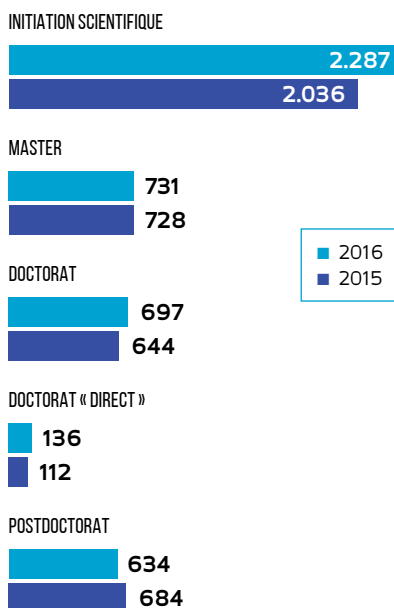
a eu le plus de bourses : 2287, soit 12 % de plus qu'en 2015, qui en comptait 2036. Le nombre de bourses de master, doctorat et doctorat « direct » [passage accéléré au doctorat] a augmenté respectivement de 0,4 %, 8 % et 21 %. Pour le postdoctorat, il y a eu une réduction : 684 en 2015 et 634 en 2016. L'octroi de bourses pour l'étranger a baissé de 7 % : 1162 en 2016 contre 1244 en 2015. La réduction s'est concentrée sur les bourses pour des stages à l'étranger d'une durée maximale d'un an, selon la modalité. Par contre, le versement de bourses de recherche à l'étranger est passé de 254 en 2015 à 258 en 2016.

Le nombre de chercheurs étrangers à avoir obtenu des bourses de postdoctorat au Brésil financées par la FAPESP est passé de 123 en 2015 à 93 en 2016. Néanmoins, la proportion de bourses accordées à des chercheurs étrangers est demeurée stable : elles ont représenté 19 % du total de bourses de postdoctorat dans le pays, un peu en-dessous des 21 % de 2015 mais au-dessus du niveau des 5 années précédentes, qui a varié entre 13 et 18 %. Généralement étrangers, les boursiers étaient liés aux domaines des sciences exactes et de la terre (36 %), aux ingénieries (26 %), aux sciences humaines (26 %) et aux sciences sociales appliquées (25 %).

Faire la distinction entre les objectifs du soutien à la recherche est une autre manière d'analyser l'investissement de la Fondation. Par ce critère, on constate que 53 % des ressources ont été desti-

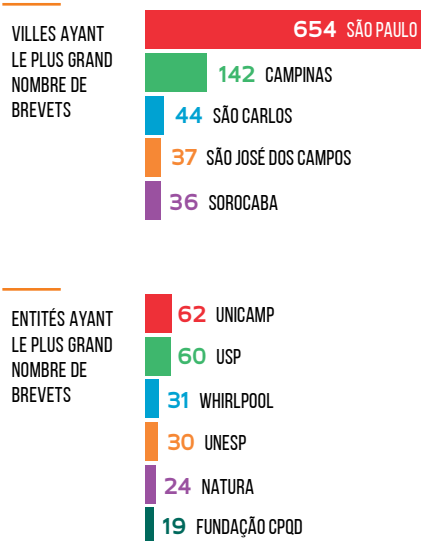
L'INVESTISSEMENT EN BOURSES

BOURSES ACCORDÉES DANS LE PAYS PAR LA FAPESP



NOMBRES DE L'INNOVATION EN 2016

1.599
BREVETS D'INVENTION
ONT ÉTÉ SOLLICITÉS À L'INPI PAR DES
HABITANTS DE L'ÉTAT DE SÃO PAULO
(31 % DU TOTAL)



nées à des recherches appliquées. Cette rubrique inclut des aides et des bourses dans des domaines tels que l'agronomie et la médecine vétérinaire, l'ingénierie et la santé, qui aboutissent presque toujours à des applications, ainsi que des programmes qui stimulent l'innovation dans les universités et les entreprises. Sans oublier certains programmes spéciaux de la Fondation. 39 % ont été investis pour faire avancer la connaissance via des programmes de formation en ressources humaines qui encouragent la recherche universitaire (bourses et aides incluses). Enfin, les 8 % restants ont été utilisés pour soutenir l'infrastructure de la recherche à travers la récupération, la modernisation ou l'acquisition d'équipements pour des laboratoires, l'augmentation du patrimoine bibliothécaire d'institutions d'enseignement et de recherche, et la garantie d'un accès rapide à Internet.

Les investissements dans le programme d'Équipements Multi-usagers (EMU), tournés vers l'achat d'équipements chers et qui deviennent disponibles pour un plus grand nombre de chercheurs, ont été de 37,5 millions de réais en 2016 – sont inclus ici les 134 projets liés à des aides régulières, les projets thématiques et le programme Jeunes Chercheurs. Ce montant concerne aussi les quatre projets spécifiques de l'EMU, qui ont coûté 1,3 millions de réais.

Au cours de 2016, des accords de coopération entre la FAPESP et 94 organisations étaient en vigueur. 28 ont été signés cette année-là. Parmi les nouveaux accords avec les agences de soutien et les institutions universitaires, un seul a été établi avec une institution brésilienne, l'Institut National de Recherches Spatiales (Inpe). Les 24 autres sont des accords internationaux signés avec 7 organisations des USA, 3 du Royaume-Uni, 3 de l'Australie, 2 du Canada, 2 de la France, 2 de la Chine, 1 de la Hollande, 1 de l'Italie, 1 de la Norvège, 1 du Chili et 1 avec une agence multinationale. 3 accords ont été signés avec des entreprises : la norvégienne Statoil, la hollandaise Koppert et la nord-américaine IBM. Deux symposiums scientifiques de la série *FAPESP Week* ont été réalisés en 2016 pour stimuler des collaborations scientifiques entre des chercheurs de São Paulo et d'autres pays : 1 aux États-Unis, en mars, et 1 autre en Uruguay, en novembre. ■

Des encouragements fiscaux pour la recherche

Le FMI et l'OCDE suggèrent aux gouvernements d'accorder des avantages fiscaux pour stimuler la recherche dans les entreprises

Bruno de Pierro

PUBLIÉ EN JUIN 2017

L'octroi d'encouragements fiscaux sous la forme de réduction d'impôts pour les entreprises qui investissent dans la recherche et le développement (R&D) a gagné un nouvel élan ces dernières années. En France et au Japon, par exemple, ce type de soutien représente plus de 70 % de l'ensemble des instruments utilisés par les gouvernements pour financer l'innovation dans le secteur privé. Cette proportion était de 20 %, au début des années 2000, selon les données de l'Organisation pour la Coopération et le Développement Économique (OCDE) qui réunit les pays les plus industrialisés du monde. Le modèle adopté dans des pays comme le Brésil et l'Afrique du Sud a récemment fait l'objet d'études menées par l'OCDE et le Fonds Monétaire International (FMI). Malgré l'orthodoxie de ces deux organisations, elles ont reconnu le rôle fondamental de l'État dans le financement de la recherche au sein des entreprises et des universités. « La future croissance économique dépendra largement d'une amélio-

ration de la productivité. Les questions de politiques gouvernementales de soutien à l'innovation sont au centre du débat politique », déclare l'économiste Ruud de Mooij, chef de la division des politiques fiscales du FMI. Il a publié en mai un article dans la revue *Finance & Development* dans lequel il évalue l'impact et l'efficacité des politiques fiscales et propose des recommandations aux autorités compétentes et aux décideurs en se basant sur le rapport *Moniteur des Finances Publiques* publié par le FMI l'année dernière.

Ruud de Mooij souligne que la plupart des entreprises dépensent peu en R&D car elles savent que ces investissements produiront également des bénéfices chez leurs concurrents. « La production de connaissance déborde et bénéficie d'autres entreprises qui ne sont pas à l'origine de l'investissement » dit-il.

Le FMI suggère que ces incitations bénéficient prioritairement les jeunes entreprises technologiques, les startups, à l'inverse de ce qui se passe dans de nombreux pays qui octroient des avantages





aux petites entreprises déjà bien installées. « Une imposition plus faible pourrait encourager l'innovation au sein des petites entreprises mais c'est encore assez rare dans la pratique », observe l'économiste. « Une petite entreprise pourrait considérer son développement peu attractif si en contrepartie elle y perd ses avantages fiscaux ». D'après Ruud de Mooij, il y a des études qui montrent que de nombreuses petites entreprises arrêtent de se développer en atteignant un niveau de revenu qui leur permet encore de bénéficier d'encouragements fiscaux. Cette situation est plus rare dans le cas des startups. Ruud de Mooij soutient qu'il est plus facile de garantir le caractère temporaire des encouragements fiscaux en aidant les jeunes entreprises à se développer comme c'est le cas au Chili et en France qui ont adopté des politiques fiscales avec cet état d'esprit.

Dans le rapport *Fiscal incentives for R&D and innovation in a diverse world*, publié en 2016, l'OCDE souligne également la nécessité d'octroyer des encouragements fiscaux aux startups qui ont besoin de capitaux pour investir dans de nouvelles technologies. L'organisation souligne cependant que les encouragements fiscaux doivent être vus comme faisant partie d'un arsenal d'options pour promouvoir la R&D dans le secteur privé et qu'il incombe aux décideurs d'adopter les meilleures solutions en fonction des réalités locales. Aux États-Unis, par exemple, il y a beaucoup de soutien direct aux entreprises à travers les achats gouvernementaux.

En Europe, on utilise davantage les encouragements fiscaux, comme en Allemagne mais à une plus petite échelle.

Le FMI préconise également que les économies émergentes cessent d'offrir des avantages fiscaux pour promouvoir l'installation de multinationales dans leurs pays. Au lieu de cela, il suggère que les gouvernements investissent dans l'éducation, l'infrastructure et les institutions de recherche



La politique industrielle brésilienne a adopté des mesures encourageant la production automobile

pour renforcer leur capacité d'absorber de nouvelles connaissances et encourager le transfert de technologies développées par les économies avancées. Selon ce rapport, de nombreux pays sacrifient leur base fiscale en concédant des avantages fiscaux pour attirer des capitaux étrangers. « Les encouragements fiscaux ont relativement peu d'effets sur le choix du lieu de l'investissement », déclare Rafael Cagnin, économiste de l'Institut d'Études pour le Développement Industriel (Iedi). D'après lui, quand de grandes entreprises étrangères décident d'investir, la taille du marché d'un pays, son intégration dans l'économie internationale, la qualité de son infrastructure et de son environnement d'affaires ont plus de poids que d'éventuels avantages fiscaux. Ruud de Mooij mentionne l'exemple de la Chine qui, à partir de 2008, a supprimé plusieurs encouragements fiscaux favorables à l'investissement étranger, sans pour autant cesser de les attirer. « Sur le plan fiscal, le pays traite les entreprises nationales et étrangères de la même manière, sans discriminations », affirme Ruud de Mooij.

LOI DU BIEN

Des encouragements fiscaux pour la R&D et l'innovation technologique au Brésil sont prévus dans des instruments comme la Loi du Bien, de 2015, dont la réforme est actuellement examinée par le Parlement. « L'un des problèmes de cette loi est qu'elle n'est pas parvenue à promouvoir des encouragements fiscaux pour les jeunes entreprises, privilégiant au contraire les plus consolidées », explique l'avocat Aristóteles Moreira Filho, chercheur au Centre d'Études Société et Technologie de l'École Polytechnique

de l'Université de São Paulo (Poli-USP). Le motif, d'après lui, est que la loi permet une déduction supplémentaire de 60 % à 100 % sur les dépenses en R&D pour les entreprises qui payent leur impôt sur la base des bénéfices réels. « Les petites et jeunes entreprises technologiques finissent par être désavantagées par cette logique, soit parce qu'elles n'ont pas opté pour le régime du bénéfice réel, soit parce qu'elles n'ont pas de portefeuille consolidé de produits et de services et l'innovation prend plus de temps avant de dégager un bénéfice. « L'autre problème est que les encouragements fiscaux octroyés par la Loi du Bien peuvent être annulés à tout moment si l'entreprise traverse des difficultés financières. « Même si l'entreprise poursuit ses activités de R&D dans l'année où elle a subi un préjudice, la déduction d'impôt est annulée », explique Luiz Eugênio Mello, vice-président de l'Association nationale de Recherche, Développement et Ingénierie des Entreprises Innovantes (Anpei).

Pour Luiz Eugênio Mello, qui est également directeur exécutif de l'innovation et de la technologie de la compagnie Vale, la loi doit offrir les conditions nécessaires pour avantager les petites et jeunes entreprises, tout en soulignant que les encouragements fiscaux sont également nécessaires aux grandes entreprises. « L'investissement annuel de Vale en R&D est de l'ordre de centaines de millions de réais. Les encouragements fiscaux nous permettent un retour d'environ 15 millions de réais. Ce montant n'est pas négligeable pour une entreprise qui a beaucoup d'actionnaires et qui cherche à valoriser ses actions ». La Recherche en Innovation (Pintec) de 2014, publiée en décembre par l'Institut Bré-

silien de Géographie et de Statistique (IBGE), montre que les encouragements fiscaux prévus dans la loi n'ont été utilisés que par 3,5 % des entreprises innovantes.

BREVETS

Les régimes de *patent box*, qui sont une exonération fiscale sur les revenus de produits brevetés, se sont disséminés ces dernières années en Europe. Selon le FMI, ce modèle visant à encourager l'innovation dans les entreprises n'a pas eu le succès escompté. « De nombreux projets en R&D ne débouchent pas sur des brevets ni sur des innovations rentables », observe Ruud de Mooij. « Le soutien fiscal est plus efficace quand il réduit directement les coûts de la recherche ». Pour Aristóteles Moreira Filho, les régimes de *patent box* sont polémiques car ils ne concernent que la fin du processus d'innovation. « Comme l'encouragement porte sur le revenu du brevet, certaines malversations sont apparues, spécialement de groupes multinationaux qui n'investis-

D'après Rafael Cagnin de l'Iedi, les encouragements fiscaux liés aux revenus de la commercialisation de produits finis ne sont peut-être pas très efficaces. « Le processus d'innovation implique des erreurs ou des changements inattendus. Il vaut mieux octroyer des encouragements fiscaux en début de processus car même si l'obtention d'un produit final est incertaine, les étapes de la recherche permettent à l'entreprise d'accumuler un savoir-faire », déclare Rafael Cagnin. « Les encouragements fiscaux sont donc une pièce fondamentale de la politique industrielle. Le secteur public doit participer au partage de risques qu'implique le processus d'innovation, quand les rendements privés ne sont pas facilement calculés ou justes ».

Moreira souhaite que les encouragements fiscaux soient octroyés à différents secteurs industriels de manière indiscriminée pour ne pas devenir injustes. D'après lui, l'octroi d'encouragements sectoriels, outre leur inefficacité, serait antidémocratique. « On exonère d'un côté pour surcharger de l'autre. Les secteurs ayant davantage de force politique ont un plus grand pouvoir d'influence pour dialoguer avec le gouvernement et parvenir ainsi à imposer leurs agendas par rapport à d'autres secteurs moins influents mais qui ont également besoin d'encouragements pour se développer » estime-t-il.

La politique industrielle brésilienne a pris une série de mesures pour stimuler la production nationale d'automobiles, d'équipements informatiques, de semi-conducteurs, entre autres. La stratégie adoptée est encore celle d'octroyer des exonérations ou des suspensions d'impôts sur le produit final sans étendre ces mesures aux importateurs de produits. En début d'année, des programmes comme Innover Auto et la Loi Informatique ont été jugés illégaux par l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), après des questionnements de l'Union Européenne et du Japon. « Malheureusement la vision brésilienne en matière d'encouragement fiscal est celle du tout ou rien », déclare l'économiste José Roberto Rodrigues Afonso, professeur à l'Institut Brésilien de Droit Public de la fondation Getulio Vargas (FGV) et consultant de la Banque Mondiale. Il affirme que lors du dernier gouvernement, les exonérations ont été octroyées aveuglément sans tenir compte des évaluations techniques. « Dans le gouvernement actuel c'est l'inverse qui se produit car le moindre encouragement est perçu comme un péché capital », déclare José Roberto Rodrigues Afonso. « Le Brésil est absent du débat international et semble ne pas parvenir à trouver un équilibre politique et les compétences techniques nécessaires en matière de politique fiscale », affirme-t-il. ■

Pour le FMI, les encouragements fiscaux visant à attirer les multinationales sont préjudiciables aux pays émergents et peu rentables

saient pas en R&D et se limitaient à incorporer, dans les pays bénéficiaires, les actifs de propriété intellectuelle dans des holdings sans activité économique réelle, ou même en rachetant des brevets de manière à obtenir des encouragements fiscaux sans promouvoir un quelconque volume supplémentaire d'investissement en matière d'innovation », explique-t-il. En 2015, l'OCDE a exigé que les pays membres appliquent uniquement le régime de *patent box* aux brevets développés par l'entreprise bénéficiaire de l'encouragement.

L'un des changements proposés par la Loi du Bien est d'éliminer la concession croissante d'encouragements fiscaux aux déposants de brevets. L'idée est que l'encouragement puisse être octroyé sans qu'un brevet ne soit nécessaire. Une autre demande en cours d'examen est de faire en sorte que l'encouragement fiscal tienne compte de l'externalisation de la R&D auprès de jeunes entreprises et de startups. L'objectif est justement de renforcer les entreprises émergentes, outre le fait de renforcer des stratégies de *corporate venture*, soit la création d'unités opérationnelles tournées vers l'innovation au sein des grandes entreprises. De nombreuses startups achetées par des entreprises consolidées se transforment ainsi en unités d'innovation.

Articles endormis

Pour étudier le processus scientifique et perfectionner les systèmes d'évaluation, des chercheurs analysent le phénomène de reconnaissance tardive d'articles novateurs

Bruno de Pierro

PUBLIÉ EN JUIN 2017

Les chercheurs qui accompagnent la production scientifique dans leur domaine savent que de bons articles n'ont pas toujours une répercussion instantanée. Il n'est pas rare que des idées innovatrices traînent un peu avant que soit assimilée leur importance – d'ailleurs, les vainqueurs du prix Nobel sont souvent récompensés pour des contributions réalisées plusieurs années auparavant, voire même des décennies. De même, il n'est pas rare que surgissent des applications basées sur des concepts déjà connus mais qui acquièrent un intérêt extemporané. Des spécialistes du domaine de la scientométrie, la branche qui étudie les aspects quantitatifs de la production de la connaissance, ont surnommé « *sleeping beauty* » ces articles qui suscitent un intérêt des années ou des décennies après avoir été diffusés. Et ils se sont mis à les étudier en tant qu'expressions du phénomène de reconnaissance tardive de la production scientifique.

Un des cas célèbres et extrêmes est celui du virologue nord-américain Francis Peyton Rous, qui a publié en 1911 un article démontrant que certains types de cancer de la peau observés chez des oiseaux étaient causés par des virus à ARN, les rétrovirus. L'importance du travail n'a été reconnue qu'en 1951, après l'isolation d'un virus de la leucémie qui montrait le lien entre les infections provoquées par ces organismes et le cancer. En 1966, Rous a été récompensé par le Prix Nobel de Médecine. Des épisodes similaires ont été analysés dans des études qui cherchent à comprendre la nature des articles « endormis » et à identifier les facteurs qui contribuent à leur réveil.

Pour le physicien Anthony Van Raan, chercheur de l'Université hollandaise de Leiden, il faut savoir que les articles endormis capables d'entraîner des changements de paradigme sont très rares, d'où la difficulté à les identifier : « Dans leur très grande majorité, les articles qui passent inaperçus continueront à passer inaperçus pour toujours tout simplement

parce qu'ils ne sont pas intéressants ». Raan est à l'origine de l'expression « *sleeping beauties* » pour se référer aux articles qui ont tardé à être reconnus malgré leur impact. Ses travaux les plus récents cherchent à identifier les éléments responsables de leur réveil et de l'intérêt qu'ils suscitent des années plus tard.

Dans un article publié en février 2017 dans la revue *Scientometrics*, Raan indique que dans le domaine de la physique 16 % des articles endormis indexés à *Web of Science* ont été réveillés après avoir été cités dans des brevets. Il a également observé que l'intervalle entre l'année de publication d'un article endormi et sa première citation dans un brevet a diminué à partir des années 1990 : « Cela peut signifier que des articles endormis ayant une importance technologique, et qui sont peut-être des inventions potentielles, sont découverts chaque fois plus tôt ». Il n'est pas inhabituel que de bons articles qui passent inaperçus présentent des concepts ou des technologies en avance sur leur temps.





En 1958, par exemple, un article décrivait une manière efficace d'obtenir de l'oxyde de graphite à grande échelle. L'étude n'a commencé à être citée qu'en 2007, quand on a découvert que l'oxyde de graphite pouvait être utilisé pour produire du graphène à l'échelle industrielle, un matériau extrêmement dur et malléable, caractérisé comme une feuille de carbone d'une épaisseur atomique et détenteur de propriétés électriques, mécaniques et optiques.

Le physicien Ado Jório de Vasconcelos, professeur de l'Université Fédérale de Minas Gerais (UFMG) a publié en 2002 un article décrivant l'application d'une technique connue comme la spectroscopie Raman pour l'identification des propriétés de nanotubes de carbones, considérés comme de bons conducteurs thermiques : « L'article n'a commencé à être cité fréquemment qu'à partir de 2010, quand la communauté scientifique s'est intéressée à l'étude de l'anomalie de Kohn, une caractéristique vibrationnelle des noyaux atomiques

qui s'accouplent aux électrons. Ce phénomène était connu sur des matériaux métalliques. Mon travail montrait déjà que c'était aussi une caractéristique des nanotubes ». En 2016, Vasconcelos a rejoint la liste des 3 000 scientifiques les « plus influents » du monde, élaborée par l'entreprise Thomson Reuters.

ÉVALUATION

Des études sur la reconnaissance tardive d'articles cherchent aussi à améliorer les systèmes d'évaluation de la science, la plupart étant basés sur des indicateurs qui privilégient l'impact à court terme. Un travail publié en avril 2017 dans *Nature* suggère que des articles scientifiques qui ont apporté des contributions transformatrices mettent en général plus de temps à percer que ceux qui ont produit des avancées incrémentales, et ce même s'ils ne s'encadrent pas dans le concept de « sleeping beauties ». Un des auteurs de l'étude, le chercheur Jian Wang de l'Université belge de Leuven a déclaré : « Nous avons observé

Connaissance latente

Exemples d'articles scientifiques qui ont seulement été reconnus longtemps après leur publication

SYSTÈMES DE PRÉVISION

Le mathématicien Charles Sanders Peirce a publié un article en 1884 dans *Science* sur la manière de mesurer avec succès des prévisions. À partir des années 2000, le travail est cité dans des études de météorologie, de médecine et d'économie



que des recherches vraiment innovantes reçoivent des citations à long terme, à partir de 7 ans après leur publication ». L'étude en a conclu que des indicateurs bibliométriques qui utilisent une période de citation de seulement trois ans sont clairement insuffisants pour évaluer des recherches dont les résultats ont besoin de temps pour être compris.

Wang et son équipe ont analysé des citations de plus de 660 000 articles publiés en 2001 dans tous les domaines de la connaissance, indexés dans la base de données *Web of Science*. Ils ont constaté que 89 % des écrits présentaient un faible degré d'innovation. Pour caractériser les articles d'innovateurs, ils ont sélectionné des travaux qui présentaient des bibliographies singulières, réunissant des auteurs et des domaines de connaissance distincts du modèle habituel adopté dans chaque domaine. Wang explique que « l'une des méthodes pour vérifier si un article recèle des idées et des concepts nouveaux, c'est de regarder sa capacité à combiner différentes références bibliographiques de façon inédite. Cette caractéristique peut souligner la nature plus risquée de la recherche ».

Sur une période de trois ans après la publication, la probabilité qu'un article très novateur soit dans les 1 % très cités est inférieure aux autres. D'après Wang, les travaux qui recevaient beaucoup de citations dès les trois premières années tendaient à devenir obsolètes : « Et ceux jugés disruptifs, avec un degré élevé de nouveauté, représentaient 60 % des travaux les plus cités 15 ans après leur publication ». Même si les agences de soutien à la recherche soulignent l'importance d'investir dans des recherches à caractère transformateur, leurs systèmes d'évaluation finissent par privilégier les études incrémentales en utilisant des indicateurs plus répandus. « L'utilisation généralisée de paramètres tel que le nombre de citations par des agences de soutien à la recherche et des réviseurs peut décourager des recherches dont le potentiel peut briser des paradigmes », affirme Wang.

L'étude cite comme exemple d'organismes qui utilisent d'une manière ou d'une autre des indicateurs bibliométriques dans leurs processus d'évaluation : le Conseil Européen de la Recherche (CER), la Fondation Nationale des Sciences Naturelles de Chine, la Fondation Nationale pour la Science



PARADOXE D'EINSTEIN

En 1935, Albert Einstein publie une étude avec deux physiciens suggérant que la théorie courante de la mécanique quantique est incomplète. L'article s'est « réveillé » dans les années 1990 et aujourd'hui il est cité près de 100 fois par an

GRAPHÈNE

Un article de 1958 de William Hummers et Richard Offeman a décrit une méthode pour obtenir de l'oxyde de graphite. Dans les années 2000, le travail a commencé à être cité dans des études sur la production de graphène, un matériau très résistant



CELLULES SOLAIRES

Un article signé par William Shockley et Hans-Joachim Queisser, en 1961, portait sur la limite de la conversion de l'énergie solaire en électricité. Dans les années 2000, après l'avancée de la recherche sur les cellules solaires, l'article est devenu une référence. Aujourd'hui, il est cité 4 000 fois



FACTEUR D'IMPACT

Le chimiste nord-américain Eugene Garfield a proposé le concept de facteur d'impact en 1955, basé sur des citations d'articles. Depuis les années 2000, l'idée est très citée dans les études en scientométrie



La communauté scientifique a du mal à accepter les idées différentes du courant dominant, dit Paulo Artaxo



des États-Unis (NSF) et la Coordination brésilienne de Perfectionnement du Personnel de Niveau Supérieur (Capes), qui a créé le système Qualis de classification de périodiques scientifiques. Rita Barradas Barata, directrice de l'évaluation à la Capes, explique que pour superviser près de 4 200 programmes de master et doctorat dans le pays, l'institution contrôle la production scientifique des professeurs et des étudiants : « Comme il est impossible de mesurer la qualité de plus de 800 000 articles publiés par les programmes, nous établissons une classification des périodiques dans lesquels sont publiés les travaux ». Pour cela, ils prennent en compte dans plusieurs disciplines des indicateurs comme le *Journal impact Factor* (JIF), considéré par Wang comme l'un des outils qui défavorisent les articles tardant à être reconnus.

Rita Barradas Barata reconnaît que les institutions se sont habituées à concentrer leur attention sur des articles très cités à court terme : « La tendance est d'orienter le regard vers ce que les indicateurs bibliométriques jugent bon pour le moment ». Selon elle, une discussion est en cours sur l'adoption par les agences et les institutions de recherche d'une politique de prospection, pour tenter d'ex-

ploiter des thèmes qui peuvent être sous-estimés. De l'avis de Wang, les agences n'auraient pas besoin de rechercher comment favoriser des chercheurs peu cités : « Il suffit de juger chaque proposition sur leur propre qualité, ce qui est difficile à faire. Des systèmes d'évaluation par des pairs sont une bonne solution face à l'utilisation excessive d'indicateurs ».

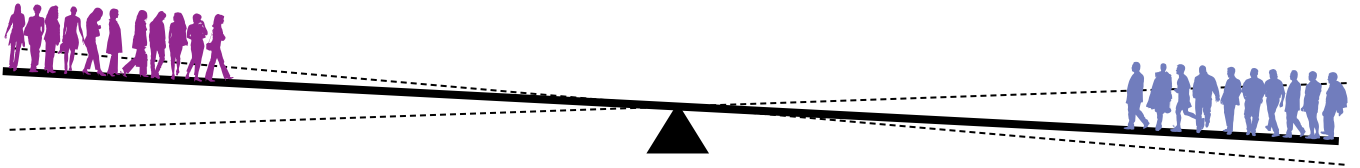
FACTEUR D'IMPACT

Dans une étude sortie en 2015 dans la revue *PNAS*, des chercheurs de l'Université d'Indiana (États-Unis) ont analysé 22 millions d'articles publiés sur une période de 100 ans et indexés aux archives de l'*American Physical Society* et de la *Web of Science*. Ils ont observé que la plupart des articles concernés par le phénomène de reconnaissance tardive relèvent de la physique, de la chimie et des statistiques. L'étude souligne que le concept de « facteur d'impact » est resté caché dans un article de 1955 publié par Eugene Garfield. Dans ce travail, Garfield (mort en février 2017) présente des idées et des concepts qui allaient être plus tard utilisées pour consolider la base de données *Web of Science*, de Thomson Reuters. « L'article est resté endormi presque 50 ans avant de devenir populaire au

début des années 2000 et d'être cité dans des travaux sur la bibliométrie, certains de Garfield lui-même » informe l'étude.

Van Raan explique que même s'il y en a plus dans les sciences exactes, les articles endormis existent dans pratiquement tous les domaines de la connaissance : « Je commence à mener des recherches dans les domaines médicaux et dans les sciences sociales, et j'espère découvrir des choses intéressantes ». Raan mise sur le développement de programmes informatiques capables d'identifier les « sleeping beauties » de la science.

Paulo Artaxo, professeur de l'Institut de Physique de l'USP, n'est pas surpris par le fait que les articles ne soient pas reconnus à leur juste valeur la première fois : « Des recherches présentant des idées très différentes du courant dominant mettent du temps à être absorbées par la communauté scientifique qui, très souvent, réagit par des préjugés face à de nouvelles idées qu'elle trouve bizarres ». Selon lui, les études qui tentent d'analyser les articles endormis peuvent jouer un rôle important : « Elles peuvent nous fournir des pistes pour comprendre pourquoi de grandes idées passent inaperçues. Il s'agit d'une opportunité pour dire aux maisons d'édition de penser à des stratégies pour rendre les articles plus visibles et lisibles, parce qu'aujourd'hui le degré de spécialisation dans les recherches est tel que même les spécialistes dans leur propre domaine ont du mal à tout comprendre ». Pour Ado Jório, « c'est à l'auteur de la recherche de faire des efforts pour diffuser ses travaux, surtout quand il sait qu'il propose quelque chose qui va à l'encontre du paradigme en vigueur : « Il ne suffit pas de publier l'article et d'espérer qu'il soit lu, compris et cité. Il faut participer à des congrès, des conférences et des débats, toujours chercher à parler de sa recherche avec ceux qui peuvent s'y intéresser ». ■



À LA RECHERCHE D'ÉQUILIBRE

Un rapport publié par l'éditeur hollandais Elsevier le 8 mars, Journée Internationale de la Femme, révèle un ensemble inédit de données comparatives sur la production scientifique d'hommes et de femmes dans 27 domaines de la connaissance. L'analyse des données de 11 pays et de l'Union Européenne indique de manière générale des progrès vers un équilibre des genres dans le domaine scientifique au cours de ces 20 dernières années. De 1996 à 2000, seul un des pays étudiés, le Portugal, possédait plus de 40 % de chercheurs de sexe féminin. De 2001 à 2015, différents membres ont rejoint ce club, comme les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Australie, le Canada, la France, le Danemark, le Brésil et l'Union Européenne.

Le rapport complet est consultable sur bit.ly/GeneroCiencia.

La proportion d'hommes et de femmes a été obtenue par l'identification et le comptage d'auteurs publiés dans des revues indexées dans la base de données Scopus de l'éditeur Elsevier qui réunit plus de 62 millions d'articles publiés dans 21 500 revues scientifiques. Ce rapport appelé « Genre dans le panorama mondial de la recherche », cite le Brésil comme étant l'un des pays ayant le plus progressé dans les indicateurs généraux. « Au Brésil et au Portugal, la proportion de femmes auteures frise les 50 % alors que le Japon affiche une très faible participation féminine dans le domaine scientifique », déclare la microbiologiste Holly Falk-Krzesinski, vice-présidente des Relations Académiques d'Elsevier

Le Brésil se distingue dans une étude menée sur les progrès de la production scientifique féminine dans différents pays

Fabrício Marques

PUBLIÉ EN AVRIL 2017

et l'une des responsables de cette étude, selon le site Inside Higher Ed. Les deux populations d'auteurs brésiliens ayant publié entre 2001 et 2015 sont pratiquement équivalentes avec 153 967 femmes et 158 873 hommes, soit une proportion respective de 49 % et 51 %. La proportion relevée entre 1996 et 2000 était de 62 % pour les hommes et 38 % pour les femmes, bien que les indicateurs des deux périodes soient difficilement comparables, le nombre de périodiques brésiliens présents dans la base Scopus à la fin du siècle dernier étant bien inférieur à celui d'aujourd'hui.

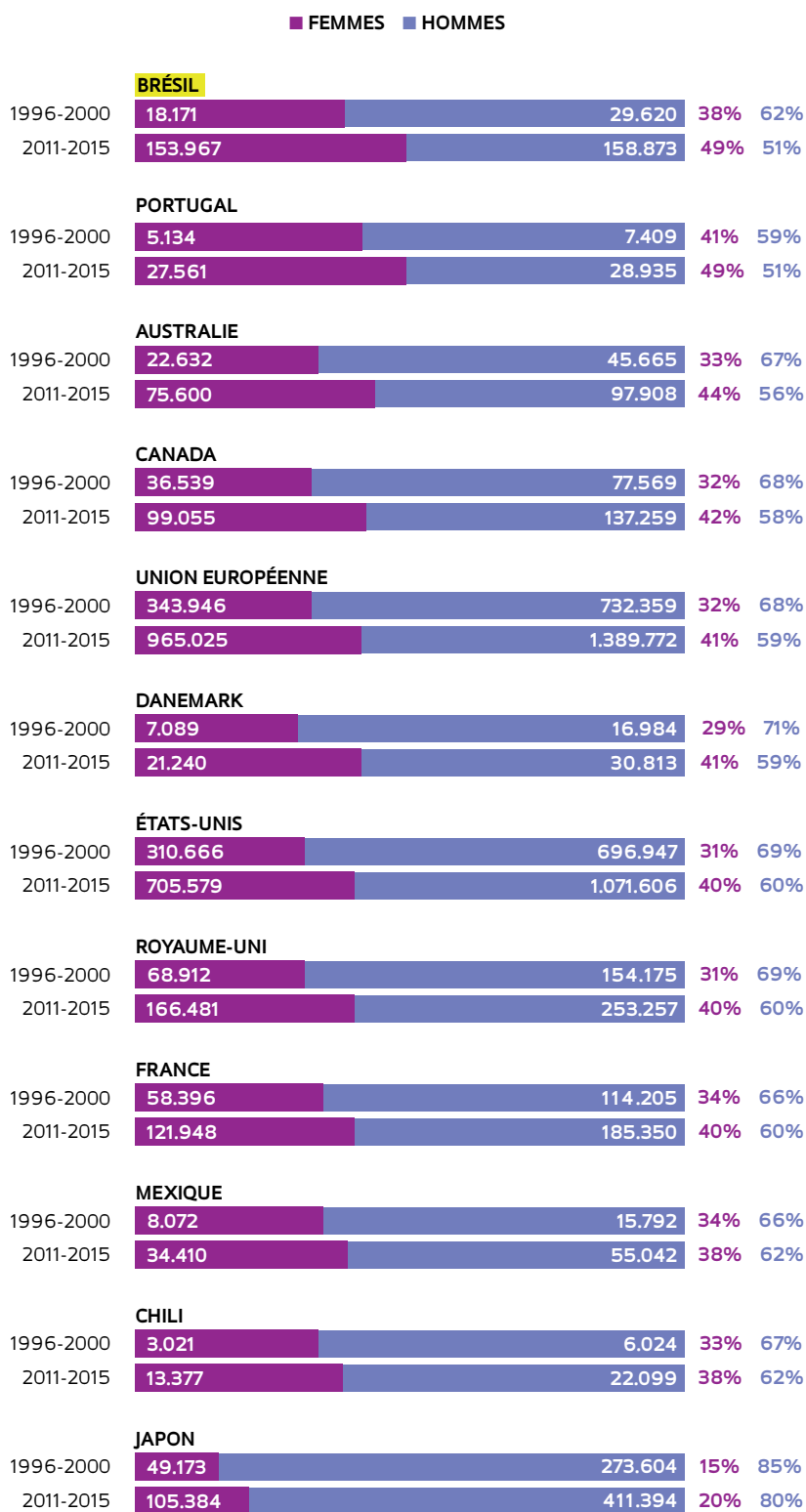
Le Brésil présente également une situation relativement équilibrée dans

un sous-groupe d'indicateurs, celui des femmes auteures d'articles scientifiques en ingénierie. Dans ce domaine, 48 % des articles ont une femme comme auteure principale ou comme auteure correspondante pour l'ensemble de la production brésilienne entre 2011 et 2015. Au Royaume-Uni ce pourcentage est de 44 %, aux États-Unis de 43 % et au Japon de 35 %. Si l'on examine la participation féminine et masculine chez les inventeurs, le déséquilibre du Brésil avec 19 % de femmes et 81 % d'hommes est moins important que celui d'autres pays et se situe juste en dessous du Portugal avec 26 % de femmes. Au Japon les femmes représentent 8 % des inventeurs et aux États-Unis 14 % (bien qu'en nombre absolu ces deux pays possèdent de 60 à 90 fois plus d'inventeurs que le Brésil). Le nombre d'inventeurs correspond aux déposants de brevets enregistrés dans la base de données de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (Wipo, en anglais).

La biologiste et scientifique de l'information Jacqueline Leta, professeure à l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ) et spécialiste des questions scientifiques de genre explique que les aspects culturels et l'organisation de l'activité scientifique au Brésil peuvent expliquer pourquoi les chercheuses brésiliennes ne semblent pas rencontrer autant d'obstacles que les chercheuses d'autres pays. « La possibilité pour une femme de confier ses tâches ménagères à quelqu'un d'autre n'est pas fréquente à l'étranger. Dans d'autres pays, il est plus difficile pour les femmes de déléguer

CHERCHEURS ET CHERCHEUSES

Évolution en nombre absolu et pourcentage d'auteurs d'articles scientifiques par sexe dans 11 pays et dans l'Union Européenne*



* Données concernant les chercheurs qui ont publié des articles et ayant leur nom et sexe déclarés sur des profils de la base Scopus ou identifiés par des logiciels

SOURCES SCOPUS, GENDERIZE, NAMSOR ET WIKIPEDIA

leurs préoccupations ménagères et familiales », affirme-t-elle. Certaines caractéristiques de la communauté scientifique brésilienne, dont l'activité se concentre principalement dans des institutions publiques, peuvent expliquer une plus grande stabilité en matière de carrière des chercheurs hommes et femmes. « Notre système est plus figé que celui d'autres nations où les activités de recherche se concentrent davantage dans l'industrie et où les liens avec les institutions sont souvent temporaires avec une plus grande mobilité des chercheurs entre les différentes institutions et pays ».

Selon la chercheuse, cette stabilité ne favorise cependant pas un partage juste en termes de postes universitaires. Il y a huit ans, elle a publié une étude qui évaluait la situation de 1 946 professeurs de l'UFRJ et a conclu qu'à l'exception du domaine littéraire, artistique et des humanités, le pourcentage de femmes impliquées dans des activités de troisième cycle est toujours inférieur à la proportion féminine de l'ensemble des professeurs. « L'UFRJ n'a jamais eu de présidente d'université. Lors des dernières élections à ce poste, il y avait deux candidates parfaitement qualifiées mais c'est un homme qui a été choisi », déclare-t-elle.

FUITE D'EAU

L'absence de femmes aux meilleurs postes est un phénomène commun à d'autres pays. Le rapport d'Elsevier s'y réfère avec l'expression « fuite d'eau », une image montrant que pour des professionnels des deux genres commençant une même carrière, une proportion plus importante de femmes l'abandonne en cours de route. Lors d'un entretien publié dans le rapport, James Stirling, directeur de l'Imperial College au Royaume-Uni, indique que 35 % de ses étudiants de premier cycle en sciences, technologie, ingénierie et mathématiques sont des femmes, mais qu'à peine 15 % des professeurs sont de sexe féminin. « Il n'y a pas assez de femmes qui choisissent ces disciplines et quand elles les choisissent elles n'atteignent pas les postes les plus élevés de la carrière » dit-il. L'Imperial College participe à un programme créé pour renforcer l'engagement des centres de recherche du Royaume-Uni vers un équilibre des genres. Il combat également les préjugés

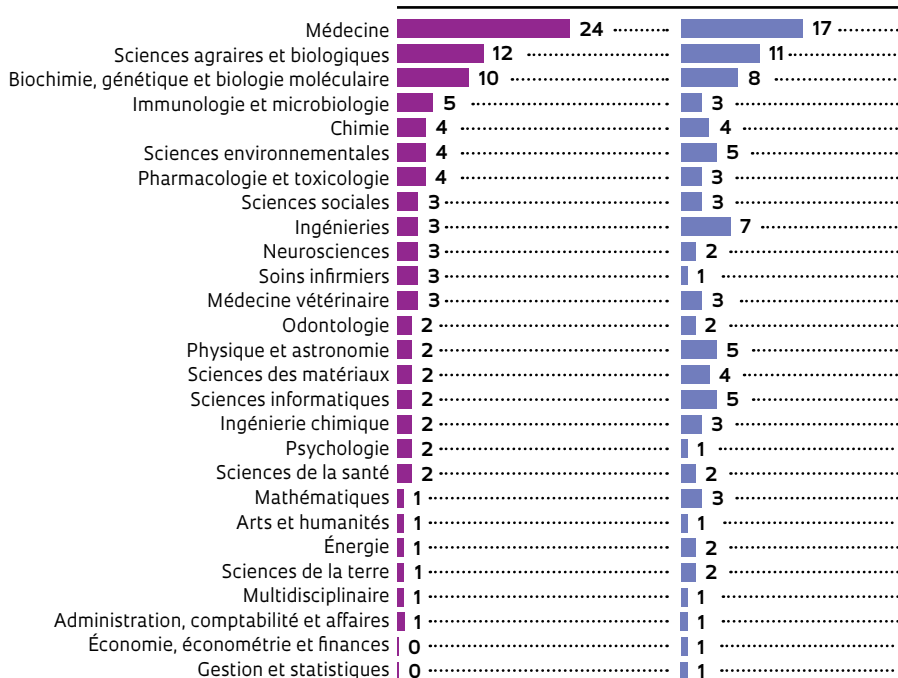
SUR L'ARBRE DE LA CONNAISSANCE

Division par genre et par domaine des auteurs d'articles scientifiques dans deux régions (en %)

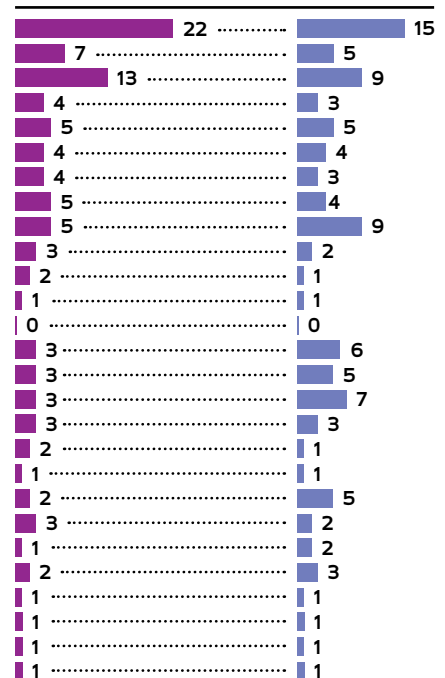
■ FEMMES ■ HOMMES

SOURCES SCOPUS, GENDERIZE, NANSOR ET WIKIPÉDIA

BRÉSIL



UNION EUROPÉENNE



dont les femmes font l'objet en termes de recrutement et de promotion dans leur carrière. « Il s'agit d'un préjugé inconscient mais qui peut être combattu grâce à des programmes de formation ».

Malgré l'atteinte d'un équilibre des genres chez les auteurs brésiliens, il n'en va pas de même quand l'étude examine chaque discipline. Dans un phénomène commun à d'autres pays, les femmes au Brésil ne représentent que 23 % des auteures en sciences informatiques, 24,8 % en mathématiques, 28,2 % en économie et 33 % en physique et astronomie. Elles sont cependant majoritaires dans d'autres secteurs comme les soins infirmiers (72,9 %), l'immunologie et la microbiologie (58 %), les neurosciences (55,8 %) et la médecine (55,4 %). Le rapport observe que les pourcentages féminins étaient plus faibles entre 1996 et 2000 par rapport à la période 2011 à 2015. En ingénierie, la proportion d'auteures brésiliennes était de 16 % durant la première période pour atteindre 29 % au cours de la deuxième. « Ce changement radical dans le temps réfute l'idée qu'il puisse exister des dif-

**LES FEMMES
PUBLIENT MOINS
QUE LES HOMMES
MAIS RIEN NE
PROUVE QUE CELA
AFFECTE LES
CITATIONS**

férences de genres dans la formation de l'intelligence avec un avantage masculin apparaissant à l'adolescence, et révèle que le problème n'est que de nature sociale et culturelle », soutient le rapport.

La sociologue Maria Teresa Citeli estime que la concentration féminine dans certains domaines s'explique facilement. « Il était commun d'entendre que la forte

participation des femmes dans certains domaines comme la biologie du développement était liée à des caractéristiques féminines comme la maternité. Le fait est que la biologie s'est développée à une époque où les femmes commençaient à accéder au marché du travail. Entrer dans un domaine qui en est à ses débuts est plus facile », explique Maria Teresa Citeli, ancienne chercheuse au Département de Politique Scientifique et Technologique de l'Université Publique de Campinas (Unicamp).

COLLABORATIONS

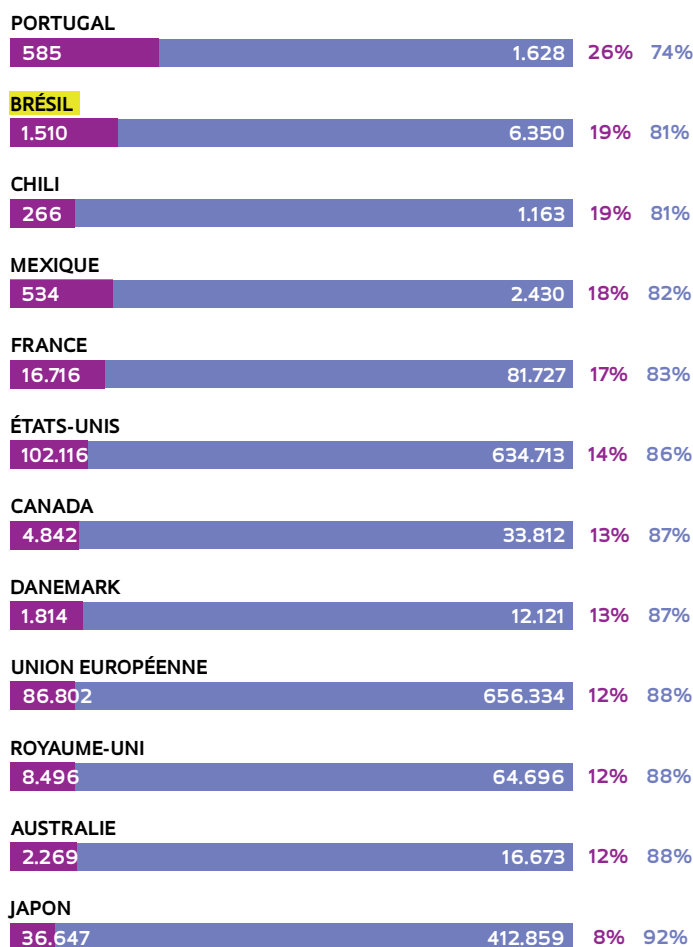
Le rapport d'Elsevier présente d'autres résultats sur les performances des femmes en sciences. Il montre que les chercheuses, de manière générale, publient moins que les hommes bien que rien ne prouve que ceci ait un impact sur les citations et les téléchargements de leurs articles. Au Brésil, la moyenne observée entre 2011 et 2015 était de 1,2 article publié chez les femmes contre 1,5 chez les hommes. Ce résultat est faible par rapport à d'autres participants. Au Danemark et en Australie la moyenne

GENRE ET INNOVATION

Proportion et nombre absolu d'inventeurs selon le sexe entre 2011 et 2015

SOURCE WIPO – OCTOBRE 2016

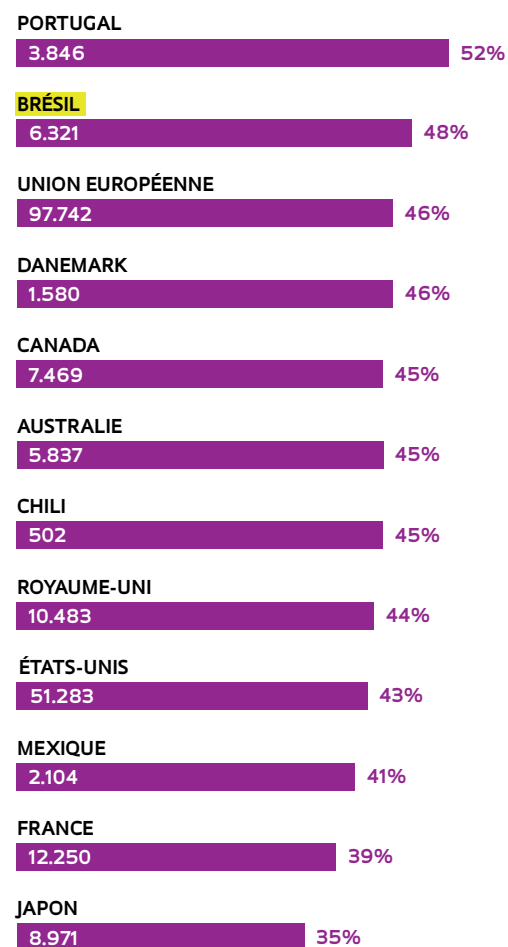
■ FEMMES ■ HOMMES



FEMMES EN INGÉNIERIE

Nombre et pourcentage d'articles dans le domaine de l'ingénierie où la première auteure et/ou auteure correspondant est de sexe féminin

SOURCES SCOPUS, GENDERIZE, NAMSOR ET WIKIPÉDIA – PÉRIODE 2011 À 2015



a été de 2,2 articles chez les femmes et 2,8 chez les hommes. L'étude indique également que les femmes ont généralement moins d'expérience professionnelle à l'étranger que les hommes et qu'elles établissent moins de collaborations scientifiques. Finalement, la production féminine a une légère tendance à se concentrer dans les domaines interdisciplinaires.

La méthodologie adoptée dans cette étude est remarquable. Généralement, dans des articles scientifiques, le prénom n'est représenté que par des initiales. La base Scopus, quant à elle, dispose d'une liste d'auteurs avec les noms complets. Comme il y avait peu d'informations disponibles sur le genre de chaque chercheur, il a fallu faire appel à d'autres

sources. Pour ce faire, ils ont utilisé les services de la banque de données Genderize qui dispose de listes concernant 79 pays avec des milliers de noms et la proportion d'hommes et de femmes ayant un prénom spécifique. On a ainsi calculé la probabilité qu'un prénom soit masculin ou féminin. Cette étude n'a pas pris en compte tous les auteurs enregistrés. Le genre d'un auteur a été attribué quand son nom apparaissait au moins à 5 reprises dans le Genderize et que la chance qu'il soit un homme ou une femme dépasse les 85 %. Une autre source d'information est le logiciel Namsor qui utilise des données sociolinguistiques pour faciliter l'identification d'un nom à partir du pays du chercheur (par exemple, un auteur prénommé Andrea

est généralement un homme en Italie et une femme dans d'autres pays).

« La plupart des études précédentes se servaient de petits échantillons ou d'études de cas en raison de la difficulté pour obtenir des données comparables émanant d'autres pays, mais Elsevier a trouvé un moyen de surmonter cet obstacle », affirme Jacqueline Leta. Teresa Citeli estime qu'il serait bon de connaître davantage cette méthodologie afin de l'incorporer prioritairement aux études sur les sciences et le genre. « Il s'agit d'une approche novatrice avec des résultats éloquentes et précis sur la présence croissante des femmes en sciences. Ces résultats ont également des conséquences politiques car ils peuvent encourager des milliers de femmes à s'intéresser aux sciences ». ■

Les

IMPACTS

de l'investissement

En temps de crise, la société prône un retour du financement public de la recherche sans tenir compte des chemins complexes et interreliés de la production scientifique

Fabrício Marques

PUBLIÉ EN AOÛT 2016

En temps de crise économique, il est fréquent que la société questionne les dépenses publiques et demande à ce que soient privilégiées des activités dont les effets seront visibles et immédiats. Les domaines où les résultats sont plus diffus ou moins palpables sont souvent vus comme non prioritaires au moment de l'attribution de moyens financiers. Quand ce système affecte le système de la recherche, pour lequel le financement dépend en grande partie (variable d'un pays à l'autre) de l'État, il se traduit fréquemment par une opposition entre recherche fondamentale et recherche appliquée, comme s'il s'agissait de concepts indépendants et pas profondément interreliés entre eux. L'investissement dans des recherches qui aboutissent rapidement à des nouveaux produits et à des technologies tend à être vu comme une priorité pour aider la société à sortir de la crise. À l'inverse, les moyens alloués à la recherche fondamentale sont parfois considérés comme une extravagance. C'est ce qu'a affirmé le républicain Ronald Reagan en 1967 alors qu'il était gouverneur de Californie : pour résoudre des problèmes budgétaires, il a proposé que les contribuables cessent de financer la « curiosité intellectuelle » dans des programmes et des cours des universités d'état : « Il y a certains luxes intellectuels dont nous pourrions très bien nous passer ». Les critiques ont plu

de toutes parts. À l'époque, le journal *The Los Angeles Times* a réagi en écrivant dans son éditorial : « Si une université n'est pas le lieu où la curiosité intellectuelle doit être encouragée et subventionnée, alors elle n'est rien ».

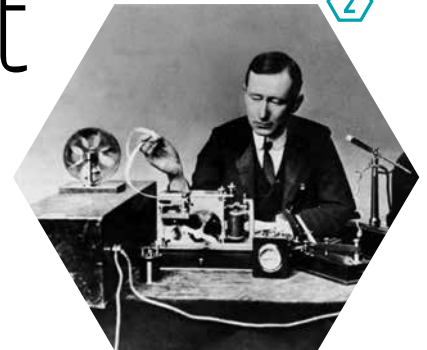
Dans la réalité de la science du XXI^e siècle, le débat demande des classifications bien plus complexes que ce que les deux catégories (recherche fondamentale et recherche appliquée) ont à offrir. D'après Graeme Reid, professeur anglais de politique de l'University Collège London et auteur du rapport *Why should the taxpayer fund science and research ?* [Pourquoi le contribuable devrait-il financer la science et la recherche ?], publié en 2014 : « Les concepts de recherche fondamentale et appliquée peuvent être utiles dans des discussions abstraites et fonctionner dans des situations spécifiques, mais elles ne sont pas adaptées pour catégoriser la science ». Pour lui, le dénominateur commun pour classer la science doit être l'« excellence », sans laquelle aucune connaissance fondamentale ou appliquée ne produit des résultats consistants.

Reid cite l'exemple de l'organisme qui finance et évalue le système universitaire d'enseignement et de recherche anglais, le Higher Education Funding Council for England (HEFCE). Le HEFCE distribue des subventions sans faire référence aux deux catégories ; ce qui compte, c'est la qualité de la re-

1



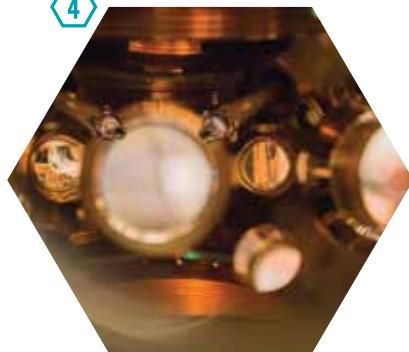
2



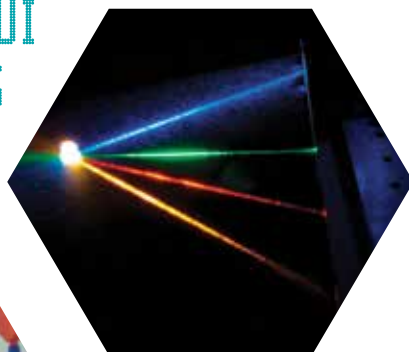
3



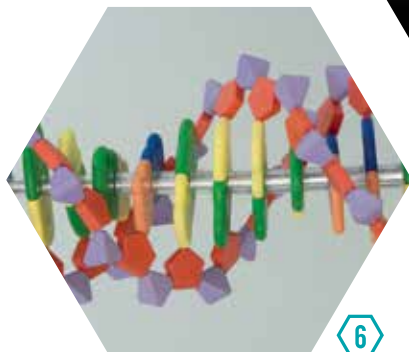
4



EXEMPLES DE RECHERCHE FONDAMENTALE QUI ONT ABOUTI À DES APPLICATIONS



5



6

cherche. Le rapport mentionne un document lancé en 2010 par le Conseil de la Science et de la Technologie lié au Premier Ministre du Royaume-Uni, intitulé *A vision for UK research*. Dans ce document, il est écrit que le point central de l'activité de recherche est sa capacité à poser des questions importantes, et que continuer à différencier un versant fondamental et un versant appliqué entraîne plus de problèmes et de divisions que de solutions. Reid observe que les bénéfices issus d'investissements dans la recherche vont très au-delà de la polarisation entre, d'un côté, les avantages de mieux comprendre les phénomènes et, de l'autre, les gains découlant du développement de technologies. À titre d'exemples, les startups créées dans les universités pour transformer rapidement la connaissance en richesse, l'attrait d'investissements globaux en recherche et développement pour des universités, les pôles d'innovation, ou encore l'offre de main-d'œuvre hautement spécialisée à des entreprises et des organisations publiques. « Le milieu de la recherche est un écosystème délicat qui offre de multiples bénéfices pour l'économie et la société tout au long de chemins complexes et reliés entre eux », déclare le professeur.

Au lieu de différencier les bénéfices de la science appliquée et de la science fondamentale, des acteurs et des institutions du milieu scientifique ont construit de nouvelles formes de clas-

1 DES GRADIENTS AUX EXAMENS DE RÉSONANCE

En 1954, les physiciens nord-américains Hermann Carr (1924-2008) et Edward Purcell (1912-1997) ont décrit l'utilisation de gradients de champ magnétique pour relier des fréquences de résonance magnétique nucléaire à des positions spatiales. Les précurseurs de la résonance magnétique ne savaient pas que leur travail créerait une technologie de diagnostic par image largement utilisée en médecine.

2 DES ÉQUATIONS DE MAXWELL À LA RADIO DE MARCONI

Le développement d'un dispositif de réception dénommé cohéreur a permis à l'Italien Guglielmo Marconi (1874-1937) d'inventer la radio. Toutefois, la découverte de Marconi n'aurait pas eu lieu sans les contributions du physicien et mathématicien écossais James Clerk Maxwell (1831-1879), dont les équations abstraites ont suscité des études dans le domaine du magnétisme et de l'électricité, et du physicien Heinrich Hertz (1857-1894), qui a démontré plus tard l'existence de la radiation électromagnétique.

3 DE LA MAGNÉTORÉSISTANCE À LA MINIATURISATION DES DISQUES DURS

En 1988, le physicien allemand Peter Grünberg et le Français Albert Fert ont découvert la magnétorésistance géante (GMR), un effet quantique observé sur des films minces composés de couches alternées de métal ferromagnétique et non magnétique. La découverte a rendu possible une miniaturisation radicale des disques durs, une augmentation de leur capacité à stocker des données et, par voie de conséquence, une popularisation des micro-ordinateurs et des appareils mp3.

4 DE L'HORLOGE ATOMIQUE AU GPS

Pour tester la théorie générale de la relativité d'Einstein et calculer si le temps est plus lent sous l'action d'un champ gravitationnel intense, des physiciens ont proposé de mettre des horloges atomiques ultra-précises en orbite à bord de satellites artificiels. Cette recherche a conduit le physicien Daniel Kleppner, du MIT, à créer dans les années 1950 un nouveau type d'horloge atomique qui a joué un rôle important dans le développement du système de géolocalisation GPS.

5 DU PREMIER LASER À LA COMMUNICATION PAR FIBRES OPTIQUES

Le premier laser a été construit en 1960 par le physicien nord-américain Theodore Maiman (1927-2007). Sa conception est venue de la physique atomique, en particulier des effets de l'émission stimulée prévue par Einstein. Avec le développement de lasers à gaz, ces sources de lumière ont permis des études en holographie et interférométrie. Les applications les plus importantes sont apparues avec le développement de lasers à état solide et de leur utilisation dans la communication par fibres optiques. Aujourd'hui ils sont utilisés en médecine, dans des équipements électroniques et dans la technologie de numérisation et impression.

6 DE LA STRUCTURE DE L'ADN À L'INDUSTRIE DE LA BIOTECHNOLOGIE

En 1953, l'Anglais Francis Crick (1916-2004) et le Nord-américain James Watson (1928) ont découvert la structure moléculaire de l'acide désoxyribonucléique, l'ADN, et révélé les fondements de l'héritage génétique et de la production de protéines. Le travail, qui cherchait à élargir la compréhension de la nature, a lancé les bases de l'ingénierie génétique, mené au développement d'examen diagnostics et à de nouveaux traitements, et créé l'industrie milliardaire de biotechnologie.

L'équilibre de chaque pays

Destination des financements publics en R & D selon l'étude de l'Université de Sussex, Royaume-Uni

ÉTATS-UNIS

Les investissements du budget fédéral dans la défense sont passés de 57,7 % (du total) en 2007 à 53 % en 2013. À l'inverse, les moyens alloués aux recherches dans le domaine de la santé sont passés de 21,9 à 24,3 %. Un tiers des investissements en R & D va à la recherche fondamentale

UNION EUROPÉENNE

Avec un budget de 80 milliards d'euros pour la période 2014-2020, le programme Horizon 2020 investit dans trois piliers à parts égales : les projets en science fondamentale, les recherches visant la primauté industrielle et la solution de grands défis sociétaux

NORVÈGE

La recherche fondamentale reçoit 40 % des investissements publics en R & D, la recherche appliquée et le développement, 60 %. Les universités reçoivent 60 % des ressources et les instituts de recherche, 40 %

DANEMARK

Les universités reçoivent 90 % des investissements publics en R & D. Sur le total des ressources, 44 % sont investis dans la recherche fondamentale et 56 % dans la recherche appliquée et le développement

CHINE

La recherche appliquée reçoit 73 % des investissements du gouvernement central en R & D. La recherche fondamentale ne reçoit que 22 %

INDE

¼ des investissements du gouvernement central en R & D sont pour la recherche appliquée et les nouveaux produits, ¼ seulement pour la recherche fondamentale. Les moyens alloués à la défense étaient de 24,5 % du total en 2010, suivi de l'agriculture avec 17,7 %.

SOURCE COMPARATIVE STUDY ON RESEARCH POLICY – SPRU / UNIVERSITÉ DE SUSSEX, OCTOBRE 2015

sification des objectifs de la recherche, qui tournent autour d'un concept-clé : l'impact de l'investissement. Carlos Henrique de Brito Cruz, directeur scientifique de la FAPESP, déclare dans le chapitre du livre *University priorities and constraints* (Economica, 2016) – un ouvrage qui réunit les contributions de 23 *leaders* d'universités de recherche, présenté en juin 2015 au forum Glion Colloquium, en Suisse : « la notion d'impact est un concept très vaste et possède plusieurs dimensions, comme le social, l'économique et l'intellectuel ». Il existe des recherches qui bénéficient la société parce qu'elles inspirent ou soutiennent des politiques publiques dans pratiquement toutes les sphères. Un exemple général est celui de la contribution de plusieurs disciplines à la compréhension de phénomènes liés au climat. Un autre, plus spécifique, est le rôle des résultats du programme Biota-FAPESP dans l'activité législative. Créé en 1999 pour cartographier la biodiversité de l'état de São Paulo, le programme a produit des connaissances diffusées sous la forme d'articles scientifiques, de livres, d'atlas et de cartes, qui ont servi de référence à l'instauration de 6 décrets gouvernementaux et 13 résolutions sur l'environnement.

Dans une étude de 2005 financée par le Département de Recherche, Science et Technologie du Québec, les politologues Benoît Godin et Christian Doré ont recensé les différents types d'impact

produits par la recherche et établi une liste de 11 items. Certains sont notoires, comme les impacts scientifique, technologique et économique. D'autres sont moins étudiés, comme l'impact culturel, perçu en tant que transformations des habiletés et des attitudes des individus grâce à une compréhension élargie des phénomènes de la nature ; ou l'impact organisationnel, quand de nouvelles connaissances aident à perfectionner la gestion (cf plus loin, *Les types d'impact de la science*). « Si l'impact économique ne doit pas être négligé, il représente une partie d'un tout qui s'étend aux sphères sociale, culturelle et organisationnelle de la société », ont affirmé Godin et Doré.

LA SCIENCE POUR LA SCIENCE

Un grand vilain dans ces discussions est ladite recherche menée par curiosité, équivoquement comprise comme synonyme de la recherche fondamentale. Il s'agit en vérité de celle où le scientifique choisit le thème sur lequel il va travailler – au lieu d'être invité à étudier un domaine ou un problème donnés – qui peut avoir un caractère abstrait, appliqué ou même les deux. Même si ce n'est pas intentionnel, ce versant a déjà fourni des contributions importantes dans des domaines tels que les lasers, la physique atomique et la biotechnologie. Un cas classique a eu lieu en 1983, quand deux équipes de chercheurs de pays différent

ont découvert qu'un rétrovirus (postérieurement baptisé « VIH ») était responsable d'une nouvelle maladie, le syndrome d'immunodéficience acquise (Sida). Les équipes du nord-américain Robert Gallo et du français Luc Montagnier ont réussi après des années d'une recherche qui a vu le jour grâce à la curiosité de scientifiques, car personne n'imaginait que ce rétrovirus avait de l'importance pour la santé humaine.

La recherche ayant un impact intellectuel peut aussi avoir des impacts économiques ou sociaux, mais une partie servira exclusivement à amplifier la connaissance, sans retour tangible immédiat. Dans une interview publiée sur le site de Harvard Medical School, le biochimiste Stephen Buratowski a déclaré : « Une recherche fondamentale n'atteint pas toujours un point final [...] Beaucoup de sujets étudiés à partir de la curiosité des scientifiques cherchent à répondre à des questions fondamentales de la biologie. Leur compréhension permet d'aller de l'avant et d'affronter des problèmes cliniques concrets ». Buratowski est professeur de l'Université Harvard et son laboratoire étudie les mécanismes d'expression des gènes dans des cellules eucaryotes.

Un exemple de la nouvelle catégorie de production de connaissance fortement basée sur la recherche suscitée par la curiosité est la « recherche transformative », avec des idées et des décou-

vertes qui sont susceptibles de changer radicalement la compréhension de certains concepts scientifiques et créer de nouveaux paradigmes. Le terme a été adopté au cours de la deuxième moitié de la décennie antérieure par la National Science Foundation (NSF), principale agence nord-américaine de soutien de la recherche fondamentale, et par l'Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC), du Royaume-Uni. Il définit la recherche créative et à haut risque, mais aussi celle capable d'aboutir à des technologies radicalement nouvelles – avec des possibilités de résultat fabuleux. Mais pour atteindre ces résultats, il ne faut pas oublier que des idées vraiment révolutionnaires peuvent demander un temps de développement long et parfois de grands investissements, sans pour autant présenter les résultats désirés à la fin. La science, c'est aussi cela.

La difficulté à comprendre ces limitations de la science entraîne souvent des tensions. En février 2016, la Chambre des représentants des États-Unis a approuvé un projet de loi qui propose de modifier le processus d'évaluation de la NSF. Le texte qui doit encore être voté par le Sénat exige que tout projet de recherche soumis à la NSF soit accompagné d'une justification montrant qu'il « promet le progrès de la science aux États-Unis » et qu'il répond à « l'intérêt national ». John Holdren, le directeur du bureau de Politique Scientifique et Technologique de la Maison Blanche est opposé au texte : « plusieurs critères mentionnés pour déterminer si un projet est d'intérêt national ne s'appliquent pas à la recherche fondamentale. [...] Les auteurs de la loi veulent savoir si la recherche va augmenter la compétitivité de l'économie, améliorer la santé et le bien-être, consolider la défense nationale. Tout cela est lié à la recherche appliquée. Ils ne comprennent donc pas que la recherche fondamentale concerne la quête de la compréhension scientifique sans anticiper aucun bénéfice particulier ? ». Ce type de pression au parlement n'est pas nouveau pour la NSF. En 2013, l'agence a suspendu la sélection annuelle de projets en science politique après que le Congrès ait approuvé une loi l'empêchant de financer des recherches dans ce domaine de connaissance parce que rien ne garantissait des bénéfices pour la

sécurité nationale, ni un intérêt économique. Lors des négociations sur le budget, le sénateur républicain Tom Coburn a parlé de « gaspillage de ressources fédérales en projets de science politique ».

CONNAISSANCE ET DÉVELOPPEMENT

La discussion sur l'investissement public dans la recherche a lieu depuis que plusieurs pays ont décidé de structurer les systèmes publics nationaux de science et de technologie. Cela s'est produit après la Deuxième Guerre mondiale, quand l'application d'une série de développements scientifiques (comme le radar et le plastique) et l'expansion de la science de la nutrition ont connu un grand impact et renforcé l'idée que la connaissance conduit au développement, justifiant ainsi le financement étatique. Le modèle qui établit que c'est à l'État de soutenir la recherche appliquée et fondamentale a été dessiné par l'ingénieur nord-américain Vannevar Bush, qui a dirigé l'US Office of Scientific Research and Development (OSRD), organisme du gouvernement nord-américain par lequel pratiquement tous les efforts de R & D ont été effectués pendant la guerre. Sur commande du gouvernement, Bush

a produit en 1945 un document intitulé *Science, the endless frontier* [Science, la frontière sans fin]. Il propose que la recherche fondamentale soit réalisée sans penser à des finalités pratiques. Cette connaissance générale permettrait de faire face à un grand nombre de problèmes pratiques importants, même si elle ne fournit aucune réponse spécifique – ce serait à la recherche appliquée de trouver des solutions. Selon Bush, « pour le gouvernement, la manière la plus simple et la plus efficace de consolider la recherche entrepreneuriale est d'appuyer la recherche fondamentale et de développer des talents scientifiques ».

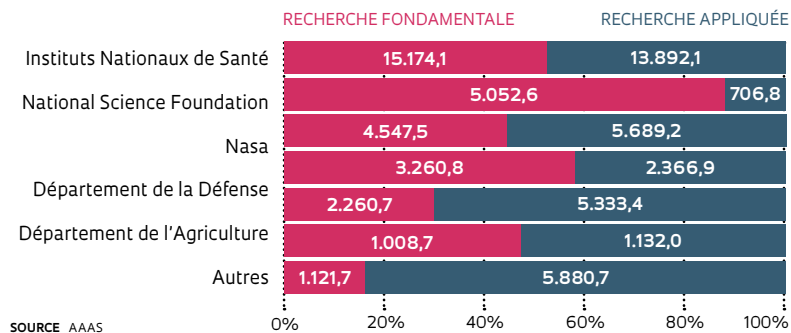
Dans un article publié en 2014 dans la *Revista Brasileira de Inovação* [Revue Brésilienne d'Innovation], Carlos Henrique de Brito Cruz rappelle que Bush jugeait insuffisant le volume de recherche fondamentale produit aux États-Unis à l'époque. En conséquence, beaucoup d'applications développées dans le pays se basaient sur la connaissance fondamentale originaire d'universités européennes. Brito Cruz écrit que le rapport a suscité aux États-Unis des réactions curieuses : « Le *New York Times* a reproché au rapport de proposer peu d'engagement gouvernemental de soutien à la recherche ; le *Wall Street Journal* a estimé que l'industrie ne pourrait faire tout ce qui était proposé qu'en échange d'une réduction d'impôts via une fiscalité incitative. Et le directeur du Bureau des Budgets du gouvernement, Harold Smith, a jugé inadéquate la défense de la liberté de recherche avec des ressources publiques. Sur le ton de la plaisanterie,

En 1967, beaucoup de voix se sont élevées contre le gouverneur de Californie, Ronald Reagan, et son projet de supprimer 64 millions US\$ du budget des universités publiques : pour lui, financer la « curiosité intellectuelle » n'était pas nécessaire.

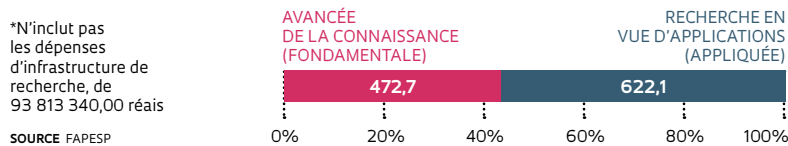


La distribution des budgets

Montants (en millions US\$) et pourcentage des budgets des agences de soutien à la recherche des USA pour la recherche fondamentale et la recherche appliquée pendant l'année fiscale 2015



Versement de la FAPESP en soutien à la recherche, en 2015, en millions de réais*



il a proposé de changer le titre du rapport par 'Science, la dépense sans fin' ».

De l'avis de la politologue Elizabeth Balbachevsky de la Faculté de Philosophie, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de São Paulo (FFLCH-USP), « Bush a défendu la liberté de recherche et l'investissement dans la science détaché de tout type d'intérêt sur des applications ». Il voyait la science comme une source inépuisable de connaissance et de développements à l'origine d'innovations. Le document a inspiré la création de la NSF en 1950 et servi de fondement à la formation d'agences de soutien à la recherche de plusieurs pays (dont le Brésil) souhaitant concevoir leurs systèmes de science et de technologies.

Ce système a fonctionné sans grandes difficultés jusqu'aux années 1970, quand le monde a connu sa première crise économique d'après-guerre. Si les premiers touchés ont été les principaux pays développés, ils ont entraîné avec eux beaucoup de pays en voie de développement. Les gouvernements ont commencé à exiger un résultat plus rapide des investissements publics dans le domaine scientifique. « Le coût chaque fois plus élevé de la recherche a aussi fait pression sur les budgets des gouvernements et des agences de soutien à la recherche, et contribué à rechercher

un impact et un résultat à court terme », explique Brito Cruz. D'après les données du Tufts Center for the Study of Drug Development, les coûts des tests précliniques et cliniques de nouveaux médicaments ont augmenté 15 fois entre les années 1970 et 2010 – rien que la dernière décennie, l'augmentation a été de 145 %. En même temps, on a cherché à augmenter et à mieux comprendre les interactions entre les universités, les entreprises et le gouvernement. Toujours selon Brito Cruz, « le boom des startups à partir des années 1980 a montré clairement aux contribuables et à leurs représentants qu'il y avait là une grande opportunité à exploiter : créer de la richesse à partir de la connaissance beaucoup plus vite qu'avant ».

En 1980 est entré en vigueur le Bayh-Dole Act, la législation nord-américaine sur la propriété intellectuelle en lien avec la recherche financée par le gouvernement. Jusqu'alors, le gouvernement n'avait pas de politique unifiée sur les brevets. Des accords de financement de recherche signés entre les agences gouvernementales et des institutions de recherche, des entreprises ou des organisations sans buts lucratifs se sont vus inclure des clauses qui autorisaient ces dernières à breveter elles-mêmes leurs inventions. Une dimension importante

de la nouvelle législation fut l'augmentation des résultats de recherche brevetables, qui ont inclus des connaissances et des méthodes non directement associées à une application.

Des partenariats entre universités et entreprises, programmes de soutien à la recherche dans des petites entreprises et brevetage de la propriété intellectuelle produite par des chercheurs sont devenus la cible des agences de soutien, des universités et des institutions de recherche. L'un des résultats de l'intensité des échanges entre les universités et les entreprises est la participation relative de l'industrie au financement à la recherche. Aux États-Unis, ce taux a oscillé entre 5 et 7 % au cours des dernières années. Dans la plupart des pays de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), la participation du secteur privé au financement de la recherche des universités varie de 2 à 10 %. Un point fort de la courbe est l'Allemagne, avec un taux de 14 %.

Les échanges sont généralement à double sens. Les industries font appel aux universités pour partager les risques de recherche, avoir accès à des scientifiques qualifiés, à des installations appropriées et à des groupes de chercheurs et d'étudiants qui peuvent consolider leur corpus de recherche. Les universités tendent à percevoir ces collaborations comme l'occasion de capter des ressources pour la recherche et de relever des défis scientifiques et technologiques rencontrés par les forces productives. D'après Carlos Américo Pacheco, professeur de l'Institut d'Économie de l'Unicamp, l'expérience internationale montre que la production de brevets dans les universités et le brevetage de propriété intellectuelle pour les entreprises occupent un rôle important mais complémentaire, et ce dans l'intérêt des entreprises : « Les sources d'information pour l'innovation technologique des entreprises sont plus basées sur leur chaîne de fournisseurs et de clients que sur les universités. C'est avec la science que les entreprises viabilisent leurs efforts de développement, mais elles s'organisent plus par rapport à ce que demande le marché que par rapport à ce qu'une université peut offrir ». La création de startups serait un mécanisme plus sophistiqué et plus efficace pour rapprocher l'université du secteur

privé. « Cela a renforcé certains pôles régionaux de compétitivité autour des universités, qui ont attiré des laboratoires d'entreprises et des investisseurs et sont ainsi devenus un microcosme stimulant », explique Pacheco qui a été secrétaire exécutif du Ministère de la Science et de la Technologie entre 1999 et 2002.

LE QUADRANT DE PASTEUR

Le débat sur la différenciation entre science fondamentale et appliquée a connu un tournant avec la publication du livre du politologue Donald Stokes de l'Université de Princeton, *Pasteur's Quadrant : Basic science and technological innovation* (1997). Stokes y propose une nouvelle classification. En plus des recherches fondamentales (à l'exemple des travaux du physicien danois Niels Bohr sur la structure atomique et la physique quantique dans la première moi-

tié du XX^e siècle) et des recherches de développement technologique (symbolisées par l'éclairage électrique de Thomas Edison), Stokes a mis en évidence une autre catégorie : celles qui peuvent contribuer à l'avancée de la connaissance et qui présentent dans le même temps des perspectives d'application pratique de grand impact. Un des exemples de cette catégorie sont les études du français Louis Pasteur dans le domaine de la microbiologie, qui ont d'ailleurs inspiré le titre du livre. Elles ont à la fois fait avancer la connaissance et donné lieu à des bénéfices économiques.

Pour Balbachevsky, « Stokes a montré que le modèle de Vannevar Bush n'a pas fonctionné aux États-Unis de la même manière que dans d'autres pays, car le gouvernement nord-américain investissait beaucoup dans des domaines fondamentaux mais qui cherchaient

à répondre à des questions pratiques à moyen et long terme. [...] C'est le cas des agences comme les Instituts nationaux de santé, qui détiennent plus de ressources que la NSF, ou le Département de la défense ». Les États-Unis ont toujours maintenu un système dual qui prend en compte et l'avancée de la connaissance, et les applications. L'idée selon laquelle ce type d'investissement a multiplié la capacité d'innovation américaine a mobilisé l'Europe dans les années 1990 : « Les pays européens avaient suivi le modèle de Bush et produit une science de grande qualité, mais ils n'ont pas développé la même interface avec le secteur productif ». Cette tentative de lien avec le secteur productif est désormais perceptible depuis les deux dernières décennies : « Aujourd'hui, dans la Communauté européenne, pratiquement tous les programmes cherchent à former des

Les types d'impact de la science

Une recherche menée au Canada a recensé 11 types d'impacts issus de la production de la connaissance. Des entretiens ont été réalisés avec des chercheurs et des organisations bénéficiant de la connaissance scientifique

IMPACT SCIENTIFIQUE

Quand les résultats de la recherche font avancer la connaissance, produisent de nouveaux modèles et théories, développent des domaines et des disciplines

IMPACT POLITIQUE

Les conséquences de nouvelles connaissances scientifiques dans le domaine de la législation, de la jurisprudence et de l'éthique, dans la formulation de politiques publiques ou dans la mobilisation des citoyens

IMPACT ORGANISATIONNEL

L'influence des résultats de la recherche sur la gestion d'entreprises et d'institutions, sur l'organisation du travail et les ressources humaines

IMPACT TECHNOLOGIQUE

Innovations dans des produits, des services et des processus, développement de compétences techniques produites par des activités scientifiques

IMPACT ÉCONOMIQUE

Impacts qui génèrent de la recherche, à l'exemple de la commercialisation d'innovations, du résultat sur investissement de professionnels qualifiés ou du développement de nouveaux marchés

IMPACT SUR LA SANTÉ

Les conséquences de la recherche sur l'augmentation de la durée de vie des personnes et sur la prévention et le traitement de maladies, ou sur la réduction des dépenses du système de santé

IMPACT CULTUREL

Transformations des habiletés et des attitudes des individus grâce à la compréhension élargie des phénomènes de la nature et à l'utilisation de nouvelles technologies

IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Recherches qui aident à la conservation de la biodiversité et à la gestion de la pollution,

ou qui permettent de mieux comprendre les phénomènes climatiques

IMPACT SYMBOLIQUE

Les entreprises bénéficient de davantage de crédibilité quand elles investissent dans la recherche et le développement, et quand elles s'associent à des chercheurs universitaires dans des projets d'intérêt commun

IMPACT SOCIAL

Quand les résultats de la recherche améliorent le bien-être et la qualité de vie d'individus ou changent des anciennes conceptions et des discours de la population

IMPACT ÉDUCATIF

Création de nouveaux programmes scolaires et outils pédagogiques dans les universités, mais aussi gain de compétences des étudiants quand ils mènent des recherches ou répondent à des demandes du marché du travail

SOURCE MEASURING THE IMPACTS OF SCIENCE : BEYOND THE ECONOMIC DIMENSION, DE BENOÎT GODIN ET CHRISTIAN DORÉ

réseaux dans lesquels gouvernements et entreprises entrent avec une partie des ressources », indique Balbachevsky.

Dans le cadre d'Horizon 2020, le principal programme scientifique de l'Union Européenne dont le budget est de 80 milliards d'euros pour 2014-2020, les financements sont divisés en trois parties. L'une d'elles est la recherche fondamentale, elle finance des projets dont le moteur principal est la curiosité et des thèmes qui vont servir de base à de nouvelles technologies. La deuxième est la recherche en entreprises, qui met des moyens à la disposition des petites, moyennes et grandes entreprises, y compris dans des programmes où le retour sur investissement est jugé à haut risque. La troisième est la recherche qui tente de relever les « défis de la société » à travers des topiques interdisciplinaires comme le vieillissement de la population, l'efficacité énergétique et la sécurité alimentaire.

La notion de défi sociétal est devenue omniprésente dans le budget Recherche de beaucoup de pays, comme l'a montré un rapport diffusé en octobre 2015 par un groupe de chercheurs de l'Unité de Recherche en Politique Scientifique de l'Université anglaise de Sussex. Le travail a comparé l'investissement public en R & D dans des pays nordiques (Suède, Norvège, Danemark et Finlande) avec celui de certains pays du BRIC (Brésil, Inde et Chine) et les États-Unis. Il a montré que cette catégorie était mise en avant dans les stratégies de toutes les nations étu-

diées, avec des investissements dans des domaines tels que l'énergie, le climat et la santé. Seuls les États-Unis ne suivent pas cette direction, avec de fortes dotations gouvernementales en R & D dans le domaine de la défense (53 % du total en 2013) ; le domaine de la santé arrive à la deuxième place, avec 24,3 % du total. La recherche en a conclu qu'il n'existait pas de norme sur le taux idéal d'investissement dans les recherches fondamentale et appliquée. Les pays nordiques ont tendance à dépenser près de 40 % des ressources publiques en science dans la recherche fondamentale. La Chine et l'Inde beaucoup moins, de l'ordre de 20 à 25 %. L'étude n'a pas trouvé de données solides sur la répartition des investissements au Brésil.

ÉTAT ENTREPRENEUR

En fin de compte, l'État doit-il ou non investir dans la recherche ? Pour l'économiste italienne Mariana Mazzucato, professeure de l'Université de Sussex, l'investissement public dans la science exerce un rôle essentiel dans la production de connaissances, surtout quand ce processus implique des coûts et des risques élevés, qui sont évités par les entreprises. C'est un des sujets principaux de son livre *The entrepreneurial State [L'État entrepreneur]* (2014). Même dans des domaines très innovants, comme le domaine pharmaceutique, les énergies renouvelables ou la technologie de l'information, le secteur privé entre dans le jeu seule-

ment après que le secteur public a investi considérablement dans des étapes de la recherche où les résultats sont totalement incertains : « Dans la biotechnologie, la nanotechnologie et Internet, le capital risque est arrivé 15 à 20 ans après que les investissements les plus importants ont été faits avec des ressources du secteur public. [...] L'État est derrière la majorité des révolutions technologiques et des longues périodes de croissance. C'est pour cette raison qu'un 'État entrepreneur' est nécessaire pour assumer le risque et créer une nouvelle vision au lieu de simplement corriger les failles du marché ». Dans ses conférences, Mazzucato cite l'exemple des smartphones pour montrer qu'une bonne partie de la technologie qu'ils contiennent a dépendu d'investissements publics, notamment du Département de défense des États-Unis, à un moment où on n'imaginait pas la portée qu'auraient Internet, le système de navigation GPS et l'écran tactile.

La promotion de l'investissement public dans la recherche fondamentale a récemment reçu le soutien du pays qui investit le plus en R & D en termes relatifs – l'équivalent de 4 % de son produit Intérieur Brut – et qui, traditionnellement, dépense moins de 20 % de ce total en recherche fondamentale : la Corée du Sud. La stratégie qui a construit le développement de son économie, basée sur le perfectionnement et la baisse de prix de technologies créées dans d'autres pays, s'est tournée vers la recherche fondamentale. Dans la ville de Daejeon est réalisée une expérimentation chargée de détecter l'existence de l'axion, une particule qui composerait hypothétiquement la matière noire, qui est invisible mais forme une bonne partie de l'Univers. Il s'agit d'une initiative à haut risque, qui symbolise l'intention du pays de devenir un *leader* dans le domaine de la recherche fondamentale. Si le projet – qui coûte 7,6 millions US\$ par an au pays – réussit, il pourrait donner à la Corée du Sud le très convoité prix Nobel. En mai 2016, le président sud-coréen Park Geun-hye a annoncé une augmentation de 36 % du niveau de financement de la recherche fondamentale dans le pays. D'après la revue *Nature*, il a déclaré : « La recherche fondamentale commence par la curiosité intellectuelle de scientifiques et de techniciens, mais elle peut devenir une source de nouvelles technologies et industries ».

Les fonctions de la recherche

D'après les définitions de la National Science Foundation



RECHERCHE FONDAMENTALE

Étude systématique tournée vers la connaissance ou la compréhension plus approfondies d'aspects fondamentaux de phénomènes et de faits observables, sans envisager des applications spécifiques pour des processus ou des produits



RECHERCHE APPLIQUÉE

Étude systématique visant à atteindre la connaissance ou la compréhension nécessaires pour déterminer les moyens par lesquels un besoin spécifique et reconnu peut être satisfait

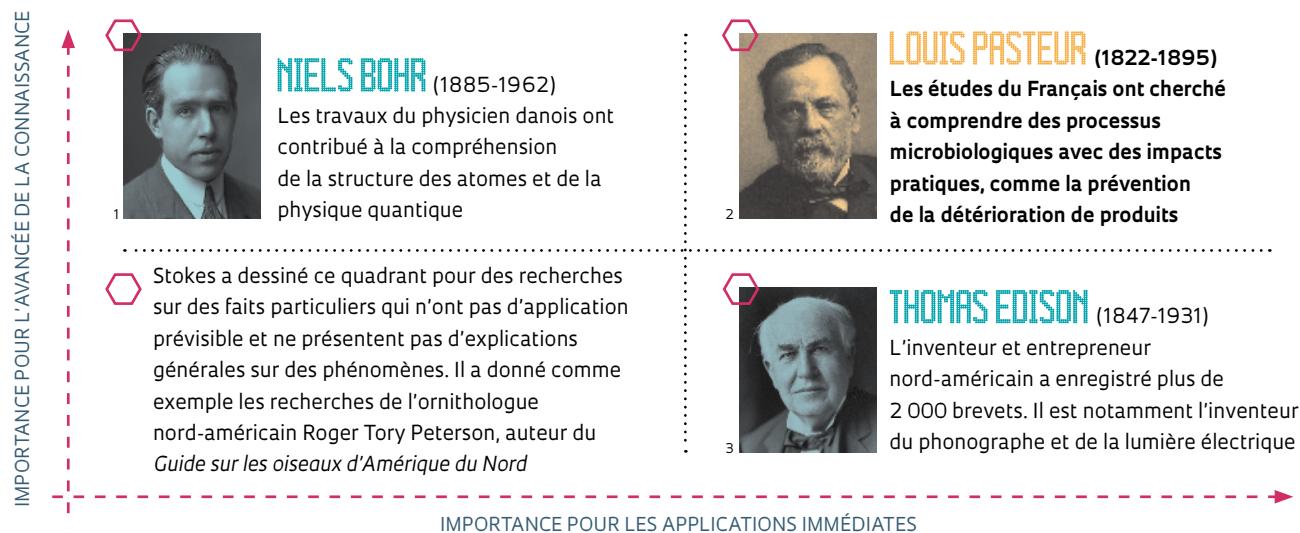


DÉVELOPPEMENT

Utilisation systématique de connaissance ou de compréhension obtenues grâce à la recherche pour la production de matériaux, dispositifs et systèmes ou méthodes utiles, y compris le dessin et le développement de prototypes et de nouveaux processus. Cela exclut le contrôle de qualité, les tests routiniers de produits et la production

Le quadrant de Pasteur

Au-delà des limites des sciences fondamentale et appliquée, la classification de projets de recherche du politologue Donald Stokes propose 4 quadrants



Si tous sont d'accord sur le fait que l'État doit investir dans une recherche aussi bien pour les résultats tangibles que pour les résultats intangibles, la discussion persiste sur la distribution des ressources disponibles pour répondre aux attentes de la société à court et à long terme. Les questions qui se posent aux politiciens et aux administrateurs du système public en science et technologie sont de décider combien donner à chaque catégorie de recherche et savoir jusqu'à quel point ils peuvent interférer pour décider de l'objet de la recherche. La quête d'équilibre est importante pour que les institutions publiques de recherche parviennent à obtenir des résultats qui ont des conséquences sur la société et produisent en parallèle un stock consistant de recherche fondamentale. Quand tout le monde se place du même côté, le bateau finit par couler, observe Francis Collins, président des Instituts nationaux de la santé ; il défend (dans un article de la revue *Science* de 2012) l'importance de la préservation des dépenses de l'agence en recherche fondamentale. Mais les chercheurs doivent aussi montrer constamment à la société ce qu'ils font et les impacts obtenus par la connaissance produite ; c'est en tout cas ce qui ressort d'un éditorial de la revue *Nature* de fin juillet qui salue les résultats d'une évaluation pilote faite par l'European Research

Council sur 199 projets de recherche fondamentale financés. L'évaluation a montré que $\frac{3}{4}$ des projets ont généré des avancées scientifiques significatives et qu'au moins $\frac{1}{4}$ a eu un impact sur l'économie, la société ou la formulation de politiques.

L'utilité de la « connaissance inutile » est résumée dans une conversation entre l'éducateur nord-américain Abraham Flexner, fondateur de l'Institut d'Études Avancées de l'Université de Princeton, et l'entrepreneur George Eastman, inventeur du film photographique, reprise dans un article publié par Flexner en 1939 dans la revue *Harpers* (library.ias.edu/files/Usefulness-Harpers.pdf). Eastman pensait utiliser son immense fortune pour promouvoir l'éducation de thèmes utiles. Flexner lui a demandé qui était, de son point de vue, le « travailleur de la science le plus utile au monde ». L'entrepreneur a répondu sans hésiter : Guglielmo Marconi, l'Italien qui a inventé la radio. Mais Flexner a surpris son interlocuteur en lui disant que – indépendamment de l'utilité de la radio – la contribution de l'Italien avait été minime. Il a expliqué que Marconi n'aurait rien fait sans les contributions du scientifique écossais James Clerk Maxwell (dont les équations abstraites ont donné lieu à des analyses dans le champ du magnétisme et de l'électricité)

et du physicien allemand Heinrich Hertz (qui a plus tard démontré l'existence de la radiation électromagnétique). Flexner a déclaré : « Ni Maxwell ni Hertz ne se souciaient de l'utilité de leur travail ; une telle pensée ne leur a jamais traversé l'esprit. Ils n'avaient aucun objectif pratique. Évidemment, l'inventeur a été au sens légal Marconi, mais qu'est-ce que Marconi a inventé ? Juste un dernier détail technique, un dispositif de réception, le cohéreur, qui est déjà devenu obsolète, quasi universellement mis de côté ». Hertz et Maxwell n'ont rien inventé, mais leur « travail théorique inutile » a été utilisé par un technicien intelligent pour créer de nouveaux moyens de communication, utiles et divertissants. Et Flexner d'ajouter : « Qui ont été les hommes utiles ? Non pas Marconi mais Clerk Maxwell et Heinrich Hertz. Hertz et Maxwell étaient des génies sans pensée utilitaire. Marconi a été un inventeur intelligent, avec aucune autre pensée au-delà de l'utilitaire ». ■

Références

- BRITO CRUZ, C. H. « University research comes in many shapes », in : Luc E. Weber et James J. Duderstadt (éds.) *University priorities and constraints*, Glion *Colloquium Series*, n. 9 (Economica London, Paris, Genève), 2016, pp. 131-142.
- MAZZUCATO, M. *O Estado empreendedor*. São Paulo, Companhia das Letras, 2014.
- BUSH, V. « Science : The endless frontier », *Revista Brasileira de Inovação*, v. 13, n. 2 jul./déc. 2014.

MAIGREUR RÉVERSIBLE

Des activités physiques
peuvent stopper la cachexie,
une inflammation qui entraîne
la perte de poids et aggrave le
cancer et d'autres maladies

Carlos Fioravanti

PUBLIÉ EN AOÛT 2017

*Trois hommes qui
marchent, Alberto
Giacometti, bronze avec
patine marron, 1948*

Il y a 5 ans, le chirurgien Paulo Alcântara a été surpris de voir que deux patients de l'Hôpital Universitaire de l'Université de São Paulo (HU-USP), présentant le même âge et le même stade avancé de cancer de l'estomac, réagissaient différemment au traitement. L'un était obèse et l'autre, au contraire, très maigre. La maigreur était une expression de la cachexie, syndrome caractérisé par la perte continue de masse musculaire et d'appétit qui peut accompagner – et aggraver – le cancer mais aussi le Sida, l'insuffisance cardiaque et la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC). Observée chez 40 % des personnes atteintes d'un cancer et chez 80 % des patients hospitalisés pour des tumeurs malignes, la cachexie rend plus difficile le traitement et est responsable de 20 % des morts provoquées par cette maladie. Le patient maigre est décédé 1 an et demi plus tard des suites du cancer et de la cachexie, tandis que l'autre a vécu 4 ans de plus.

Intrigué par cette situation, Alcântara a contacté la biologiste Marília Seelander, qui étudie les relations entre activité physique, inflammation et cancer depuis 25 ans à l'Institut des Sciences Biomédicales de l'Université de São Paulo (ICB-USP). Sur la base des résultats d'expérimentations animales, les deux chercheurs ont projeté une étude pour évaluer les effets possibles de l'activité physique sur des personnes atteintes de cancer et de cachexie.

Les résultats préliminaires des tests à l'Hôpital Universitaire (HU) indiquent qu'un programme d'exercices physiques – marcher ou courir sur un tapis de course 1 heure/jour pendant 6 semaines, au sein même de l'hôpital – peut réduire les processus inflammatoires qui entraînent la perte de poids. Les participants atteints de cancer et de cachexie ont repris de la masse musculaire, retrouvé l'appétit et présenté une meilleure récupération post-opératoire que ceux qui ne sont pas atteints de cachexie. On a également observé un changement du profil des cytokines, les protéines qui activent les cellules de défense : les niveaux de cytokines pro-inflammatoires, qui causent et aggravent la cachexie,



ont chuté, et ceux de cytokines anti-inflammatoires ont augmenté.

Jusqu'à présent, 332 patients ayant un cancer de l'estomac, du pancréas et de l'intestin – avec et sans cachexie – ont participé à l'étude ; 272 ont formé le groupe de sédentaires et 50 celui de ceux qui ont réalisé un entraînement physique. D'après Alcântara, « le blocage de la cachexie pourrait permettre un traitement plus intensif, favoriser la qualité de vie et augmenter la survie des patients. [...] Mais nous devons arriver à 100 cas dans chaque groupe de personnes avec et sans cancer et avec et sans cachexie pour obtenir des résultats statistiques significatifs ». Les études en cours, présentées en 2015 dans un article de la revue *Current Opinion in Supportive and Palliative Care*, réunissent des équipes de l'USP, de l'Institut du Cancer de l'état de São Paulo (Icesp), de la Santa Casa et de l'hôpital Santa Marcelina.

Aucune recherche scientifique n'a encore été menée jusqu'à la fin sur l'action des activités physiques sur des personnes atteintes de cancer et de cachexie, mais leurs effets ont été observés sur des personnes souffrant de MPOC. Un groupe de chercheurs d'Allemagne et de Hollande a constaté que des exercices intenses pendant 4 mois amélioraient l'état de santé et la force musculaire de personnes atteintes de MPOC et de cachexie en comparaison avec celles ayant reçu un supplément nutritionnel et avec le groupe contrôle. L'étude a été menée avec 81 personnes et publiée en juin 2017 dans le *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*.

Alcântara explique que « les altérations métaboliques caractéristiques de la cachexie affaiblissent l'organisme, favorisent la croissance tumorale et gênent le traitement ». L'après-midi du 13 juin, il a participé à une réunion à l'UCB où les chercheurs de l'équipe de Marília Seelander ont présenté les résultats des analyses de sang et de tissus recueillis sur les participants du HU. Les individus atteints de cachexie ont présenté une réduction du métabolisme de protéines et des niveaux de deux hormones : la leptine, qui régule l'appétit, et l'insuline, qui favorise l'absorption de glucose par les cellules. Le fonctionnement de l'hypothalamus, région du système nerveux cen-

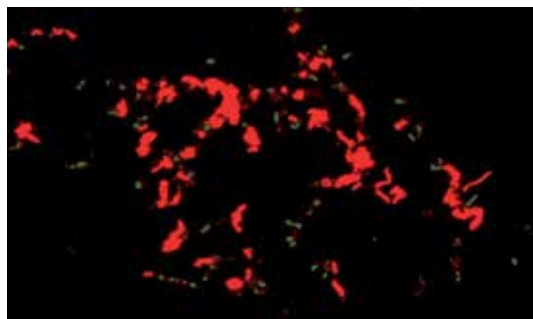
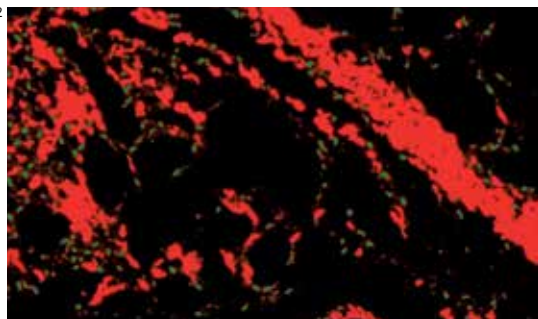


Salle de gym de l'hôpital universitaire de l'USP, utilisée pour la reprise de poids

tral qui contrôle la faim, était altéré. Les communautés bactériennes de l'intestin, qui pouvaient causer ou aggraver des processus inflammatoires, ont changé, et les muscles (y compris celui du cœur) étaient plus faibles. Pour Seelander, « le déséquilibre provoqué par la cachexie est si grand que les personnes continuent de perdre du poids, même quand ils reçoivent un complément nutritionnel, parce que les cellules n'arrivent plus à absorber les nutriments ».

La cachexie a été enregistrée pour la première fois par le médecin et philosophe grec Hippocrate (460-370 av. J.-C.), et décrite comme un abattement profond par le médecin français Paul Broca (1824-1880) dans son traité sur les tumeurs publié en 1866. Le médecin brésilien Alfredo Leal Pimenta Bueno (1886-s/d) l'a présentée comme un des signes de la période terminale du cancer ; il en a analysé l'origine dans une série d'articles publiés dans la revue *Brasil Médico* entre 1926 et 1928.

L'oncologue Gilberto de Castro Jr, de l'Icesp, observe que « la cachexie favorise la croissance des tumeurs et peut évoluer au point de devenir irréversible ». Ainsi, traiter la tumeur ne résout pas toujours le problème de la cachexie. « L'activité physique peut d'une certaine manière la



La production de la protéine collagène (en rouge) s'intensifie chez les personnes atteintes de cancer et de cachexie, entraînant la formation de fibres qui nuisent au fonctionnement des cellules graisseuses (à gauche). Les patients atteints d'un cancer sans cachexie ont moins de collagène (à droite)

PERTE CROISSANTE DE CONTRÔLE

La cachexie évolue à partir d'une inflammation qui se propage dans l'organisme

ORIGINE

En réponse à une tumeur, les cellules de défense produisent des protéines inflammatoires telles que l'interleukine-6 (IL-6), qui entrent dans la circulation

PREMIÈRES RÉACTIONS

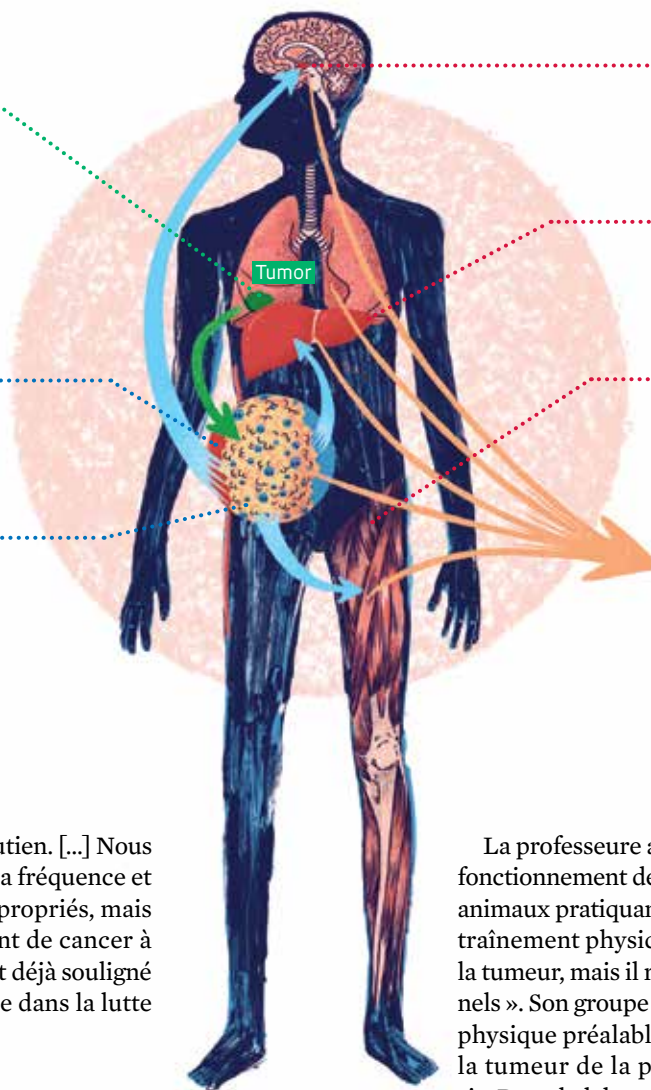
Le tissu adipeux sous-cutané accumule IL-6 et les cellules de défense, qui provoquent une inflammation locale

Les cellules graisseuses libèrent des acides gras qui propagent la réaction inflammatoire dans d'autres tissus et organes

bloquer et être une thérapie de soutien. [...] Nous devons encore définir l'intensité, la fréquence et la durée des exercices les plus appropriés, mais il faut inciter les patients souffrant de cancer à bouger plus ». Plusieurs études ont déjà souligné les bénéfices de l'activité physique dans la lutte contre le cancer.

EN LABORATOIRE

Des expérimentations avec des modèles animaux à l'École d'Éducation Physique et de Sport de l'USP ont permis à Patrícia Chakur Brum, professeure d'éducation physique, d'affirmer que « l'entraînement physique minimise la cachexie ». Avec son équipe, elle a utilisé deux groupes de rats ayant une tumeur Walker 256 – tumeur utilisée dans des études expérimentales parce qu'elle grandit vite et induit l'atrophie musculaire caractéristique de la cachexie. Un groupe était composé d'animaux sédentaires et l'autre devait faire des exercices sur un tapis de course 1 fois/jour pendant 15 jours ; les exercices ont commencé un jour après l'injection des cellules tumorales. Les animaux ayant pratiqué des exercices ont présenté une survie 31 % supérieure à celle de l'autre groupe, même sans réduction au niveau du rythme de la progression de ce type de tumeur, très agressif.



CONSÉQUENCES

L'hypothalamus réduit la production d'hormones qui activent l'appétit

Le foie augmente la production de protéines qui intensifient l'inflammation

Le tissu musculaire commence à s'atrophier

RÉSULTAT

Le déséquilibre de l'organisme s'intensifie et devient irréversible

SOURCE USP ET UMC

La professeure a constaté une amélioration du fonctionnement des cellules musculaires chez les animaux pratiquant une activité physique : « l'entraînement physique n'agit pas directement sur la tumeur, mais il rend les muscles plus fonctionnels ». Son groupe s'est aussi aperçu que l'activité physique préalable pouvait retarder le début de la tumeur de la peau et du sein chez des souris. Dans le laboratoire de l'ICB, les résultats de Marília Seelander ont été plus significatifs : chez les animaux qui ont dû courir ou nager dans un programme plus long d'exercices, la taille de la tumeur Walker 256 a diminué d'environ 50 %.

Si la perte de la masse musculaire en est l'expression la plus visible, elle n'est pas la cause mais une des conséquences du processus qui amène l'organisme à s'affaiblir. « Nous ne savons pas encore comment et quand la cachexie commence », observe l'éducateur physique Miguel Luiz Batista Júnior, professeur de l'Université de Mogi das Cruzes (UMC). Le début doit être une inflammation activée par une production intense de cytokines pro-inflammatoires, surtout l'interleukine-6 (IL-6), comme résultat de l'action des cellules de défense contre les tumeurs. D'après Batista Júnior, « le niveau d'IL-6 en circulation dans le courant sanguin augmente deux à trois fois chez les personnes souffrant de

TRANSPIRER, PARTIE DE LA PRÉVENTION

D'après des études menées aux États-Unis, l'activité physique aide à prévenir le cancer, favorise la récupération post-chirurgicale et réduit les effets collatéraux des médicaments, le retour des tumeurs et la mortalité. Dans un article publié en 2016 dans le *Journal of American Medical Association* (Jama), Steven Moore et son équipe d'épidémiologie nord-américaine de l'Institut National du Cancer ont présenté l'analyse de 12 études sur les effets de l'activité physique sur 26 types de cancer – des études qui ont eu lieu aux États-Unis et en Europe sur un échantillon de 1,4 million de personnes suivies pendant 11 ans. Les chercheurs ont associé la pratique de l'activité physique modérée ou intense pendant les heures de loisirs, comme la marche, à un risque moins élevé de 13 types de cancer, et une baisse plus accentuée des tumeurs de l'œsophage (incidence de moins de 42 %) et du sein (chute de 10 %), même chez les personnes obèses et fumeuses.

Si les médecins et les personnes souffrant d'un cancer adoptaient l'activité physique comme une partie du traitement, on assisterait au même phénomène que celui observé dans le traitement des maladies du cœur. C'est en tout cas l'avis de l'éducateur physique Carlos Eduardo Negrão, professeur de l'École d'Éducation Physique et Sportive de la Faculté de Médecine et directeur de l'Unité de Réhabilitation



Les exercices aérobiques tels que courir et pédaler sont indiqués pour aider à éviter le cancer et à réduire les effets indésirables des médicaments

Cardiovasculaire et de Physiologie de l'Exercice de l'Institut du Cœur (InCor) de l'USP : « Jusqu'aux années 1970, on conseillait aux personnes souffrant d'insuffisance cardiaque de ne pas faire d'activités physiques. Ensuite, cela a commencé à faire partie des recommandations. Et aujourd'hui, c'est une partie importante du traitement. [...] Pour le cancer, le chemin va sans doute être le même ».

Deux études récentes de son groupe à l'InCor, publiées en 2014 et 2016 dans l'*American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*, ont montré que l'activité physique chez des personnes ayant des problèmes cardiaques pouvait désactiver les processus de dégradation de protéines des cellules des muscles, stimuler la production de cytokines anti-inflammatoires et améliorer le flux de calcium, fondamental pour le bon fonctionnement des muscles, surtout du cœur, dont le fonctionnement peut être endommagé par les médicaments antitumoraux et par la cachexie. Dans un article publié en mai 2017 dans *Oncology Reports*, des chercheurs français ont observé que « l'activité physique est une stratégie non médicamenteuse intéressante pour contrebalancer les déficiences cardiaques induites par la cachexie ». Ils ont aussi mis l'accent sur le fait que les exercices aérobiques ont des effets anti-inflammatoires et évitent l'atrophie du muscle cardiaque.



cancer et cinq à six fois chez celles qui souffrent de cachexie ». Batista étudie les mécanismes de la cachexie depuis 2008 en collaboration avec le groupe de l'USP et de l'Université nord-américaine de Boston .

AUTRES STRATÉGIES

Sur la base d'échantillons de tissus de personnes ayant un cancer, les équipes de l'UMC et de l'USP ont constaté que le tissu adipeux blanc sous-cutané s'atrophie et devient fibreux à cause de l'accumulation de cellules de défense et de la formation d'une maille externe de la protéine collagène sur les adipocytes, comme cela a été détaillé dans un article publié en 2016 dans *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. « En conséquence, le tissu adipeux perd sa fonction de stockage d'énergie pour l'organisme », souligne Batista.

Dans son laboratoire, Batista a testé la pioglitazone, déjà utilisée contre le diabète, pour stopper la cachexie. Le médicament a interrompu la réduction de la masse musculaire et augmenté de 27 % la survie des rats ayant une tumeur Walker 256 (par rapport aux animaux du groupe contrôle). Décrite en 2015 dans *Plos One*, cette étude suggère que la pioglitazone pourrait être utilisée aux stades initiaux et terminaux de la cachexie parce qu'elle réduit la résistance à l'insuline et facilite l'absorption de glucose par les cellules, même si elle est susceptible de provoquer des dommages au niveau du cœur. Des études cliniques en cours aux États-Unis évaluent également les

possibilités d'utilisation d'un antidiabétique, la metformine, et d'autres médicaments comme la ghréline et l'anamoreline.

À l'Institut de Biologie de l'Université d'état de Campinas (IB-Unicamp), la biologiste Maria Cristina Marcondes a constaté que la leucine, acide aminé ayant une action anti-inflammatoire, évite la dégradation musculaire chez des rats atteints d'une tumeur Walker 256 : « La tumeur continue à grandir, mais les animaux récupèrent au moins 25 % de la masse musculaire ». Son groupe recherche aussi des marqueurs moléculaires capables d'informer sur le début du syndrome, pour aider les équipes médicales à poser un diagnostic et à agir le plus vite possible pour stopper la perte de poids et le déséquilibre organique des personnes souffrant de cancer et de cachexie.

La mesure d'IL-6 et d'autres cytokines inflammatoires étant chère, Marília Seelander pense qu'une alternative serait d'utiliser les examens des niveaux de la protéine C réactive (CRP) du

foie et deux autres du sang, l'hémoglobine et l'albumine. Pour elle, des valeurs très élevées de la PCR et des valeurs très en-dessous de la normale de l'albumine et de l'hémoglobine pourraient indiquer le début de la cachexie avant la perte de la masse musculaire. En outre, des taches claires sur les muscles visibles sur les images de tomographie pourraient indiquer une infiltration de graisse ou de cellules du tissu adipeux, autrement dit le début d'un processus inflammatoire capable de conduire à la perte musculaire.

Au fur et à mesure de leurs avancées, ces propositions doivent aider à stopper un problème qui apparaît seulement lorsque la perte de la masse musculaire est déjà évidente. Au cours des années à venir, il est possible que le traitement de la cachexie associe plusieurs stratégies comme les compléments alimentaires, les activités physiques et de nouveaux médicaments pour barrer la route aux déséquilibres organiques qui aggravent l'évolution du cancer et d'autres maladies. Mais la question que se pose le médecin Paulo Alcântara depuis 5 ans reste encore sans réponse : pourquoi certaines personnes du même âge et au même stade du cancer souffrent-elles de cachexie et d'autres non ? S'il existe des hypothèses, elles restent encore difficiles à prouver. ■

Des niveaux faibles d'albumine et des niveaux élevés de protéine C réactive pourraient indiquer le début de la cachexie

Projets

1. Inflammation systémique chez des patients présentant une cachexie en lien avec le cancer : mécanismes et stratégies thérapeutiques, une approche en médecine translationnelle (n° 12/50079-0) ; **Modalité** : Projet thématique; **Chercheuse responsable** : Marília Cerqueira Leite Seelander (USP); **Investissement** : 2 246 952,23 R\$
2. Bases moléculaires de la cachexie : Adipogenèse et remodelage de la matrice extracellulaire du tissu adipeux blanc de patients atteints de cancer gastro-intestinal (n° 10/51078-1); **Modalité** : Projet Jeune Chercheur; **Responsable** : Miguel Luiz Batista Jr. (UMC); **Investissement** : 910 407,63 R\$

Articles scientifiques

- ANTUNES-CORREA, L. M. et alii. « Molecular basis for the improvement in muscle metaboreflex and mechanoreflex control in exercise-trained humans with chronic heart failure », *American Journal of Physiology*. v. 307, n. 11, pp. 1655-66, 2014.
- BATISTA, M. L. Jr., « Cachexia-associated adipose tissue morphological rearrangement in gastrointestinal cancer patients », *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. v. 7, n. 1, pp. 37-47, 2016.
- BELLOUM, Y. et alii. « Cancer-induced cardiac cachexia : Pathogenesis and impact of physical activity », *Oncology Reports*. v. 37, n. 5, pp. 2543-52, 2017.
- BELUZI, M. et alii. « Pioglitazone treatment increases survival and prevents body weightloss in tumor-bearing animals : Possible anti-cachectic effect », *PLoS One*. v. 10, n. 3, pp. 1-16, 2015.
- LIRA, F.S. et alii. « The therapeutic potential of exercise to treat cachexia », *Current Opinion in Supportive and Palliative Care*. v. 9, n. 4, pp. 317-24, 2015.
- MOORE, S. C. et alii. « Association of leisure-time physical activity with risk of 26 types of cancer in 1.44 million adults », *Jama Internal Medicine*. v. 176, n. 6, pp. 816-25, 2016.
- NOBRE, T. S. et alii. « Exercise training improves neurovascular control and calcium cycling gene expression in patients with heart failure with cardiac resynchronization therapy », *American Journal of Physiology*. v. 311, n. 5, pp. 1180-88, 2016.
- VAN DE BOOL, C. et alii. « A randomized clinical trial investigating the efficacy of targeted nutrition as adjunct to exercise training in COPD », *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2017 (à paraître).

Par-delà les frontières

Un séquençage génétique en temps réel reproduit la trajectoire du virus Zika dans les Amériques

Maria Guimarães et Karina Toledo (de l'Agence FAPESP)

PUBLIÉ EN JUIN 2017

Le virus Zika est arrivé dans le Nordeste brésilien un an et demi avant d'être déclaré ennemi public numéro un selon deux articles publiés par 2 groupes de recherche le 24 juin dans la revue *Nature*. Le virus s'est répandu rapidement, tirant parti des moustiques *Aedes aegypti* et d'une population humaine immunologiquement démunie contre celui-ci, et dont les symptômes se confondaient avec ceux de la dengue et du chikungunya. Les chercheurs ont travaillé en parallèle, avec des moyens différents et l'objectif commun d'accompagner l'évolution du génome viral, autant pour le comprendre que pour prédire les épidémies et actualiser constamment les méthodes de diagnostic.

Une partie des résultats a été obtenue dans le cadre du projet ZiBRA (Zika au Brésil Analyse en Temps Réel). Un groupe international mène des recherches sur la trajectoire du virus Zika depuis qu'il est apparu au Brésil et a commencé à se répandre dans les Amériques à bord d'un laboratoire mobile équipé d'une technologie de séquençage génétique qui tient dans la paume de la main. Le séquençage complet du génome a été mis à la disposition d'autres groupes

de recherche, élargissant ainsi la portée de leur travail. « La combinaison de données épidémiologiques et génétiques nous a permis de découvrir que le virus Zika s'est répandu de manière silencieuse pendant plus d'un an dans les Amériques avant d'être identifié pour la première fois en mai 2015 », déclare le médecin biologiste portugais Nuno Faria, de l'Université d'Oxford, au Royaume-Uni, et premier auteur de l'article qui décrit les résultats du contrôle épidémiologique réalisé en 2016.

D'après Nuno Faria, le virus a été introduit dans le Nordeste brésilien en février 2014. Il est probable qu'il y ait eu cette année-là une transmission à partir de cette région, mais de manière peu accentuée. « La grande épidémie s'est déclarée probablement en 2015, simultanément à celle de la dengue. Le Zika se serait en premier lieu répandu du Nordeste vers la région Sudeste du Brésil (tout d'abord Rio de Janeiro) et également vers les Caraïbes et d'autres pays d'Amérique du Sud et d'Amérique Centrale, pour ensuite arriver en Floride », raconte-t-il.

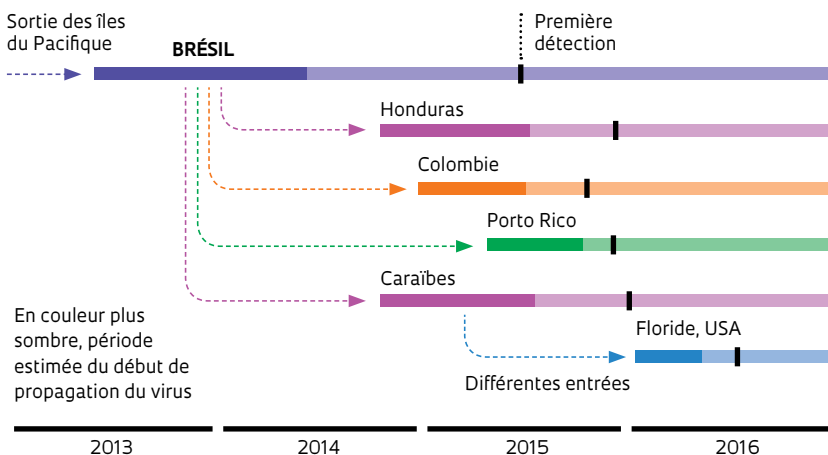
Les conclusions du Projet ZiBRA se basent sur l'analyse de 254 génomes

complets du pathogène (54 de ceux-ci séquencés dans l'étude publiée par la revue *Nature*). La plupart de ces nouvelles données génétiques ont été obtenues à l'aide d'un séquenceur portable qui pèse moins de 100 grammes, appelé MinION et fabriqué par Oxford Nanopore Technologies. Les protocoles utilisés pour le séquençage du virus Zika ont été développés dans le cadre du projet ZiBRA et ont fait l'objet d'un second article publié le même jour dans la revue *Nature Protocols*. Cette méthode a été appliquée à l'Institut de Médecine Tropicale de São Paulo de l'Université de São Paulo (IMT-USP), sous la coordination de l'épidémiologiste Ester Sabino en partenariat avec des collaborateurs de l'Université de Birmingham, au Royaume-Uni. « Notre stagiaire Ingra Claro testait les échantillons conformément aux instructions de Joshua Quick, premier auteur de l'article sur cette méthode, pour obtenir une quantité suffisante d'ARN du virus », explique Ester Sabino.

Plus le nombre de séquences génétiques est grand, plus il est facile de comprendre à quel moment le virus est entré dans le pays, sa distribution sur le continent, et principalement comment

Une migration rapide et discrète

La maladie a été détectée de manière tardive dans tous les pays où elle est apparue à partir du Nordeste Brésilien



SOURCE WOROBEBY, NATURE



il a évolué. Cette analyse a été rendue possible grâce à une technique appelée horloge moléculaire qui analyse le nombre de modifications dans certains gènes. Le taux de ces modifications est relativement constant et les gènes fonctionnent comme des chronomètres en indiquant le temps de divergence entre des isolats viraux.

LABORATOIRE ITINÉRANT

« L'idée du projet est apparue en 2016, quand une partie du groupe a publié dans la revue *Science* les premières découvertes épidémiologiques et génétiques du virus Zika dans les Amériques. Nous avons séquencé sept isolats viraux, mais le nombre d'échantillons était insuffisant pour avoir une meilleure notion de la diversité du virus sur le continent », déclare le généticien Luiz Carlos Alcântara, de la Fondation Oswaldo Cruz (Fiocruz) à Bahia.

Le projet ZiBRA a été approuvé dans un appel à propositions lancé conjointement par les agences de développement britanniques Medical Research Council, Newton Fund et Wellcome Trust. Les chercheurs qui y ont participé émanaient d'institutions comme la Fiocruz, l'Ins-

Un laboratoire installé dans un autobus s'est rendu dans les états du Rio Grande do Norte, de Paraíba, de Pernambuco et d'Alagoas en 2016

titut Evandro Chagas, le ministère de la Santé, l'USP et les universités de Birmingham et d'Oxford.

Un laboratoire installé dans un autobus s'est rendu dans les Laboratoires Centraux de Santé Publique (Lacen) des états du Rio Grande do Norte, de Paraíba,

de Pernambuco et d'Alagoas au cours de l'année 2016. Carlos Alcântara, Nuno Faria et Ester Cerdeira Sabino ont également coordonné les travaux des chercheurs Nicholas Loman, de l'Université de Birmingham, Oliver Pybus, de l'Université d'Oxford, et Marcio Nunes, de l'Institut Evandro Chagas dans l'état du Pará. « Dans chaque Lacen, nous avons analysé entre 300 et 400 échantillons de sang de patients soupçonnés d'avoir contracté le virus Zika, effectuant un total de 1 330 examens. Nous avons réalisé le diagnostic en temps réel et quand les analyses étaient positives, nous avons séquencé le matériel génétique du virus », déclare Carlos Alcântara.

Le groupe a également analysé des échantillons des régions Sudeste et du Tocantins avec le soutien des laboratoires fixes de la Fiocruz de Bahia, à Salvador, et de l'IMT, de São Paulo. Des Chercheurs ont séquencé aux États-Unis les génomes de quatre isolats viraux mexicains et cinq colombiens. « Les analyses ont révélé que le virus découvert dans les différentes régions brésiliennes et les voisins latino-américains ne présentait pas encore une grande diversité jusqu'en 2016 », explique Carlos Alcântara.



Jaqueline Goes de Jesus, de la Fiocruz, et Nuno Faria utilisent le MinION au cours d'un contrôle à João Pessoa, Paraíba

séquençage, ouvrant de nouvelles possibilités en matière de contrôle épidémiologique.

La faible charge virale (virémie), typique de l'infection par le virus Zika a été l'une des principales difficultés rencontrées par les 2 groupes. « Quand le patient vient chercher de l'aide l'infection a déjà diminué », explique Bronwyn MacInnis. Lors d'une précédente expérience durant l'épidémie du virus Ébola en Afrique en 2015, il a découvert entre mille et 10 mille copies virales supplémentaires dans les échantillons prélevés chez les malades. Bien que cette épidémie soit différente, ce fut une première étape pour approfondir davantage l'étude de l'épidémie sans qu'ils n'aient le temps de reprendre leur souffle ». « C'était la première fois qu'un contrôle génétique en temps réel d'une épidémie était réalisé », raconte-t-il. Avant il fallait prélever les échantillons du patient et les cultiver en laboratoire pour obtenir une quantité suffisante de virus. Le problème est que certains éléments ne prolifèrent pas dans ces cultures et on perd beaucoup de diversité durant ce processus. La nouveauté réside dans des analyses génétiques faites directement à partir du sang prélevé chez les malades en utilisant des techniques pour extraire le matériel génétique de l'échantillon (ARN, dans le cas du virus Zika).

Bronwyn MacInnis s'est lancé à la recherche de partenaires pour unir leurs connaissances, face à la situation d'urgence causée par l'épidémie au Brésil et dans d'autres pays d'Amérique du Sud et des Caraïbes. Une collaboration fructueuse a ainsi vu le jour avec Fernando Bozza, Thiago Souza et Patricia Bozza, de la Fiocruz de Rio. « Ils ont réussi à comprendre la progression de la maladie et son interaction avec les virus de la dengue et du chikungunya », raconte-t-il.

Le groupe carioca avait déjà acquis une bonne connaissance épidémiologique de la dengue en travaillant dans

D'après le chercheur, le virus originaire d'Afrique est arrivé en Asie peu avant 2017 quand il a causé la première épidémie en Micronésie. D'autres épidémies ont ensuite été enregistrées aux Philippines en 2012 et en Polynésie Française en 2013 et 2014. Il est ensuite arrivé au Brésil où, jusqu'à présent, le plus grand nombre de cas a été enregistré (plus de 200 mille en décembre 2016). « Le virus s'est énormément modifié après être sorti du continent africain. La diversité du virus sera probablement beaucoup plus grande dans les Amériques d'ici 7 à 10 ans. Il nous faut effectuer une veille génomique afin d'être prêt si une nouvelle épidémie se manifestait », recommande Carlos Alcântara.

Les chercheurs du ZiBRA, outre l'assistance apportée aux Lacen dans le diagnostic de centaines de cas suspects, ont formé des équipes pour effectuer une veille génomique avec le MinION. La deuxième étape du projet qui vient de commencer consistera à surveiller le virus de la dengue, du chikungunya et de la fièvre jaune, outre le virus Zika. « Nous avons monté un laboratoire fixe à Manaus pour analyser les échantillons des Lacen des états de l'Amapá, de l'Acre, d'Amazonie, de Roraima et de Rondônia. Un laboratoire mobile se rendra au mois d'octobre dans la région Centre-Ouest et en mars 2018 dans la région Sudeste », déclare Carlos Alcântara.

SUIVI EN LABORATOIRE

Le suivi en temps réel est également le principal objectif d'un autre groupe international bien que les analyses géné-

Les risques de surprise diminuent pour les chercheurs grâce à la veille génétique et aux réseaux collaboratifs

tiques soient faites dans des laboratoires fixes. Certaines procédures d'analyse sont identiques aux protocoles développés pour le MinION en utilisant des équipements plus puissants. « Il s'agissait d'une approche complémentaire », explique la généticienne Bronwyn MacInnis, de l'Institut Broad, aux États-Unis. Le travail qu'elle coordonne en partenariat avec son collègue Pardis Sabeti, porte sur le séquençage de 110 génomes du virus Zika prélevés dans 10 pays. Les conclusions similaires obtenues par des voies différentes ont renforcé les interprétations des deux équipes et permis de valider les nouvelles techniques de



À Natal, Marta Giovanetti, de la Fiocruz, prépare le séquençage (à gauche) et les moustiques capturés en ville sont examinés

des hôpitaux et en effectuant une surveillance systématique de la maladie. Au début, le virus Zika nous a donné beaucoup de travail à cause de sa faible virémie », se souvient Fernando Bozza. Après avoir découvert un test rapide pour réaliser le diagnostic, son groupe a commencé à prélever des échantillons, cherchant à améliorer l'extraction de l'ARN par davantage de rigueur lors du prélèvement et du stockage du matériel.

« La détection tardive du virus après son entrée au Brésil renforce l'importance d'un suivi génétique de maladies graves déjà connues sur d'autres continents. Quand nous identifions le problème, l'épidémie était déjà là », déclare Fernando Bozza. Connaître l'évolution du virus et bénéficier de techniques de surveillance peuvent permettre aux chercheurs de développer des stratégies pour détecter les maladies plus rapidement.

Les données génétiques indiquent que plusieurs mois se sont passés entre l'arrivée du virus et la détection des premiers cas à Porto Rico, au Honduras, en Colombie et dans la zone qui inclut les Ca-

raïbes et les États-Unis. La propagation discrète a permis au virus Zika d'arriver aux États-Unis à partir des Caraïbes, comme le montre un quatrième article publié le même jour dans la revue *Nature*. Dans ce pays, seule la Floride possédait les conditions climatiques favorables à l'*Aedes aegypti* durant toute l'année, permettant ainsi sa dissémination. C'est pour cela que la maladie s'est limitée à cet état, surtout dans la région de Miami qui est la destination d'un grand nombre de visiteurs étrangers. « Le virus a été introduit plusieurs fois, cela n'a pas été un événement isolé », affirme Bronwyn MacInnis, coauteure du travail. « Savoir comment cela s'est produit est important pour que nous puissions coordonner nos efforts pour contrôler le vecteur et protéger les points d'entrée ».

Elle sait bien que d'autres épidémies surgiront malgré la trêve avant le début de l'été en Floride. Pour le moment le virus Zika garde une part de mystère et sa propagation a été plus faible que prévue l'été dernier au Brésil. « Nous allons continuer notre surveillance pour

comprendre comment le virus progresse », affirme Ester Sabino, dont le groupe a réalisé un suivi d'échantillons de sang fournis par quatre grands centres de transfusion sanguine de São Paulo. « Nous sommes en train d'apprendre à créer des groupes de recherche capables de répondre rapidement à une situation d'urgence ». « Pour les chercheurs, les risques d'être pris de surprise diminuent grâce aux connaissances acquises en matière de veille génétique et aux réseaux collaboratifs. Les publications concomitantes soulignent que ce partenariat entre spécialistes dans des domaines divers est essentiel pour faire face aux épidémies. C'est pour cette raison que les deux groupes qui travaillent en parallèle sont toujours à pieds d'œuvre. « Nous restons en contact et nous comparons nos résultats durant le processus de recherche », déclare Bronwyn MacInnis. ■

Projet

Caractérisation du virus de la dengue par l'analyse du génome viral complet dans des échantillons de donneurs et de récepteurs de sang dans les états du Pernambouc et Rio de Janeiro (n° 12/03417-7) ; Modalité Bourse de Doctorat ; Chercheur Responsable Ester Cerdeira Sabino (USP) ; Boursier Antonio Charlys da Costa ; Investissement 145 246,14 R\$

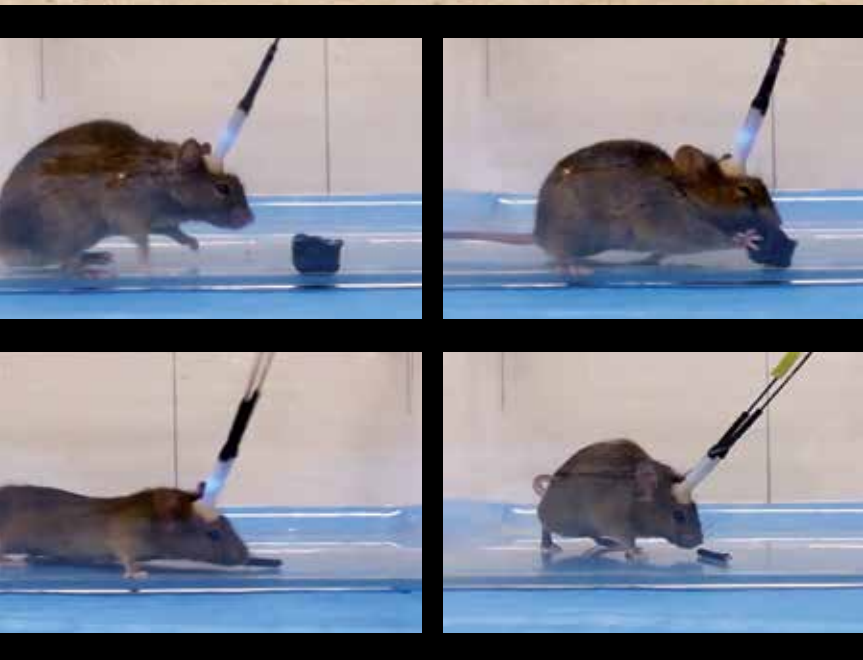
Articles Scientifiques

FARIA, N. R. *et al.* Establishment and cryptic transmission of Zika virus in Brazil and the Americas. *Nature*. 24 mai 2017.

GRUBAUGH, N. D. *et al.* Genomic epidemiology reveals multiple introductions of Zika virus into the United States. *Nature*. 24 mai 2017.

METSKY, H. C. *et al.* Zika virus evolution and spread in the Americas. *Nature*. 24 mai 2017.

QUICK, J. *et al.* Multiplex PCR method for MinION and Illumina sequencing of Zika and other virus genomes directly from clinical samples. *Nature Protocols*. v. 12, n. 6, p. 1261-76. 24 mai 2017.



Des fibres optiques envoient un faisceau laser vers le cerveau de souris. Quand la lumière s'allume la souris est stimulée à chasser, (images 1, 2 et 3). Quand elle s'éteint, elle s'arrête

NEUROSCIENCES ▲

Circuits de la chasse

Deux voies neuronales qui partent de l'amygdale cérébrale contrôlent le comportement agressif du prédateur

Marcos Pivetta

PUBLIÉ EN FÉVRIER 2017

Une petite structure cérébrale en forme d'amande située dans le lobe temporal, l'amygdale, est habituellement décrite comme un groupe de neurones lié au traitement des émotions et particulièrement à la sensation de peur. La scène classique d'une souris paralysée de peur face à l'attaque imminente d'un chat, son prédateur naturel, illustre parfaitement la réaction liée à l'activation de ce centre nerveux. Une étude publiée dans la revue *Cell* du 12 janvier indique toutefois que la stimulation d'une sous-région de cette structure déclenche le comportement prédateur du félin, au lieu de la réponse défensive du rongeur. Grâce à l'emploi d'une technique appelée optogénétique, qui utilise la lumière laser pour allumer et éteindre des circuits cérébraux spécifiques, des neuroscientifiques de l'Université de Yale (États-Unis) et de l'Institut de Sciences Biomédicales de l'Université de São Paulo (ICB-USP) ont démontré que, chez le prédateur, le noyau central de l'amygdale contrôle l'acte de recherche de la proie, l'attaque et la capture, puis la morsure.

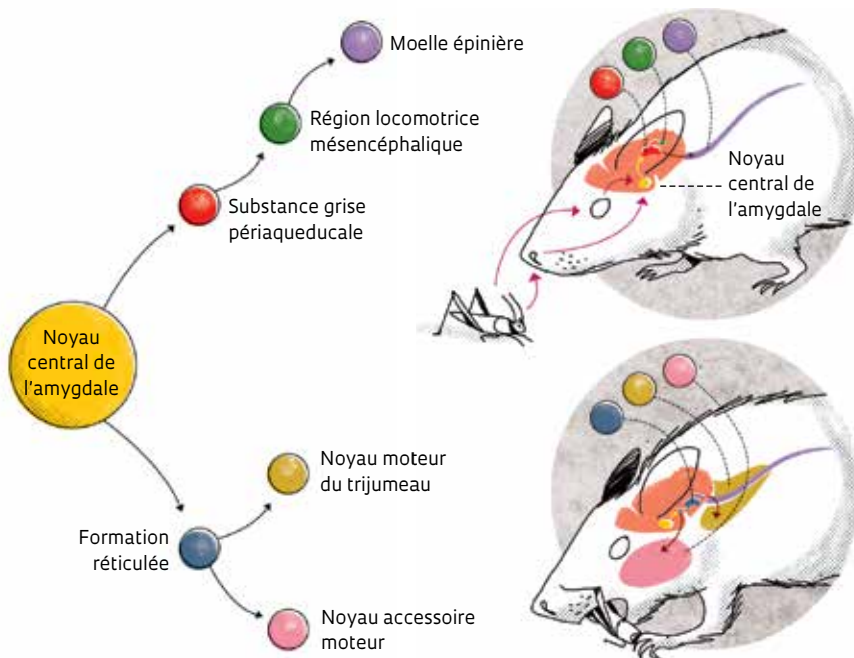
Les chercheurs ont démontré que l'activation de deux voies neuronales indépendantes, qui partent de l'amygdale, est essentielle pour déclencher l'activité prédatrice à la recherche de nourriture. Dès leur activation, les rongeurs poursuivent et attaquent pratiquement tout ce qui se trouve sur leur passage, allant de véritables insectes jusqu'à des proies artificielles comme des capsules de bouteille. « Nous nous sommes également aperçus que l'activation de ces deux populations de neurones était une condition indispensable et suffisante pour déclencher chez les souris un comportement typique de chasseur », explique le neuroscientifique brésilien Ivan de Araújo, de l'Université de Yale, où se trouve le laboratoire à l'origine des expérimentations sur les souris. Bien que les neuroscientifiques n'écartent pas le fait que d'autres structures cérébrales puissent également influencer des attitudes prédatrices, l'étude indique qu'il suffit de stimuler ces deux circuits pour que les rongeurs adoptent une posture de chasseurs (voir vidéo du Noyau de Diffusion Scientifique de l'USP dans bit.ly/CamundongoCaça).

La première voie stimulée est celle de la poursuite. Dans la nature cette situation a lieu quand le prédateur identifie la proie à l'aide d'au moins un de ses sens (odorat, vue ou ouïe) et commence à se mouvoir afin de s'en rapprocher. Dans les tests sur les rongeurs, les neuroscientifiques se sont aperçus que ce comportement est déclenché par la transmission de neurones présents dans le noyau central de l'amygdale. Ce circuit envoie des impulsions vers une structure, appelée substance grise périaqueducule, qui transmet l'information à la région locomotrice mésencéphalique. Cette dernière actionne ensuite la moelle épinière qui permet la locomotion de l'animal vers la chasse.

Le deuxième circuit neuronal contrôle la capture proprement dite de la proie et son anéantissement.

Stimuli pour la prédation

L'activation de deux voies neuronales indépendantes qui partent d'une région du cerveau liée aux émotions et appelée noyau central de l'amygdale, incite les souris à poursuivre une proie, à la capturer et à la mordre



VOIE DE LA POURSUITE

L'activation d'une structure appelée substance grise périaqueducale transmet des impulsions vers la région locomotrice mésencéphalique qui actionne la moelle épinière. En voyant la proie et en sentant son odeur, le chasseur commence la poursuite.

VOIE DE LA CAPTURE

L'excitation d'un ensemble diffus de neurones, appelé formation réticulée, transmet des stimuli électriques vers le noyau accessoire moteur qui contrôle le mouvement du cou, et vers le noyau moteur du trijumeau qui commande l'ouverture et la fermeture de la mandibule. Le chasseur saisit la proie et la mord avec force

SOURCE IVAN DE ARAÚJO ET NEWTON CANTERAS

La chasse s'accomplit quand le prédateur attaque sa proie. La voie qui régit cet acte part également du noyau central de l'amygdale mais parcourt un chemin différent. L'activation d'un ensemble diffus de neurones, appelé formation réticulée, permet l'envoi de stimuli électriques vers le noyau accessoire moteur qui contrôle le mouvement du cou et vers le noyau moteur trijumeau qui commande l'ouverture et la fermeture de la mandibule. « Quand nous ne stimulons que la première voie, les rongeurs poursuivent la proie mais ne l'attaquent pas », nous explique le neuroanatomiste Newton Canteras, de l'ICB-USP, spécialiste de l'étude des bases neurales de la peur et de l'agression. Dans le cas contraire, si l'on n'active que le deuxième circuit, les souris interrompent leur activité pour se mettre à saisir et à mordre dans le vide comme s'il y avait une proie imaginaire à dépecer.

Selon les neuroscientifiques, l'optogénétique est une technique qui permet de tester la fonction de circuits cérébraux d'une manière plus fine que d'autres approches consistant à promouvoir des lésions mécaniques ou chimiques dans certaines zones de l'encéphale pour ob-

server leurs répercussions comportementales ou cliniques. Grâce à l'injection d'une population de virus génétiquement modifiée les chercheurs augmentent la sensibilité à la lumière du circuit neuronal choisi. Ils créent ainsi un commutateur optique qui « allume » et « éteint » le circuit totalement contrôlé par les chercheurs. Dans le cas des souris dans l'expérimentation sur la chasse, de petites fibres optiques connectées au cerveau des animaux envoient des faisceaux laser bleus vers l'amygdale permettant ainsi la modulation des deux circuits. « Outre la couleur, nous pouvons contrôler l'intensité et la fréquence de la pulsation du laser », déclare la morphologiste Simone Motta, également professeure à l'ICB-USP, qui a participé à l'étude et fréquenté le laboratoire d'Ivan de Araújo, à Yale, pour apprendre la technique.

L'AMYGDALÉ CHEZ LES MAMMIFÈRES

Le possible rôle joué par ces circuits dans l'expérience sur le comportement de la chasse prédatrice a été à l'origine influencé par des études menées par Newton Canteras, il y a plus de 10 ans. Ces études suggéraient déjà que certaines voies neurales qui partent du

noyau central de l'amygdale étaient davantage associées à la stimulation prédatrice qu'à la manifestation de la peur. L'amygdale étant une structure cérébrale bien préservée chez les mammifères, il est possible qu'elle joue également un rôle chez d'autres vertébrés dans la structuration de la chasse. Cette étude remet de nouveau en question le rôle essentiel joué par le noyau central de l'amygdale dans l'organisation des réponses déclenchées par la peur. ■

Projets

1. Analyse de réponses neuroendocriniennes et autonomiques des souris avec lésion neurotoxique du noyau pré-mammillaire dorsal de l'hypothalamus durant la défaite sociale (n° 2010/05905-3); **Modalité** Bourse de Post-Doctorat; **Chercheur responsable** Newton Canteras (USP); **Boursière** Simone Motta; **Investissement** R\$ 197 050,51 R\$ et 176 479,88 R\$ (Bourse Stage de Recherche à l'Étranger, n° 2012/24679-0).
2. Rôle du thalamus antérieur et de ses cibles corticales dans les réponses défensives conditionnées par le contexte d'une défaite sociale (n° 2012/13804-8); **Modalité** Bourse de Doctorat; **Chercheur responsable** Newton Canteras (USP); **Boursier** Miguel José Rangel Junior; **Investissement** 188 066,58 R\$ et 96 354,03 R\$ (Bourse Stage de Recherche à l'Étranger, n° 2014/26742-6).

Article Scientifique

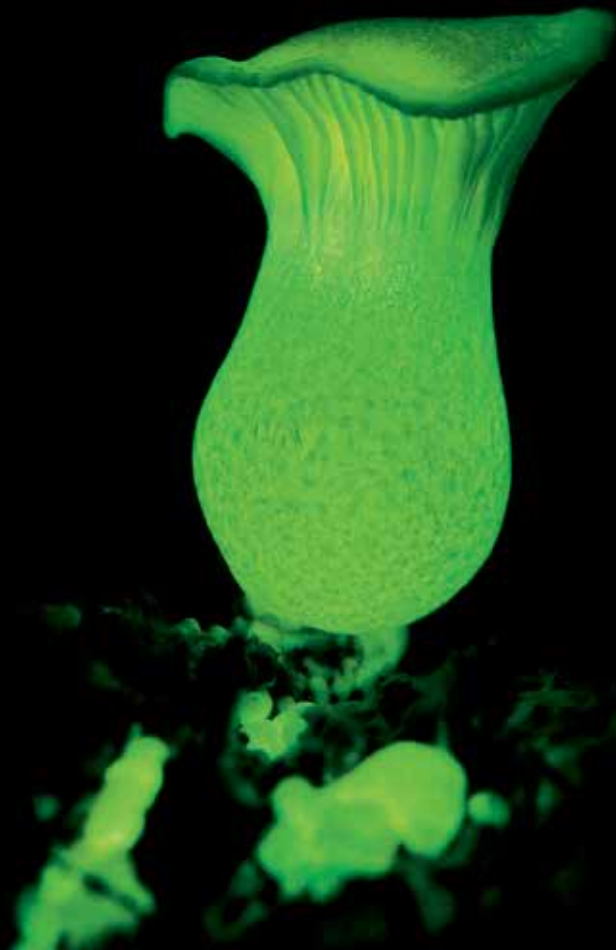
HAN, WENFEI *et al.* Integrated control of predatory hunting by the central nucleus of the amygdala. *Cell*. 12 janvier 2017.

Éclairage naturel

Un processus chimique de bioluminescence des champignons se révèle recyclable et adaptable

María Guimarães

PUBLIÉ EN MAI 2017



Une rue éclairée par des arbres lumineux à la place de réverbères et de lampes. Cette image semble irréaliste mais n'est pas impossible pour le chimiste Cassius Stevani, professeur à l'Institut de Chimie de l'Université de São Paulo (IQ-USP). « Mais il faut être prudent, nous ne voulons pas qu'une forêt produise de la lumière en pleine nuit », prévient-il. Même si cette réalité semble encore éloignée, ce scénario de science-fiction est la base des recherches de Cassius Stevani sur des champignons bioluminescents, principalement de l'espèce *Neonothopanus gardneri*, de la Forêt des Cocaïs, dans l'état du Piauí. Cassius Stevani et ses collaborateurs, principalement russes et brésiliens, sont parvenus à expliquer une part importante des réactions chimiques qui illuminent les champignons d'une couleur verte, conformément à l'article publié le 26 avril sur le site de la revue *Science Advances*.

Le point d'orgue de l'étude a été de découvrir que l'hispidine, une molécule possédant des propriétés pharmaceutiques et présente dans la plupart des plantes, est précurseur de la luciférine, un substrat essentiel à la production de lumière chez les champignons. L'hispidine est également présente dans des champignons non luminescents leur donnant une couleur orangée et les protégeant des dommages causés par la lumière solaire.

La série de réactions chimiques découvertes par le groupe de chercheurs montre que la luciférine réagit avec l'oxygène à travers l'action de l'enzyme luciférase pour donner naissance à de l'oxyluciférine excitée qui, en revenant à un état stable, émet un photon et donc produit de la lumière. L'oxyluciférine subit ensuite l'action d'une autre enzyme et donne naissance à l'acide caféique. C'est l'autre découverte importante car l'acide caféique était déjà connu comme précurseur de l'hispidine. Cassius Stevani explique qu'ainsi le cycle se complète. « Il y a un recyclage des molécules impliquées dans la bioluminescence, ce qui explique la petite quantité d'hispidine se trouvant dans les champignons : elle est toujours présente, puis elle réagit, et le cycle de la bioluminescence continue ». Ce processus consomme de l'oxygène ce qui pour l'organisme est peut-être une manière de combattre les dommages du stress oxydatif.

Les arbres et d'autres plantes produisent également de l'acide caféique d'où l'idée de suggérer une manipulation génétique afin qu'ils produisent les enzymes nécessaires pour compléter la réaction et briller. « Il serait également possible de produire des orchidées luminescentes pour le commerce de plantes ornementales », imagine le chimiste. Le biochimiste nord-américain Hans Waldenmaier, qui l'année dernière a terminé son doctorat sous l'orientation de Cas-

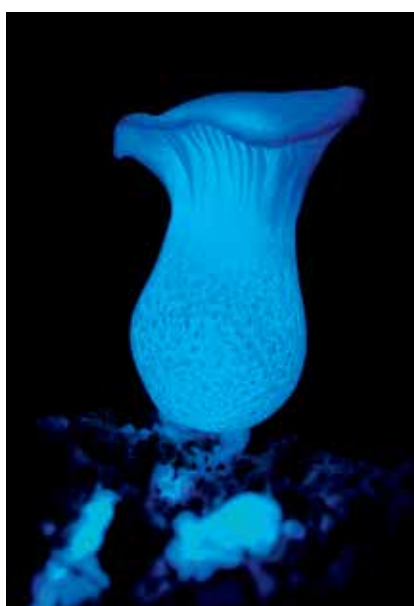
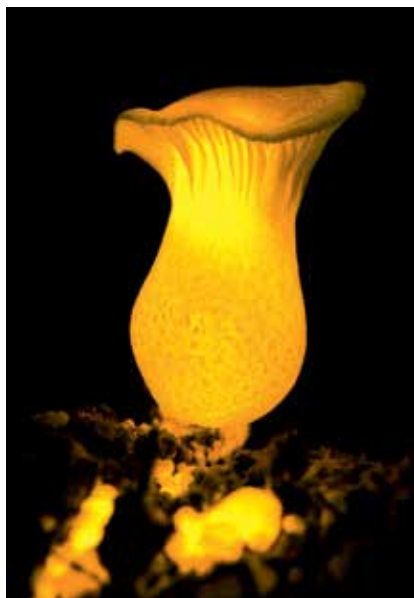
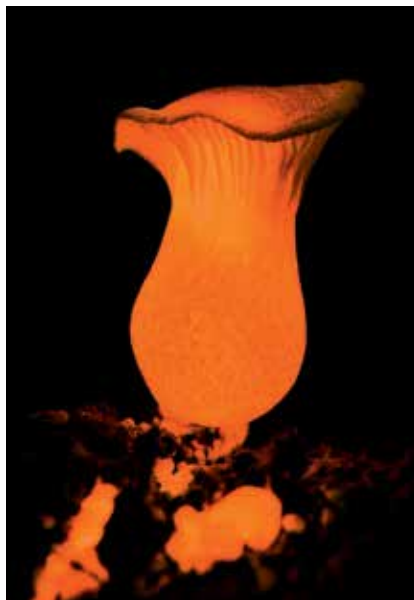
La lumière verte émise par *Neonothopanus gardneri* est visible durant les nuits obscures

Des images modifiées illustrent ce qui adviendrait si le champignon produisait des substrats alternatifs

sius Stevani, a justement l'intention de monter une entreprise pour produire des plantes bioluminescentes dans son pays. L'objectif n'est pas uniquement décoratif. « Il sera peut-être possible un jour d'utiliser ce système comme des marqueurs pour suivre le processus biologique des plantes et l'appliquer aussi aux problèmes de santé humaine », explique le professeur de l'IQ-USP. Des protéines fluorescentes utilisées comme marqueurs génétiques lumineux ont permis à Osamu Shimomura, Roger Tsien et Martin Chalfie de gagner le prix Nobel de Chimie en 2008, pour l'importance de la visualisation des processus biochimiques. Dans ce cas il s'agissait d'une protéine fluorescente produite par des méduses et largement utilisée dans les laboratoires du monde entier.

CHIMIE PRODUCTIVE

Les résultats présentés dans l'article de la revue *Science Advances* sont le fruit d'une collaboration entre Cassius Stevani et le chimiste russe Ilia Yampolsky, de l'Institut de chimie Bio-organique de Moscou. Ce partenariat a surgi de manière insolite quand Cassius Stevani a appris par des élèves qui revenaient d'un congrès international qu'Ilia Yampolsky cherchait à caractériser les molécules responsables de la bioluminescence fongique, il l'a donc contacté pour lui proposer d'unir leurs efforts. Mais il était déjà trop tard car les résultats obtenus à partir des cultures d'un champignon similaire au brésilien le *Neonothopanus nambi* et originaire du Vietnam, allaient être publiés. Dans cette dispute académique, perdre pour un chercheur ayant dans ce domaine une expérience plus récente peut parfois faire l'objet d'amertume et d'hostilité. Mais c'est le contraire qui s'est produit car chacun a collaboré dans sa propre spécialité pour parvenir aux résultats présentés dans la revue *Science Advances*. Le russe y a contribué avec la synthèse des composés organiques et le brésilien avec les mécanismes chimiques. Ils ont également reçu le soutien des chimistes Erick Bastos et Paolo di Mascio, de l'Institut de Chimie de São Paulo, et d'Anderson Oliveira, de l'Institut Océanographique ainsi que des



pharmaciens Felipe Dörr et Ernani Pinto, de la Faculté de Sciences Pharmaceutique, tous appartenant à l'USP.

Ils ont également constaté que la luciférase peut être versatile, en plus de la découverte des molécules présentes dans la réaction de bioluminescence. Pour ce fait, Ilia Yampolski a synthétisé des variations de la luciférine qui, en réagissant avec la luciférase, produisent également de la lumière. Comme ces molécules ne sont pas produites par des champignons, la réaction a été reproduite dans un appareil appelé luminomètre, qui a enregistré la présence de lumière. La seule différence résidait dans la longueur d'onde distincte du vert observé dans la nature. Si cette réaction se produisait dans la nature il serait possible de voir des champignons briller avec d'autres couleurs à l'instar des images modifiées qui illustrent cet article, une sorte de « licence poétique » selon les propres mots du chimiste brésilien.

Entre la chimie pure, la science-fiction et les applications technologiques, Cassius Stevani emprunte également la voie de la biologie pour comprendre le sens écologique de la luminescence des champignons. Les résultats obtenus par Waldenmaier dans sa recherche de doctorat sont sur le point d'être publiés mais nous pouvons déjà dire, d'après les films réalisés et les expériences de terrain, que la luminosité attire les insectes et crée un véritable écosystème en miniature. Les champignons semblent être le point de rencontre de vers luisants qui les visitent en groupe. De petits cafards dorés s'alimentent du champignon et sont les proies des araignées. Ils sont tous attirés par la lumière qui se propage davantage que les senteurs dans un environnement forestier. Dans le même temps les insectes s'imprègnent de spores favorisant ainsi leur dissémination car près du sol, où il y a davantage d'humidité, il n'y a pas assez de vent pour propager les particules reproductives. Cette collaboration est donc bénéfique pour tous. ■

Projet

Bioluminescence des champignons : Relevé d'espèce, étude mécanistique & essais toxicologiques (n° 13/16885-1) ; Modalité Aide à la Recherche Régulière ; Chercheur responsable Cassius Vinicius Stevani (USP) ; Investissement 183 183,40 R\$ + 58 141,94 US\$.

Article scientifique

KASKOVA, Z. M. *et al.* Mechanism and color modulation of fungal bioluminescence. *Science Advances*. 26 avr. 2017.



*Elacatinus
phthirophagus (jaune
et noir) nettoyant
Cephalopholis fulva*

Alliance au fond de l'océan

Les six espèces de poissons nettoyeurs de l'atoll des Rocas s'alimentent des parasites de gros poissons

Carlos Fioravanti

PUBLIÉ EN AOÛT 2017

Les eaux de l'atoll des Rocas situées à 267 kilomètres de Natal, dans l'état du Rio Grande do Norte, sont le lieu d'un des phénomènes les plus intrigants des récifs quand les poissons prédateurs s'accordent un moment de trêve et se prêtent au nettoyage exécuté par des poissons et des crevettes. Des biologistes de l'Université Fédérale de Santa Catarina (UFSC) ont identifié huit espèces de nettoyeurs, six de poissons et deux de crevettes dans l'une des études les plus complètes réalisées dans l'atoll des Rocas. Cette zone de préservation biologique est fermée aux visiteurs et s'étend sur 5,5 kilomètres carrés.

Les poissons nettoyeurs se nourrissent principalement de parasites, de tissus malades ou de mucus de plus gros poissons et de tortues, baptisés clients par les spécialistes. « Grâce à cette interaction, les clients restent en bonne santé et les nettoyeurs peuvent s'alimenter. Les deux côtés ont cependant dû évoluer jusqu'à se reconnaître et ne pas s'attaquer pendant le nettoyage », résume le biologiste colombien Juan Pablo Quimbayo Agreda, chercheur à l'UFSC. Il fait partie du Réseau National de Recherche en Biodi-

versité Marine (Sisbiota-Mar), composé de 30 chercheurs issus de neuf institutions, dont l'objectif est d'évaluer la biodiversité de quatre îles océaniques brésiliennes qui sont l'atoll des Rocas, l'archipel de Fernando de Noronha, de São Pedro et de São Paulo ainsi que les îles de Trindade et Martim Vaz.

« Les poissons nettoyeurs ont évolué à partir d'autres poissons qui s'alimentaient de petits crustacés et d'autres invertébrés », explique le biologiste Carlos Ferreira, professeur à l'Université Fédérale Fluminense (UFF) et l'un des coordinateurs du Sisbiota-Mar. D'après lui, ces poissons qui vivent principalement dans les récifs ont dû se spécialiser en s'alimentant de parasites, une ressource alimentaire peu abondante, pour éviter la compétition pour d'autres aliments.

Sous l'orientation de Carlos Ferreira et des biologistes Sérgio Floeter, de l'UFSC, et d'Ivan Sazima, de l'Université Publique de Campinas (Unicamp), Juan Pablo Quimbayo et les biologistes Lucas Nunes et Renan Ozekoski, également du Sisbiota-Mar, ont identifié, en mai 2016, 318 interactions de nettoyage dans des profondeurs variant de 1 à 5 mètres, pendant 44 heures étalées sur 22 jours.

Deux espèces propres à la région se sont révélées plus actives à l'instar du labre de Noronha (*Thalassoma noronhanum*), qui atteint 12 cm à l'âge adulte,

Dans l'atoll, le labre préfère les clients herbivores et évite les prédateurs qui pourraient le manger si le nettoyage n'est pas bien fait

et du poisson néon de Noronha (*Elacatinus phthirophagus*), qui atteint 4 cm. Le labre a effectué 75 % des nettoyages sur le plus grand nombre de clients. En tout, 18 espèces de poissons sur 22 plus une tortue ont fait appel aux services des nettoyeurs. Dans un article publié au mois de juillet dans la revue *Environ-*

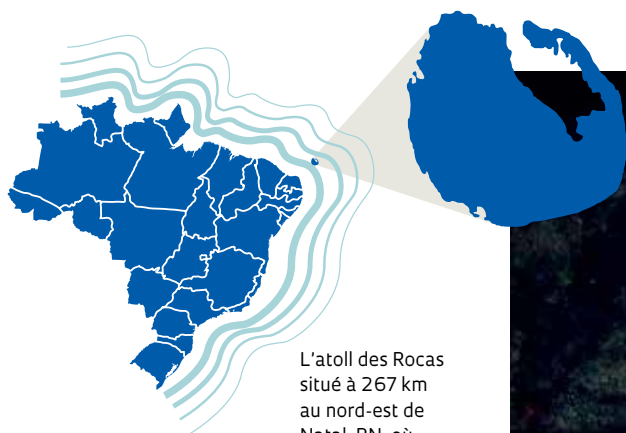
mental Biology of Fishes, les biologistes attribuent ce nombre élevé de séances de nettoyage au fait que la majorité (82 %) des clients soient herbivores et que le labre soit l'une des espèces les plus abondantes dans cette zone.

Les trois biologistes indiquent que les poissons nettoyeurs ont des comportements singuliers dans cet atoll. À Fernando de Noronha, seuls les jeunes labres s'alimentent des parasites d'autres poissons, dans l'atoll des Rocas les adultes conservent également cette habitude mais évitent de s'approcher d'espèces qui pourraient les manger. « Nous supposons que cette espèce, en quelque sorte, parvient à identifier les espèces dangereuses, probablement à travers un processus évolutif qui a éliminé les imprudents », déclare Juan Pablo Quimbayo.

Le poisson néon de l'atoll a une diète variée abandonnant les habitudes herbivores existantes à d'autres endroits pour s'alimenter de vers et même pour s'approcher de clients carnivores comme le requin nourrice (*Ginglymostoma cirratum*) qui peut atteindre 4 mètres de long pour un poids de 100 kilos. Du mois d'août 2010 à avril 2015, Juan Pablo Quimbayo a identifié 5 espèces de poissons se comportant comme des nettoyeurs autour de l'île Malpelo située à 400 km à l'ouest de la côte colombienne, sans pour autant être spécialisées comme



La crevette *Lysmata*, aux antennes blanches, entre les nageoires ventrales d'un *Holocentrus*



L'atoll des Rocas
situé à 267 km
au nord-est de
Natal, RN, où
huit espèces
nettoyeuses vivent
dans les récifs

celles de l'atoll. Dans 56 % des 120 interactions, les clients étaient des espèces prédatrices comme des mérous, des raies et des requins.

RITUELS DE NETTOYAGE

Les nettoyages, plus fréquents en début et fin de journée, peuvent durer quelques secondes jusqu'à plusieurs minutes. Les séances de nettoyage ont généralement lieu dans des endroits spécifiques, appelés stations de nettoyage, à proximité des roches ou des coraux et elles suivent un rituel spécifique. Les clients entrent dans les stations de nettoyage et adoptent des couleurs plus vives ou nagent la tête en bas pour indiquer qu'ils se laisseront nettoyer et n'attaqueront pas. « Ils sont dans une zone de trêve où personne ne mange personne », explique Juan Pablo Quimbayo. Il explique que les nettoyeurs ne doivent pas abuser de leur chance pour ne pas prendre le risque d'être mangés pendant leur service. « Si le nettoyeur enlève un morceau de peau ou de mucus et que le client n'apprécie pas, il peut réagir par une morsure brusque ».

Selon une étude coordonnée par David Brendan Vaughan, de l'Université James Cook, en Australie, et publiée en 2016 dans la revue *Fish and Fisheries*, 208 espèces de poissons nettoyeurs vivent dans les différentes baies et îles du monde, soit l'équivalent de 3 % des 6 500 espèces vivant dans les récifs et moins de 1 % du total des 30 mille espèces de poissons. Les crevettes nettoyeuses sont encore plus rares. Parmi les 51 espèces déjà identifiées, deux vivent dans l'atoll comme *Lysmata grabhami*, avec des antennes blanches et une taille de 6 cm, et *Steno-*



Pomacanthus paru
(noir avec des rayures
jaunes) nettoyant
Acanthurus

pus hispidus, avec un corps rayé de blanc et de rouge, des antennes blanches et une taille de 10 cm. Elles sont respectivement responsables d'à peine 3,7 % et 2,7 % de tous les épisodes de nettoyage enregistrés et entrent principalement en action quand les poissons nettoyeurs ne sont pas à proximité, indique Juan Pablo Quimbayo dans une étude réalisée en 2012 dans les îles du Cap-Vert et à Saint-Thomas et Prince, au large des côtes africaines.

ÎLES EN DANGER

Les relevés du Sisbiota-Mar montrent que l'atoll des Rocas est la plus préservée des quatre îles océaniques brésiliennes compte tenu de son statut de réserve biologique et de son accès strictement réservé aux chercheurs. « Même à Fernando de Noronha, qui jouit d'un statut de parc national, la zone préservée subvient aux besoins d'une population humaine croissante et certaines activi-

tés comme la pêche sont autorisées dans une zone à l'extérieur du parc », observe Carlos Ferreira. D'après lui, les poissons qui se trouvent dans la zone protégée se déplacent vers celle non protégée où ils sont pêchés.

Dans l'archipel de São Pedro et de São Paulo, situé à mille kilomètres de Natal, il n'y a déjà plus de requins et les bancs de thons ont diminué à cause de la pêche excessive, selon Carlos Ferreira. L'île de Trindade située à mille deux cent km à l'est de Vitória, capitale de l'état d'Espírito Santo, est menacée depuis quelques années par la pêche sous-marine, « car elle ne bénéficie d'aucun statut en termes de protection », dit-il. L'équipe du Sisbiota-Mar a l'intention de revenir à Trindade au mois d'août pour sa cinquième expédition dans le cadre du projet de suivi annuel des communautés d'organismes marins. ■

Articles scientifiques

QUIMBAYO, J. P. *et al.* Cleaning interactions at the only atoll in the South Atlantic. *Environmental Biology of Fishes*. v. 100, n. 7, p. 865-73. 2017.

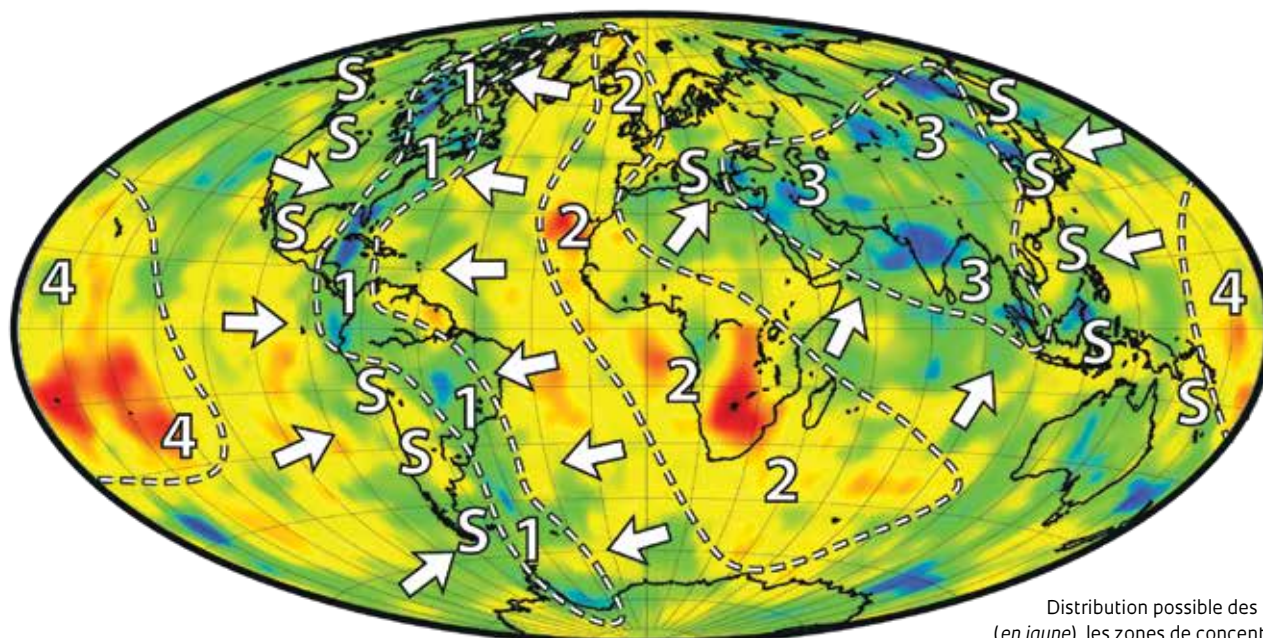
VAUGHAN, D. B. *et al.* Cleaner fishes and shrimp diversity and a re-evaluation of cleaning symbioses. *Fish and Fisheries*. v. 18, p. 698-716. 2017.

Vestiges de la Terre primitive

Les profondeurs de la planète abriteraient des blocs rigides de plusieurs milliers de kilomètres de long

Carlos Fioravanti

PUBLIÉ EN MAI 2017



Distribution possible des *beams* (en jaune), les zones de concentration des panaches (en rouge et les régions 2 et 4) et de plongée des plaques tectoniques (en bleu et les régions 1 et 3). Les flèches indiquent le sens de déplacement du manteau ; S sont les plaques à l'arrêt

L'intérieur de la terre abriterait d'immenses blocs rocheux plus denses et plus rigides que les matériaux qui les entourent et aideraient à stabiliser les mouvements du manteau, couche située entre la surface et le noyau et qui représente 80 % du volume de la planète. Les anciennes structures du manteau enrichies en bridgmanite et appelées *beams*, sigle en anglais, auraient des milliers de kilomètres de long, se trouveraient à au moins mille kilomètres de profondeur et flotteraient dans le manteau inférieur, se rapprochant de la limite du noyau terrestre, à environ 2 900 km de la surface.

Une équipe composée de chercheurs de l'Institut de Technologie de Tokyo, de l'École Polytechnique de Zurich et de la physicienne brésilienne Renata Wentzcovitch, de l'Université Columbia, aux États-Unis, a émis cette nouvelle hypothèse sur le fonctionnement et la composition du manteau inférieur dans une étude publiée dans la revue *Nature Geoscience* le 27 février. Cette approche, bien qu'encore incomplète, explique certains phénomènes comme la montée de matériaux rocheux moins denses du manteau vers la surface et la trajectoire de la plongée des bords des plaques tectoniques, formées

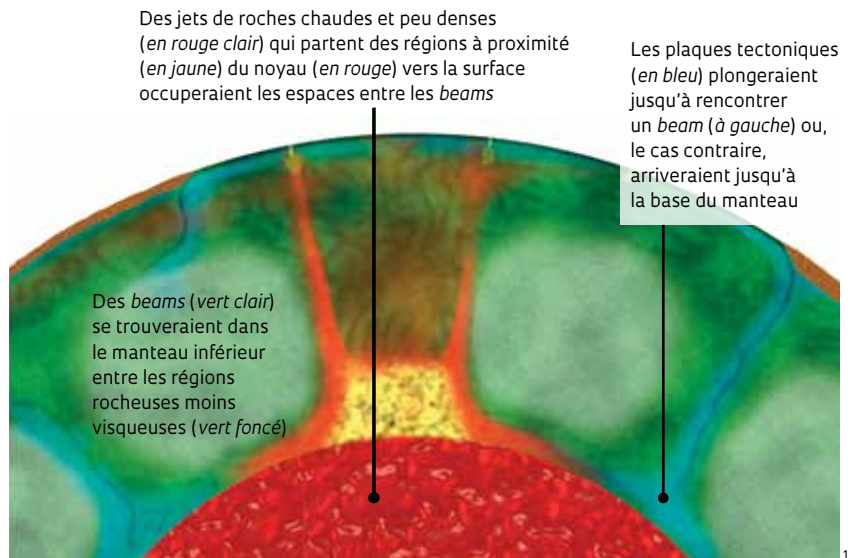
par la croûte et par la partie supérieure du manteau, à l'intérieur de la planète. Ces deux phénomènes pourraient avoir lieu dans des régions moins visqueuses entre les *beams*.

Les chercheurs ont émis cette hypothèse en se basant sur deux évidences sur la composition du manteau. La première est obtenue de manière indirecte par des modèles tomographiques qui mesurent la densité à l'intérieur de la planète à partir des variations de la vitesse des ondes sismiques. Ces ondes sismiques, provoquées par des tremblements de terre, parcourent l'intérieur de la planète à des vitesses qui dépendent de la densité et de la température du matériau qu'elles traversent.

La deuxième évidence est directe. Elle concerne les météorites primitives appelées chondrites et riches en magnésium et en silicium. Ces roches, bien que provenant de l'espace, sont constituées du même matériau qui a formé l'intérieur de la terre il y a 4,5 milliards d'années. Ce type de météorites indique que la composition du manteau inférieur pourrait être différente de celle du manteau supérieur, couche la plus proche de la surface. La couche la plus externe du manteau commence juste en dessous de la croûte terrestre et atteint 660 km de profondeur. Elle est constituée de roches dont la température augmente progressivement avec la profondeur pour atteindre 1 600 degrés Celsius (°C) à la limite du manteau inférieur où les roches

Découvertes profondes

Les *beams* expliqueraient les mouvements des plaques tectoniques vers le noyau terrestre



sont moins denses et où la température passe de 1 600 °C à 3700 °C à la limite du noyau terrestre.

Les chercheurs ont découvert que ces indications sur la composition de l'intérieur de la terre ne concordaient pas avec une hypothèse émise dans les années 60, selon laquelle la composition du manteau supérieur et inférieur devrait être identique. « La proportion entre la quantité de magnésium et de silicium de la Terre devrait être la même que celle du soleil car les deux se sont formés à partir de la même nébuleuse », suppose Renata Wentzcovitch. « Le manteau supérieur contient 25 % de plus de magnésium que de silicium sous la forme de silicate de magnésium (Mg_2SiO_3). Si cette proportion se maintient dans le manteau inférieur, il y a moins de silicium sur Terre que les estimations prévues en se basant sur la composition du soleil et des chondrites ».

Les chercheurs du groupe, partant de l'hypothèse que le manteau inférieur devrait avoir plus de silicium, ont augmenté la proportion de cet élément chimique et ont réalisé des simulations informatiques en deux dimensions sur les mouvements possibles de cette couche plus profonde de la Terre. Les simulations montrent qu'une bonne partie du manteau formé juste après la naissance de la

planète serait toujours là sous la forme d'un minéral appelé pérovskite ou bridgmanite ($MgSiO_3$), sans se mélanger avec la région voisine formée de roches ayant une viscosité 20 à 30 fois inférieure. Ce matériel plus visqueux, les *beams*, pourrait donc correspondre aux vestiges des premiers temps de la planète. « Nos simulations ont montré que ces blocs rigides ne se sont pas dilués au cours de l'évolution de la Terre », explique la chercheuse qui a étudié les possibles processus de formation et de transformation de la bridgmanite à l'intérieur de la planète. « Le silicium qui semble manquer doit être caché dans le manteau inférieur ».

« Nous ne connaissons pas la quantité exacte de *beams*, mais il ne devrait pas y en avoir plus de trois ou quatre », affirme Renata Wentzcovitch. Notre prochain travail sera de les délimiter avec précision à travers une analyse détaillée de la variation de la vitesse des ondes sismiques ». Leur existence est difficile à démontrer. Un groupe international de scientifiques a annoncé au mois d'avril qu'en 2030 ils seront probablement les premiers à perforer le manteau, avec le navire Chikyu, qui fore jusqu'à 11 km de profondeur, mais encore à mille km de l'endroit où les blocs riches en silicium pourraient se trouver.

Des météorites de type chondrite, comme celle-ci, découverte au nord-ouest de l'Afrique, permettent de mieux comprendre la composition du manteau inférieur de la Terre





Une équipe internationale de scientifiques a l'intention d'utiliser ce navire, le Chikyu, pour perforer la croûte terrestre et arriver au manteau en 2030

On suppose maintenant que les plaques tectoniques pourraient plonger dans la région moins visqueuse entre les *beams* et arriver au fond du manteau. Certaines plaques s'arrêtent cependant à environ mille km de profondeur, probablement bloquées par un *beam*, qui stopperaient leur plongée. Dans l'autre sens, le matériau du manteau profond pourrait également monter à la surface par les régions situées entre les blocs rocheux.

Cette étude révèle également que les *beams* pourraient définir l'origine et la trajectoire des panaches, nom donné aux jets de roche chaude et peu denses de 100 à 200 km de diamètre qui partent de la région située à la limite du manteau et du noyau vers la surface pour donner naissance aux régions volcaniques comme les archipels de Fernando de Noronha, Hawaï ou les Galapagos. Partant de cette hypothèse, les chercheurs ont créé une carte qui indique une probable répartition des *beams* et des régions riches en panaches qui se concentrent principalement dans le sud de l'Afrique et dans la région centrale de l'océan Pacifique.

LIMITES ET INTERACTIONS

Dans un commentaire publié dans le même numéro de la revue *Nature Geoscience*, le géophysicien Frédéric Deschamps, chercheur à l'Institut

Le prochain travail sera de délimiter les *beams* à travers la variation de la vitesse des ondes sismiques

des Sciences de la Terre de l'Académie Chinoise, à Taiwan, indique que l'hypothèse des *beams* pourrait expliquer le mouvement des plaques tectoniques dans les régions du manteau moins visqueuses et aiderait à localiser les régions volcaniques au-dessus des panaches. Il pense cependant que le modèle en deux dimensions n'est pas assez élaboré pour décrire entièrement l'hétérogénéité spatiale des mesures de la vitesse des ondes sismiques à des profondeurs supérieures à 2 500 km. « Des simulations

en trois dimensions seraient nécessaires pour mieux comprendre la situation », suggère-t-il.

« La simulation présentée dans la revue *Nature Geoscience* est une étape de plus dans la compréhension du manteau inférieur », commente le géophysicien Eder Molina, professeur à l'Institut d'Astronomie, Géophysique et Sciences Atmosphériques de l'Université de São Paulo (IAG-USP). « La modélisation n'explique pas certains registres tomographiques et ceci est peut-être dû aux limitations du modèle en deux dimensions, à une erreur dans le modèle, ou à la méthode de détection des ondes sismiques qui n'est pas infaillible ».

« Le modèle géodynamique proposé est le plus simple possible pour pouvoir déboucher sur des résultats plausibles. Il y a cependant d'autres éléments chimiques, comme le fer, l'hydrogène et l'oxygène qui peuvent modifier la viscosité des roches du manteau, même en petites proportions », déclare le physicien João Francisco Justo Filho, professeur à l'École Polytechnique de l'USP qui collabore avec Renata Wentzcovitch depuis 2007, mais qui n'a pas participé à l'étude publiée dans la revue *Nature Geoscience*. Dans une étude publiée en 2013 dans la revue *Physical Review Letters*, Wentzcovitch, Justo Filho et Zhongqing Wu, de l'Université du Minnesota, aux États-Unis, ont démontré que l'augmentation de la pression dans les couches les plus profondes de la planète pourrait modifier le magnétisme du fer, augmenter la viscosité des roches avec un autre minéral outre la bridgmanite, le ferropériclase, et favoriser la formation de *beams*. ■

Articles scientifiques

BALLMER, M. D. *et al.* Persistence of strong silica-enriched domains in the Earth's lower mantle. *Nature Geoscience*, v. 10, p. 236-40, 2017.

WU, Z. *et al.* Elastic anomalies in a spin-crossover system: Ferropériclase at lower mantle conditions. *Physical Review Letters*, v. 110, p. 228501, 2013.

Quand le vide est chaud

Des Brésiliens réalisent une expérience pour démontrer que l'espace vide peut échauffer un objet en mouvement accéléré

Igor Zolnerkevic

PUBLIÉ EN MAI 2017

Une expérience réalisée par un groupe de physiciens théoriciens paulistes avec des accélérateurs de particules de la dernière génération pourrait démontrer l'existence de l'effet Unruh. Ce phénomène, proposé il y a plus de 40 ans, est une radiation composée de particules élémentaires qui ne pourrait être enregistrée qu'avec un corps soumis à des accélérations extrêmes. Si l'existence de cet effet se vérifie, l'espace vide doit être plus chaud pour un hypothétique observateur en mouvement accéléré que pour un voyageur se déplaçant à une vitesse constante. Dans le deuxième cas la température du vide est le zéro absolu. Selon les calculs de l'équipe composée du physicien George Matsas et de son élève de doctorat Gabriel Cozzella, de l'Université Publique Pauliste (Unesp), et les physiciens André Landulfo, de l'Université Fédérale de l'ABC (UFABC), et Daniel Vanzella, de l'Université de São Paulo (USP), la chaleur produite par l'effet Unruh pourrait être détectée dans la radiation émise par des électrons accélérés en laboratoire.

Le travail de l'équipe suggère que l'on pourrait observer l'effet Unruh quand un nuage d'électrons déclenché par un accélérateur de particules se voit rapidement freiné à l'intérieur d'un tube en raison de la présence de deux champs puissants,

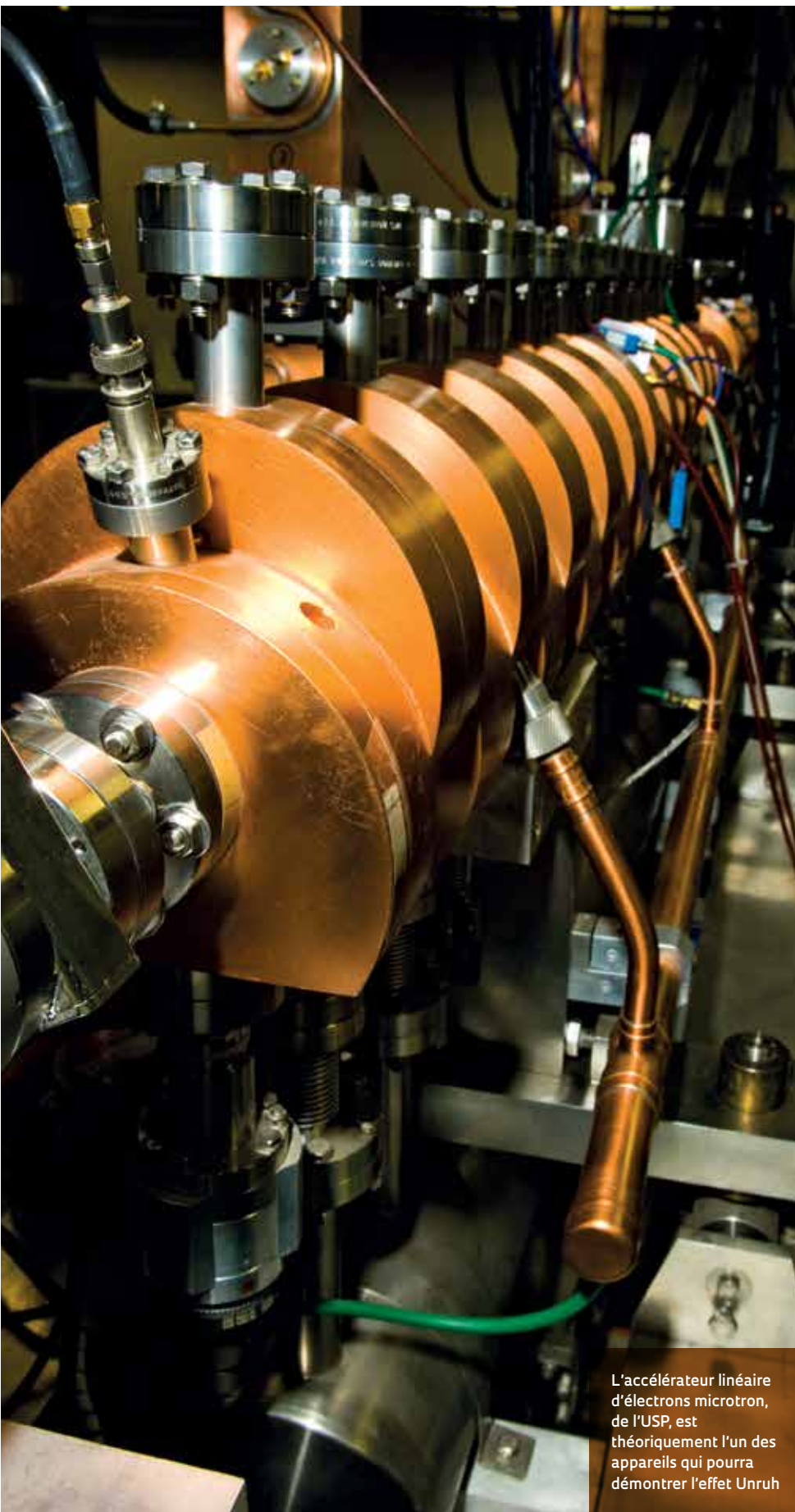
l'un électrique et l'autre magnétique. Les deux champs auraient une influence inverse au mouvement du nuage. Cette situation amènerait les électrons à freiner brutalement et à avoir une trajectoire en spirale tout en émettant des radiations lumineuses sur différentes longueurs d'onde. L'effet serait encodé sur la radiation émise par ces électrons comme une espèce de signature. « L'absence de l'effet Unruh, dans la radiation émise par les électrons avec des longueurs d'onde plus basses, remettra en cause les « sacro-saintes » prévisions de l'électrodynamique classique du XIX^e siècle », affirme George Matsas, qui avec Gabriel Cozzella, André Landulfo et Daniel Vanzella, a signé un article scientifique publié le 21 avril dans la revue *Physical Review Letters*, où ils réaffirment la faisabilité de l'expérience. Cette hypothèse va à l'encontre de l'opinion de certains physiciens qui doutent de la possibilité de confirmer cet effet de manière expérimentale avec les outils technologiques actuels.

Si cette idée se concrétise, l'existence de l'hypothétique phénomène pourrait théoriquement être démontrée au Brésil. « Je ne suis pas encore certain de la faisabilité de l'expérience », déclare le physicien expérimental Marcos Martins, coordonnateur du laboratoire de l'accélérateur linéaire d'électrons microton de l'USP, avec qui le groupe envisage la

possibilité de tester ce phénomène « La fréquence du signal de l'effet Unruh dans la radiation des électrons serait en mégahertz, tout comme la radiation émise par des stations de radio et de télévision mais avec une plus faible intensité, ce qui pourrait rendre sa détection impossible ».

ESSAIM DE PARTICULES

L'existence de cet effet a été envisagée en 1976 par le physicien théoricien William Unruh, de l'Université de Colombie Britannique au Canada. William Unruh a imaginé un détecteur de particules élémentaires se déplaçant de manière très accélérée. En voyageant en ligne droite dans un espace totalement vide on pouvait s'attendre à ce que le détecteur de particules ultra-acceléré enregistre le même nombre de particules qu'il enregistrerait s'il était à l'arrêt, soit zéro. Les calculs du Canadien ont cependant montré que le détecteur enregistrerait un essaim de particules élémentaires naissant du propre espace. Plus l'accélération du détecteur était élevée, plus chaude était la température du bain de particule où le détecteur était immergé. L'effet découvert par William Unruh complète de précédentes études du mathématicien nord-américain Stephen Fulling et a permis de clarifier les résultats obtenus de manière indépendante à la même époque par l'australien Paul Davies.



L'accélérateur linéaire d'électrons microtron, de l'USP, est théoriquement l'un des appareils qui pourra démontrer l'effet Unruh

La conclusion de Stephen Fulling, Paul Davies et William Unruh est la conséquence directe d'une des thèses les plus éprouvées de la physique, la théorie quantique des champs, base de l'ensemble des formules et des règles mathématiques décrivant le comportement de toutes les particules élémentaires connues. Les fondements de la théorie quantique des champs, proposés par différents physiciens entre 1920 et 1940, combinent les principes de la théorie de la relativité restreinte d'Albert Einstein et de la mécanique quantique.

La plupart des physiciens qui ont mené des recherches sur les conséquences de l'effet Unruh sont persuadés que le phénomène existe si la théorie quantique des champs s'avère totalement exacte. Cette théorie a été démontrée par des résultats obtenus par George Matsas et Daniel Vanzella, en 2001. Ils ont découvert que le temps de vie d'un proton soumis à une accélération extrême ne peut être calculé correctement que si l'on tient compte de l'effet Unruh. Mais tout le monde n'est pas convaincu. Certains théoriciens, comme Vladimir Belinski, du Centre International d'Astrophysique Relativiste, en Italie, soutiennent qu'il y a une erreur mathématique dans la déduction de l'effet, ce qui est contesté par William Unruh et d'autres. « Nous espérons que l'expérience convaincra les sceptiques de la cohérence de l'effet Unruh », déclare Stephen Fulling dans la revue *Science*, en commentant l'hypothèse des physiciens de São Paulo.

Sans vouloir entrer dans les débats, la radiation attendue de l'effet Unruh n'a pas été observée car elle est trop faible pour être détectée. « Pour que l'effet puisse créer un bain de particules élémentaires avec une température de 1 Kelvin (- 272 °C), il faudrait construire une sonde qui puisse résister à des accélérations des milliards de fois plus élevées que celles supportées par les fusées actuelles », explique Gabriel Cozzella, premier auteur de l'article. ■

Projet

Gravitation et théorie quantique des champs (n° 15/22482-2) ; Modalité Aide à la Recherche Régulière ; Chercheur responsable George Matsas (Unesp) ; Investissement 31 879,15 R\$.

Article scientifique

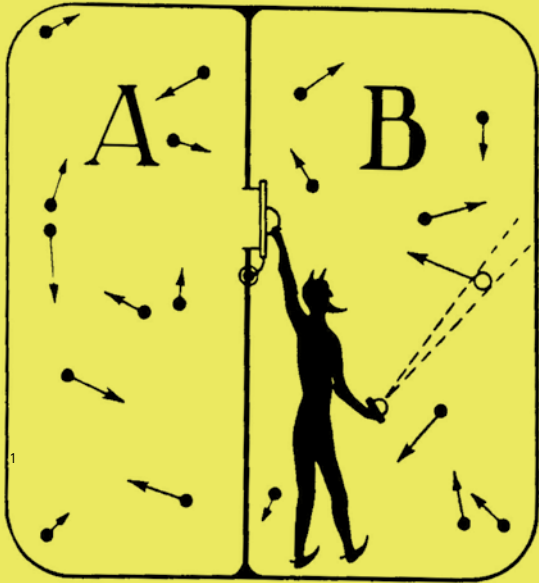
COZZELLA, G. *et al.* Proposal for observing the unruh effect using classical electrodynamics. *Physical Review Letters*. v. 118, 21 avril 2017.

Diablerie quantique

Un groupe de recherche brésilien est parvenu à contrôler la chaleur produite par des noyaux atomiques

Igor Zolnerkevic

PUBLIÉ EN JANVIER 2017



Travail de 1975 du mathématicien russe Alexander Lerner qui représente le démon de Maxwell dans un des récipients contenant les molécules de gaz qu'il devait sélectionner

La production aléatoire de chaleur dans le monde microscopique est l'un des principaux obstacles aux avancées nanotechnologiques. À mesure que les nanodispositifs deviennent toujours plus petits, plus complexes, avec des éléments à l'échelle moléculaire ou même atomique, ils présentent un risque de dangerosité élevé en termes de fluctuations quantiques durant leur fonctionnement. Ces fluctuations sont des variations brutales et imprévisibles d'énergie, régies par les lois probabilistes de la mécanique quantique, qui peuvent endommager les nanomé-

canismes. Sous la houlette de Roberto Serra, professeur à l'Université Fédérale de l'ABC (UFABC), un groupe de physiciens brésiliens a rédigé un article, publié début décembre 2016 dans la revue *Physical Review Letters*, dans lequel ils présentent une technique qui atténue ces fluctuations au niveau subatomique.

Les fluctuations microscopiques d'énergie et de chaleur peuvent endommager les nanomachines telle la surchauffe excessive et incontrôlée d'un moteur macroscopique conventionnel comme celui d'une voiture. Au cours de la Révolution Industrielle du XIX^e siècle, les recherches menées sur le fonctionnement

des soupapes de pression et des réfrigérateurs ont favorisé le développement de la thermodynamique classique (domaine de la physique qui étudie la conversion de l'énergie sous forme de chaleur en éner-

gie mécanique et vice versa). Ces dispositifs ont permis aux moteurs à vapeur et à combustion interne de devenir plus sûrs et plus efficaces. Roberto Serra et ses collègues font partie d'une communauté de physiciens à l'avant-garde des progrès nanotechnologiques qui développent une théorie plus générale et détaillée de la thermodynamique appelée thermodynamique quantique hors d'équilibre, visant à améliorer le fonctionnement de dispositifs à l'échelle moléculaire et atomique soumis à ces effets quantiques.

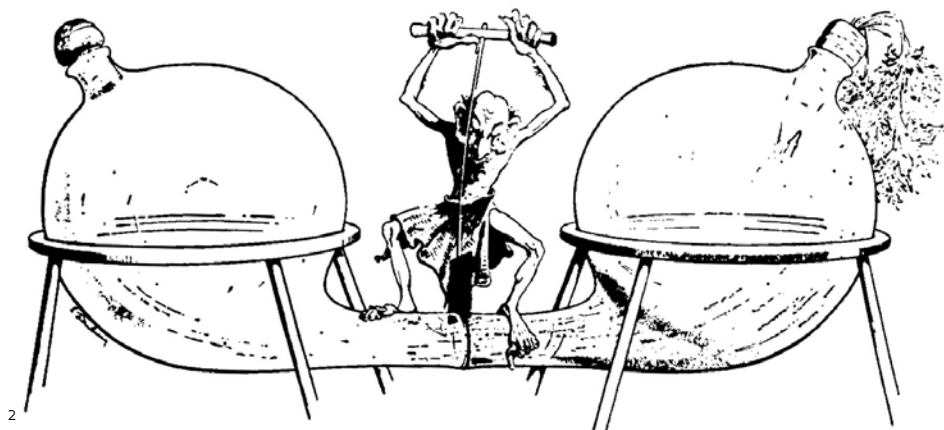
Pour développer cette nouvelle technique de contrôle, Roberto Serra et ses collègues se sont inspirés du « démon de Maxwell », un être fantastique imaginé par le physicien et mathématicien écossais James Clerk Maxwell (1831-1879). Maxwell a été l'un des premiers à comprendre que la température d'un volume donné de gaz dépend de la vitesse moyenne de déplacement des molécules qui le composent. Plus les molécules sont véloces, plus le gaz est chaud. Dans une lettre de 1867 adressée à son collègue Peter Tait, Maxwell avait imaginé un être microscopique et intelligent, capable de mesurer et d'enregistrer les vitesses de toutes les molécules de gaz. Dans cette expérience de pensée, l'être contrôlait un robinet reliant deux récipients identiques remplis d'un gaz maintenu à la même température. En ouvrant et en fermant rapidement ce robinet, la créature sélectionnait les molécules de gaz, qui devenaient moins rapides que la moyenne et donc plus froides dans un des récipients et plus rapides dans l'autre.

PÉCHÉ THERMODYNAMIQUE

Dans un article publié dans *Nature* en 1874, le physicien irlandais William Thomson, plus connu sous le nom de Lord Kelvin, a baptisé l'être intelligent de démon, pour souligner le fait que la créature, en réchauffant le gaz d'un récipient et en refroidissant simultanément le gaz de l'autre, commettait le péché de violer la deuxième loi de la thermodynamique.

Cette loi affirme qu'un corps isolé, ou qu'un ensemble de corps isolés, possède une propriété appelée entropie qui tend toujours à augmenter avec le temps. Pour un ensemble de particules, l'entropie est

Dans un article publié en 1955 dans la revue *American Journal of Physics*, le personnage imaginaire contrôle le flux des molécules de gaz de l'extérieur des récipients



le nombre de configurations possibles entre elles pour une situation donnée.

En sélectionnant les molécules de gaz en fonction de leur vitesse, le démon diminuerait le nombre de configurations possibles du système réduisant ainsi son entropie. L'article de William Thomson a donc jeté un doute chez les physiciens : le démon serait-il une simple fantaisie ou est-ce que cette expérience de pensée pointerait une faille dans la compréhension des lois de la thermodynamique ?

Plus d'un siècle plus tard, en 1982, le physicien nord-américain Charles Bennett, alors chercheur chez IBM, a compris que pour que cela puisse fonctionner dans la pratique le démon de Maxwell devrait enregistrer l'information relative à la vitesse des molécules du gaz sur un substrat physique tout comme les octets de la mémoire d'un ordinateur. Or, il se trouve que l'écriture et l'effacement de données sur une mémoire ne peut se faire sans produire de chaleur, conformément aux découvertes de Rolf Landauer autre chercheur d'IBM, quelques années auparavant. La production de chaleur augmente toujours l'entropie.

Quand on évalue l'augmentation et la réduction de chaleur dans les deux étapes de ce processus on s'aperçoit que la deuxième loi de la thermodynamique n'est jamais violée. En effet, le démon peut diminuer l'entropie à l'intérieur des récipients de gaz en sélectionnant les molécules, mais la chaleur produite pour enregistrer leur vitesse dans la mémoire augmente beaucoup plus l'entropie à l'extérieur des récipients. Les calculs

Une expérience avec des molécules de chloroforme et des impulsions électromagnétiques reproduit l'expérience de pensée proposée au XIX^e siècle

ont montré que la créature surnaturelle de Maxwell obéissait à toutes les lois de la physique et que sa fonction pourrait être reproduite, dans la pratique, par un mécanisme automatique contrôlé par la mémoire d'un ordinateur.

Depuis lors, des chercheurs ont déjà créé en laboratoire des mécanismes similaires à celui imaginé par Maxwell et toujours plus petits. Roberto Serra et ses collaborateurs ont été les premiers à projeter un démon de Maxwell complètement quantique. Dans un laboratoire du Centre Brésilien de Recherches Physiques (CBPF), à Rio de Janeiro, les chercheurs ont déclenché des ondes pulsées électromagnétiques sur une solution de

molécules de chloroforme (molécule formée d'un atome de carbone, d'un atome d'hydrogène et de trois atomes de chlore (CHCl_3). L'impulsion était calibrée pour produire des fluctuations quantiques dans l'énergie des noyaux des atomes de carbone des molécules. Les physiciens ont déclenché simultanément des ondes électromagnétiques supplémentaires afin d'ajuster l'interaction entre le noyau de carbone et le noyau d'hydrogène d'une même molécule.

Les chercheurs sont parvenus à utiliser le noyau d'hydrogène comme un démon de Maxwell qui stocke l'information sur l'état du noyau de carbone. Selon le niveau d'énergie du noyau de carbone, le noyau d'hydrogène agissait et limitait les fluctuations énergétiques de son voisin. L'action des noyaux d'hydrogène a permis que les fluctuations d'énergie des noyaux de carbone se produisent avec le moins d'entropie possible. « Nous avons projeté ce processus à l'aide d'une équation mathématique que nous avons déduite et qui associe l'information, l'entropie et l'énergie », explique Roberto Serra. « Il s'agit d'une équation générale qui pourra non seulement être appliquée à des noyaux atomiques mais également à tout système quantique comme des électrons et des photons ».

« C'est un travail passionnant », déclare Vlatko Vedral, physicien à l'Université d'Oxford, en Angleterre, qui a participé à une expérience menée en 2016 utilisant des faisceaux laser pour produire un démon de Maxwell. « Ils ont testé une formule qui décrit la production d'entropie dans des systèmes quantiques et dans des conditions générales. On ne sait pas encore pourquoi l'entropie de l'Univers tend toujours à augmenter et cette approche peut nous aider à comprendre les origines de la deuxième loi de la thermodynamique » ■

Projet

Institut National de Sciences et de technologie en Information Quantique (n° 2008/57856-6) ; Modalité Projet Thématique ; Chercheur responsable Amir Caldeira (Unicamp) ; Investissement 1 977,654,30 R\$ (pour tout le projet).

Article scientifique

CAMATI, P. A. *et al.* Experimental rectification of entropy production by Maxwell's demon in a quantum system. *Physical Review Letters*. v. 117. p. 240502. 5 décembre 2016.



Propulsion verte

L'Inpe et l'IAE développent un moteur
et un carburant durable pour fusées et satellites

Yuri Vasconcelos

PUBLIÉ EN JUIN 2017



Séquence de la réaction chimique entre une goutte de peroxyde d'hydrogène et le carburant formé d'éthanol, d'éthanolamine et de sels de cuivre. La température atteint 900°C et les gaz propulseraient un satellite en orbite. L'expérimentation a été réalisée à l'Inpe, à Cachoeira Paulista

Utiliser un carburant renouvelable pour fusées et satellites, avec un faible taux de toxicité, moins agressif pour la santé humaine et pour l'environnement, est l'objectif de deux groupes de chercheurs brésiliens : un de l'Institut National de Recherches Spatiales (Inpe) et l'autre de l'Institut de l'Aéronautique et de l'Espace (IAE), centre de recherche du Département de Science et Technologie Aérospatiale (DCTA) de l'échelon supérieur de l'Aéronautique. À l'Inpe, des scientifiques du Laboratoire Associé de Combustion et Propulsion (LCP), situé à Cachoeira Paulista (SP), ont développé un nouveau carburant spatial, également appelé propergol, qui est notamment composé d'éthanol et de peroxyde d'hydrogène, ou eau oxygénée. Ce carburant est en cela différent qu'il n'a pas besoin d'une source d'allumage, comme une étincelle, pour entrer en combustion et faire fonctionner le moteur. À l'IAE, situé à São José dos Campos (SP), la recherche menée en lien avec le Centre Aérospatial Allemand (DLR) était destinée à développer un moteur de véhicules lanceurs de satellite fonctionnant à l'éthanol et à l'oxygène liquide.

Les principaux propergols utilisés dans les fusées et les satellites sont l'hydrazine, qui est le carburant, et le peroxyde d'azote, la substance qui provoque la combustion. Ces substances sont performantes dans les propulseurs, mais elles présentent cependant des inconvénients. En plus d'être chers, l'hydrazine et ses dérivés sont cancérigènes, ce qui requiert une manipulation très délicate. Quant au peroxyde d'azote, il peut être fatal après quelques minutes d'exposition en cas de fuite ou de mauvaise manipulation.

La recherche d'un carburant spatial alternatif, moins nocif pour la santé et l'environnement, n'est pas une exclusivité d'institutions brésiliennes. Comme l'observe l'ingénieur Carlos Alberto Gurgel Veras, directeur de la section Satellites, Applications et Développement de l'Agence Spatiale brésilienne



Maquette de la fusée L75 développée à l'IAE, qui fonctionne avec de l'éthanol et de l'oxygène liquide

(AEB), des « agences spatiales de plusieurs pays – parmi elles la NASA, des États-Unis – font des recherches dans ce sens. Comme le Brésil ne maîtrise pas le cycle de production des propergols traditionnels utilisés dans les moteurs de fusées, développer un carburant alternatif serait une avancée significative pour le secteur ».

Avoir un carburant d'acquisition facile dans le pays, en grande partie renouvelable et à prix bas, fait partie des objectifs du développement technologique que vise l'industrie aérospatiale brésilienne. L'Inpe développe depuis plus de 20 ans des petits satellites de collecte de données environnementales et, en collaboration avec la Chine, pour une détection à distance, destinés à la saisie d'images de la surface terrestre. Tous ont été lancés par des fusées étrangères.

Le Brésil dispose d'une technologie sur les moteurs à propulsion avec des carburants solides pour de petites fusées utilisées dans des expérimentations scientifiques et technologiques. D'après l'ingénieur métallurgiste Daniel Soares de Almeida, responsable du projet à l'IAE, l'objectif principal du Brésil est de « maîtriser les technologies nécessaires pour le développement d'un moteur de fusée fonctionnant au propergol liquide. Pour lancer des satellites de grande taille, il est indispensable d'utiliser ce type de propulsion ».

Spécialiste en carburants de fusées et professeure d'ingénierie spatiale à l'Université Fédérale de l'ABC (UFABC), à São Bernardo do Campo (SP), l'ingénieure chimiste Thais Maia Araujo pense qu'il est important que le Brésil travaille à la création d'un propergol renouvelable pour le secteur : « En plus d'être plus sûr et plus facile à manipuler, le carburant en développement à l'Inpe est moins cher que les propergols tradi-

Alternatives dans le monde

La NASA et l'ASE ont des projets de propergols qui peuvent remplacer de manière avantageuse l'hydrazine

L'agence spatiale nord-américaine (NASA) prévoit de tester cette année un propergol destiné à remplacer l'hydrazine, le carburant traditionnel des fusées. Baptisé AF-M315E, c'est un liquide à base de nitrate d'ammonium, une substance plus facile à obtenir et moins dangereuse à manipuler que l'hydrazine. Débuté en 2012, le programme GPIM (*Green Propellant Infusion Mission*) de la NASA compte sur la collaboration du Laboratoire de Recherches de la Force Aérienne des États-Unis, chargé de la création du carburant, et des entreprises américaines Aerojet Rocketdyne, qui a projeté le propulseur, et Ball Aerospace & Technology, qui administre le projet. D'après Ball Aerospace & Technology, le nouveau

propergol possède une performance presque 50 % supérieure aux systèmes qui utilisent l'hydrazine. Grâce à cela, un même réservoir peut emporter un volume plus grand d'AF-M315E et augmenter, a priori, la durée des missions spatiales.

Le nouveau propergol est jugé vert par les nord-américains parce qu'il possède des avantages environnementaux : il est notamment moins toxique que l'hydrazine. Il sera utilisé pour manœuvrer un petit satellite dans l'espace. Pendant 13 mois, des altérations seront faites au niveau de l'altitude et de l'inclinaison orbitale du matériel pour démontrer la viabilité du système de propulsion.

L'Agence Spatiale Européenne (ASE) a également des candidats au titre

de carburant vert. Un des projets est celui du monopropérol LMP-103S, développé par l'entreprise suédoise Ecaps, partenaire de l'ASE. Le principal ingrédient est une substance connue sous le nom de dinitramide d'ammonium (ADN), obtenue par des processus chimiques dont les résidus sont moins nocifs pour l'environnement par rapport aux autres propergols spatiaux. Entrent également dans sa formation du méthanol, de l'ammoniaque et de l'eau.

D'après l'ECAPS, le nouveau carburant est plus stable, plus efficace et moins dangereux à manipuler que l'hydrazine. Avec lui, il est possible de réutiliser des composants des systèmes propulseurs qui utilisent l'hydrazine.



Banc de tests de moteurs à l'IAE, à São José dos Campos

tionnels et a l'avantage d'être durable. L'éthanol est un carburant renouvelable et largement disponible au Brésil ».

La recherche pour la création d'un propergol spatial à base d'éthanol a débuté il y a trois ans à l'Inpe. Coordonné par le chimiste industriel Ricardo Vieira, chef du LCP, le travail a pu compter sur la participation du doctorant Leandro José Maschio, de l'École d'Ingénierie de Lorena de l'Université de São Paulo (USP). Même s'il peut être utilisé dans des fusées, le nouveau carburant est surtout indiqué pour des satellites. « Notre propergol peut être mieux utilisé dans lesdits moteurs d'apogée, utilisés dans le transfert d'orbites de satellites », déclare Vieira. Une fois lancés dans l'espace, ces appareils doivent se positionner sur la bonne orbite et le déplacement se fait par le biais de propulseurs logés dans l'appareil ».

ADDITION STRATÉGIQUE

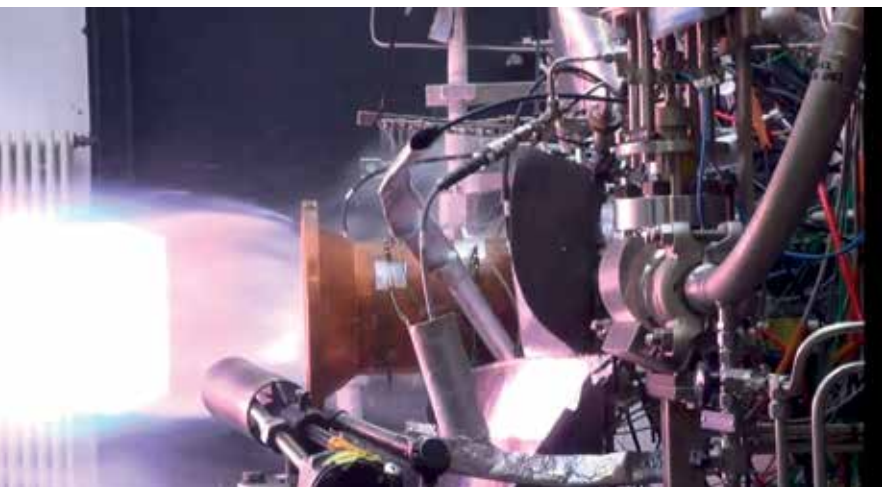
D'après Vieira, le nouveau propergol possède une efficacité proche des carburants traditionnels : « la composition contient près de 30 % d'éthanol, 60 % d'éthanolamine [composé organique résultant de la réaction entre l'oxyde d'éthylène et l'ammoniaque] et 10 % de sels de cuivre. [...] L'addition d'éthanol a été purement stratégique étant donné que le Brésil est un grand producteur d'alcool. Cependant, nous avons constaté pendant le développement que l'éthanol augmentait la performance du moteur, réduisait le temps d'allumage du mélange et rendait le carburant moins cher ».

Le carburant à l'éthanol est surtout indiqué pour la mise en orbite des satellites

Pour faire fonctionner le moteur, le mélange éthanol + éthanolamine + sels de cuivre réagit avec le peroxyde d'hydrogène. Vieira explique qu'« il fonctionne comme un oxydant en fournissant de l'oxygène à la réaction, élément inexistant dans l'espace. Le peroxyde d'hydrogène se décompose quand il entre en contact avec le carburant. La réaction est catalysée par le cuivre, génère de la chaleur – autour de 900°C –, ce qui provoque l'inflammation de l'éthanol de l'éthanolamine ». Le résultat est la production d'un grand volume de gaz responsable de la propulsion désirée. La combustion spontanée survient directement par le contact des composants chimiques. Le mélange est contrôlé par des logiciels et, si cela est possible, par des techniciens sur Terre.

L'autre avantage est le faible coût. L'Inpe importe de l'hydrazine au prix d'environ 153 euros le kilo (kg) et le peroxyde d'azote à 332 euros le kilo. Vieira précise : « Nous estimons le prix du carburant à base d'éthanol et d'éthanolamine à environ 9 euros le kilo et le peroxyde d'azote à 4 euros le kilo. Comme un satellite transporte plus de 100 kg de propergol, l'économie est grande sur cet aspect, mais relativement petite par rapport au coût final de l'appareil. Néanmoins, si on prend en compte son application future dans les étages des lanceurs de satellites, l'économie devient significative ».

Pour démontrer la viabilité et le fonctionnement du propergol, l'Inpe a projeté et testé dans son laboratoire un propulseur avec le nouveau carburant. L'opération a été une réussite. Selon Vieira, le prochain stade est de fabriquer un moteur plus grand et de faire des tests à vide, en simulant les conditions de l'espace : « L'IAE a déjà fait part de son intérêt pour financer la fabrication



Test du moteur L75
effectué en 2016
au Centre Spatial
Allemand, en
partenariat avec
des chercheurs
brésiliens

et les tests d'un moteur utilisant le carburant à base d'éthanol. Et Gurgel Varas d'affirmer : « Si nous établissons bien le cycle pour la réalisation du projet et trouvons les bons partenaires, je pense que le moteur à l'éthanol et à l'éthanolamine pourra être prêt dans les dix ans ».

À l'IAE, l'équipe en charge du projet d'un moteur de fusée alimenté par éthanol a fait un pas important avec la réussite des tests. Les tests ont été faits à la fin du deuxième semestre 2016 dans les laboratoires de l'Institut de Propulsion Spatiale du DLR à Lamoldshausen (Allemagne) – collaborateur de l'IAE dans le projet. Le moteur L75 utilise de l'éthanol de meilleure qualité que celui du secteur automobile et de l'oxygène liquide. Son nom fait référence au carburant liquide (L) et à la poussée du moteur (la force qui le pousse) de 75 kilonewtons (kN) – suffisant pour soulever du sol un camion de 7,5 tonnes.

DOUBLE PERFORMANCE

Le projet du moteur L75 a débuté à l'IAE en 2008. Cinq ans plus tard, une collaboration a été mise en place avec des techniciens et des scientifiques du DLR. Dans les tests effectués cette année en Allemagne, deux têtes d'injection de carburant ont été testées ; aux concepts distincts, elles ont été développées simultanément par des chercheurs de l'IAE et du DLR. L'objectif des tests était de vérifier des paramètres de performance de carburant et de définir la meilleure technologie propulsive. Les deux têtes diffèrent dans la manière dont le carburant est pulvérisé dans la chambre de combustion et mélangé à l'oxygène.

À la fin des années 1960, des fusées de l'Institut Max-Planck ont été lancées du Centre de la Barreira do Inferno

De l'avis de l'Allemande Lysan Pfützenreuter, ingénieure aérospatiale et administratrice du projet au DLR, « les principaux objectifs ont été atteints dans cette première série de tests. Un total de 42 allumages a été réalisé avec succès sur une période de 20 jours. Nous avons pu analyser de près, parmi d'autres choses, le comportement et la stabilité du système pendant l'allumage et le démarrage dans la chambre de poussée ». Des analyses préliminaires des résultats ont montré que les deux têtes avaient fait preuve de la même performance.

La coopération entre l'IAE et le DLR remonte à la fin des années 1960, quand le Centre de Lancement de la Barreira do Inferno (CLBI, Rio Grande do Norte) a été utilisé pour lancer des fusées en lien avec des expérimentations scientifiques de l'Institut Max-Planck de Physique Extraterrestre. Vers 2000, la coopération s'est consolidée avec la signature d'un accord pour le développement conjoint d'une fusée-sonde à deux étages, la VSB-30, qui a fait son vol de qualification en 2004. Plus récemment, en 2012, les Allemands ont utilisé une fusée-sonde brésilienne, la VS-40M, pour emmener dans l'espace l'expérimentation *Shex II* (*Sharp Edge Flight Experiment*), dont l'objectif était de développer des technologies tels que les systèmes de protection thermiques pour les navettes spatiales capables d'aller dans l'espace et de revenir sur Terre en supportant les conditions difficiles de rentrée dans l'atmosphère.

D'après l'IAE, il faudra encore une dizaine d'années avant que le moteur L75 effectue son premier vol de qualification, quand tous les paramètres du propulseur seront testés. Le projet a été divisé en quatre étapes (étude de viabilité, projet préliminaire, projet détaillé et qualification). Aujourd'hui, il en est à la conclusion de la deuxième étape. Almeida explique que « la prochaine étape est d'élaborer le projet détaillé, ce qui devra avoir lieu entre 2017 et 2021. Après, pour la période 2022-2026, le moteur entrera dans la phase de qualification, et ensuite il pourra réaliser ses premiers vols ». ■

Projet

Étude de l'allumage hypergolique du peroxyde d'hydrogène avec de l'éthanol catalytiquement promu (n° 14/23149-2); Modalité Aide à la recherche – Régulière; Chercheur Responsable Ricardo Vieira (Inpe); Investissement 156 558,58 R\$ (BRL)

Des plantations de canne à sucre plus résistantes

La culture d'une variété de canne à sucre transgénique développée par une entreprise de Piracicaba a été approuvée

PUBLIÉ EN AOÛT 2017

Le Brésil est le leader mondial en matière de production de canne à sucre avec 8,9 millions d'hectares cultivés et une récolte estimée à 647 millions de tonnes cette année. Ce chiffre n'est pas plus élevé en raison de la mineuse de la canne, la chenille du papillon *Diatraea saccharalis*, principal fléau des plantations de canne à sucre. Les pertes dues à cet insecte dans le pays représentent un manque à gagner d'environ 5 milliards de Réais, incluant les dépenses engagées en matière de contrôle, et affectent une zone de 521 mille hectares. Pour essayer de renverser cette situation, le Centre de Technologie de la Canne à sucre (CTC), une entreprise brésilienne située à Piracicaba (SP), a développé une canne à sucre transgénique qui résiste à ce fléau. Cette variété, baptisée CTC 20 Bt, a été approuvée au mois de juin de cette année par la Commission Technique Nationale de Biosécurité (CTNBio), organisme chargé de



La mineuse de la canne cause un préjudice de 5 milliards de Réais et affecte 521 mille hectares de plantations de canne à sucre dans le pays

l'analyse et de l'évaluation en matière de biosécurité d'organismes génétiquement modifiés (OGM) au Brésil.

Pour Antonio de Padua Rodrigues, directeur technique de l'Union de l'Industrie de la Canne à Sucre (Unica), dont les adhérents représentent plus de la moitié de la production nationale, le développement de la canne à sucre transgénique du CTC traduit les progrès technologiques du secteur sucro-énergétique brésilien. « Avec l'arrivée définitive sur le marché de ces versions génétiquement modifiées, les producteurs auront des plantations de canne plus rentables et résistantes aux maladies et aux ravageurs », explique une note de l'Union.

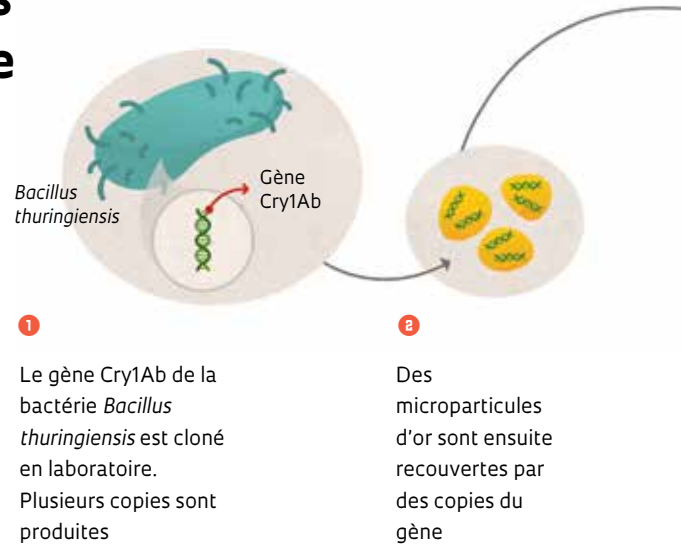
Suite à l'approbation du CTNBio, la canne transgénique sera introduite progressivement avec un suivi des zones cultivées. Elle sera tout d'abord vendue par des producteurs sélectionnés, principalement dans la région centre-sud où la variété s'adapte le mieux. Ces producteurs devront s'engager à suivre un modèle standard de production et de multiplication sans industrialisation. Toute la canne produite durant deux ou trois ans sera exclusivement utilisée comme plant. « Nous allons également développer des variétés génétiquement modifiées pour d'autres régions et pour différents types de sol », déclare l'ingénieur agronome William Lee Burnquist, directeur de l'Amélioration Génétique du CTC.

Le processus transgénique

Comment les chercheurs brésiliens ont créé la variété CTC 20 Bt

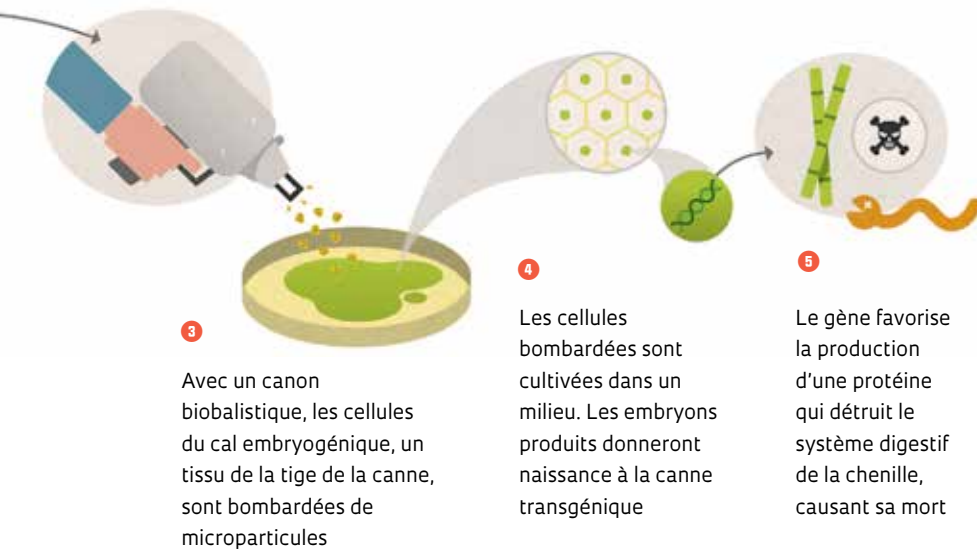
SOURCE CTC

Le Brésil est le leader mondial en matière de production de canne à sucre avec 8,9 millions d'hectares cultivés



Le cycle de la mineuse commence quand le papillon dépose ses œufs sur les feuilles de la canne à sucre. Quand les chenilles naissent, elles commencent à manger la pulpe des tiges. Les galeries creusées par les chenilles fragilisent la plante qui peut être abattue par le vent. Elles favorisent également l'attaque de champignons comme les variétés *Colletotrichum falcatum* et *Fusarium moniliforme*, responsables de la pourriture rouge, maladie qui diminue la pureté du jus de canne et la qualité du sucre et de l'éthanol produits.





3 Avec un canon biobalistique, les cellules du cal embryogénique, un tissu de la tige de la canne, sont bombardées de microparticules

4 Les cellules bombardées sont cultivées dans un milieu. Les embryons produits donneront naissance à la canne transgénique

5 Le gène favorise la production d'une protéine qui détruit le système digestif de la chenille, causant sa mort

La canne transgénique a été développée pour faire face à ces problèmes. « Le gène Cry1Ab de la bactérie du sol *Bacillus thuringiensis* a été introduit dans le génome de la plante. Il s'agit du même gène utilisé pour la culture du maïs, du soja et du coton génétiquement modifiés pour résister aux ravageurs », explique William Lee Burnquist. Le gène Cry1Ab est cloné en laboratoire par ingénierie génétique. Des microparticules d'or sont ensuite recouvertes avec des copies du gène et introduites dans le génome de la canne qui se met à produire une protéine toxique pour la chenille. La plante modifiée est multipliée en pépinière et ensuite cultivée dans les plantations.

« Dès que la chenille naît, elle entre en contact avec cette toxine », explique William Lee Burnquist. « Quand elle sort de l'œuf, elle commence à s'alimenter de la plante, ingère la protéine et meurt avant d'avoir pu creuser une galerie dans la tige ». Actuellement, les producteurs combattent la mineuse de la canne avec des pesticides et réalisent un contrôle biologique à l'aide de petites guêpes de l'espèce *Cotesia flavipes* qui sont lâchées dans les cultures pour parasiter les chenilles.

Les recherches du Centre ont débuté en 1994 et ont ensuite bénéficié des retombées positives de la formation professionnelle portée par le Projet Génome Canne de 1998 à 2004. Ce projet a été développé par différents groupes dans des universités et des instituts de recherche avec le soutien financier de la FAPESP et du CTC. « Au cours de cette

période, la formation professionnelle en biotechnologie de la canne s'est énormément développée. De nombreux professionnels du CTC ont collaboré au projet Génome de la Canne chez Alellyx (entreprise d'innovation du projet génome, rachetée ensuite par Monsanto) ou ont bénéficié de formations dispensées par les membres du projet », déclare William Lee Burnquist.

L'entreprise a déposé une demande d'autorisation de mise sur le marché auprès du CTNBio fin 2015. Les aspects

La nouvelle variété ne présentait aucun danger d'un point de vue environnemental, végétal, ou de santé humaine et animale

en matière de biosécurité de la plante génétiquement modifiée ont été analysés par différentes sous-commissions du CTNBio qui ont considéré que la nouvelle variété ne présentait aucun danger d'un point de vue environnemental, végétal, ou de santé humaine et animale. Les études du CTC montrent que le gène Cry1Ab est éliminé des dérivés de la canne au cours de la fabrication du sucre et de l'éthanol et n'affecte pas le sol.

Le CTC a déjà sollicité auprès des autorités étasuniennes, canadiennes et d'autres pays l'autorisation de mise sur le marché du sucre produit à partir de la canne transgénique, ce qui ne devrait avoir lieu que d'ici quelques années. On estime qu'environ 40 % des 150 nations vers lesquelles le Brésil exporte, imposent des barrières commerciales au sucre issu de la canne à sucre transgénique.

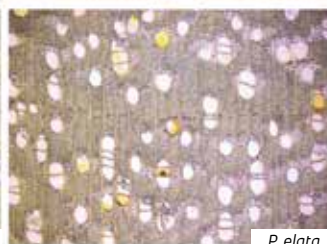
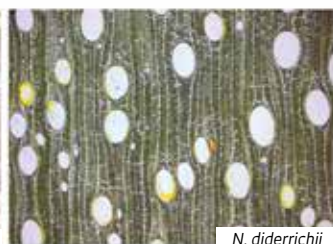
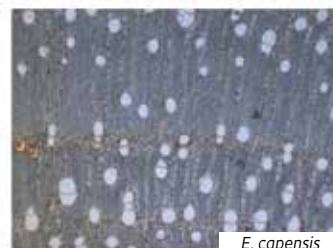
Une autre recherche visant à protéger la canne contre les ravageurs est menée à l'École Supérieure d'Agriculture Luiz de Queiroz de l'université de São Paulo (Esalq-USP), à Piracicaba. L'ingénieur agronome Márcio de Castro Silva Filho s'y consacre depuis les années 90 afin de comprendre comment la canne réagit à l'attaque d'insectes.

Il y a quelques années, le chercheur a découvert un gène de la propre canne à sucre qui possédait une action antifongique. Ce gène, baptisé sugarina, stimule la production de substances toxiques qui détruisent les champignons vecteurs de la pourriture rouge. « Nous avons observé que les gènes expriment des protéines contre *Diatraea saccharalis* quand elle attaque la plante, et le font systématiquement, c'est-à-dire que tous les tissus du végétal produisent cette protéine », explique Silva Filho. « C'est différent dans le cas de la sugarina car il ne s'exprime qu'à l'endroit où la chenille attaque.

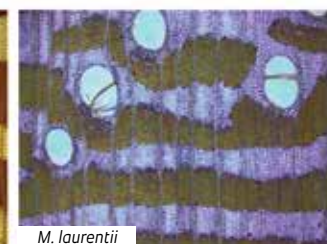
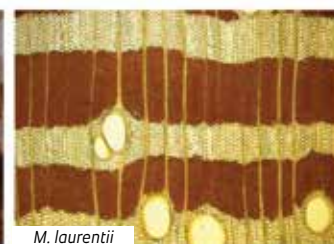
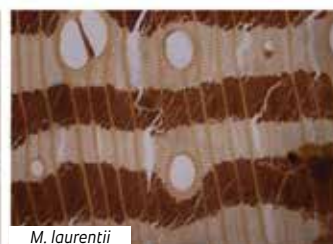
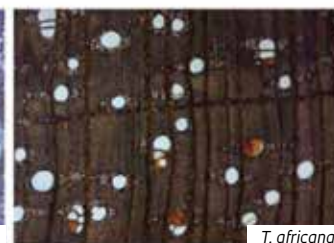
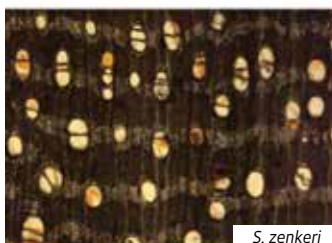
Cette découverte a incité le chercheur à étudier davantage ce phénomène. « Nous avons découvert que la protéine exprimée par la sugarina n'a pas d'effet contre la chenille mais contre les champignons *C. falcatum* et *F. Moniliforme* », explique-t-il. « Nous avons découvert récemment que des variétés de canne avec une plus grande expression de sugarina montrent de plus faibles niveaux de contamination par les champignons. Cette découverte favorisera le développement de variétés plus tolérantes ». ■

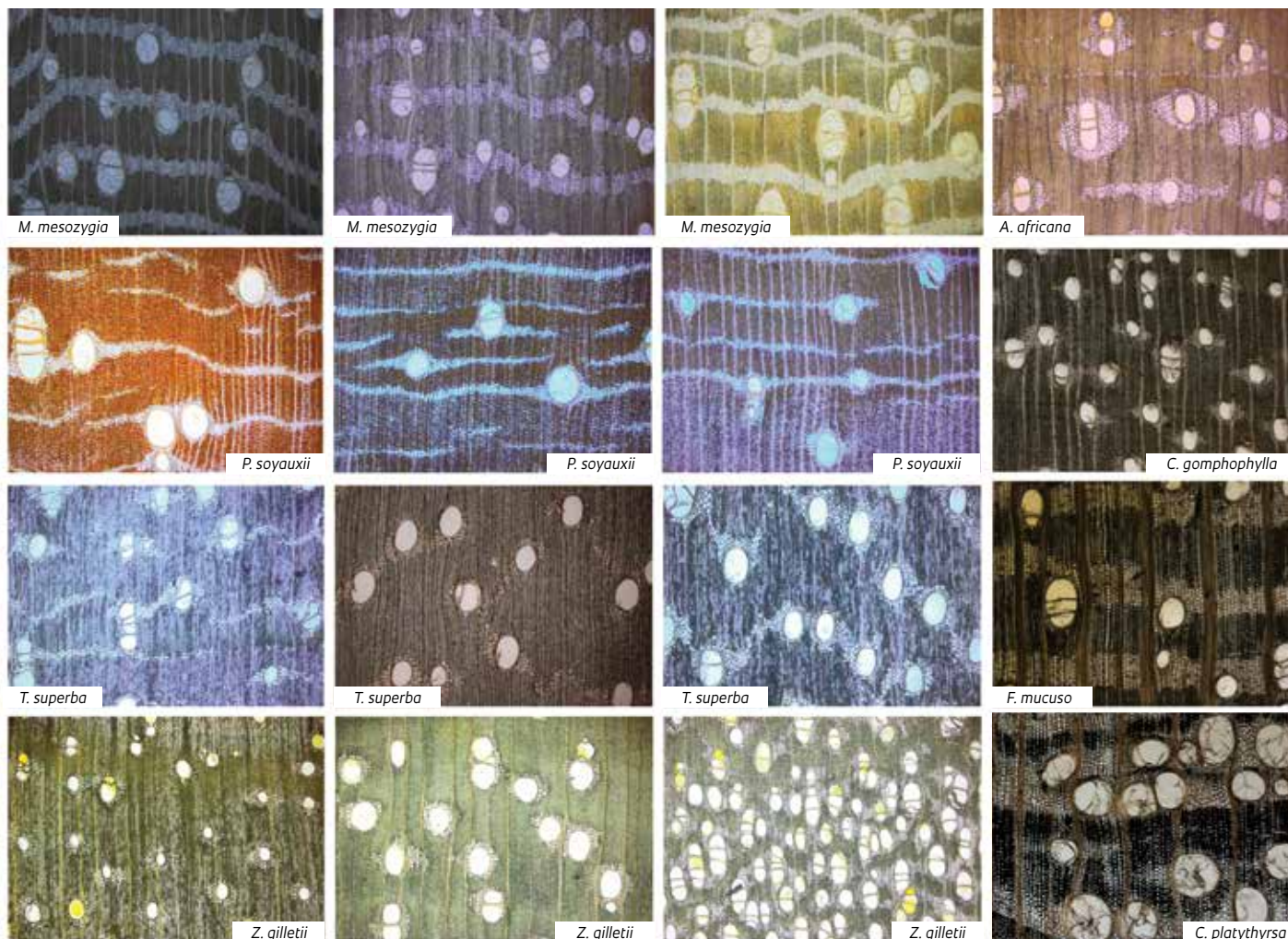
Identification des bois

PUBLIÉ EN JUILLET 2017



Des systèmes de vision informatique indiquent la qualité des planches et leur origine





Des images microscopiques montrent des détails de la structure de bois de différents types d'arbres d'Afrique

Deux systèmes de vision artificielle utilisant des images pour identifier et classer des bois ont été récemment développés à São Paulo. L'un d'eux, nommé NeuroWood, a été créé par des chercheurs de l'Université de l'état de São Paulo (Unesp – campus Itapeva) et de l'Institut des Sciences Mathématiques et de l'Informatique (IMC) de l'Université de São Paulo (São Carlos). Il se compose d'un ensemble de webcams, d'un ordinateur et d'un programme qui trie le bois en trois catégories : A (excellent), B (bon), et C (rejeté). Le second, créé à l'Institut de Physique de l'USP (São Carlos), est une méthode mathématique qui a donné naissance à un logiciel capable de déterminer de quelle espèce d'arbre vient la planche. Les deux techniques sont surtout destinées aux filières bois et ameublement.

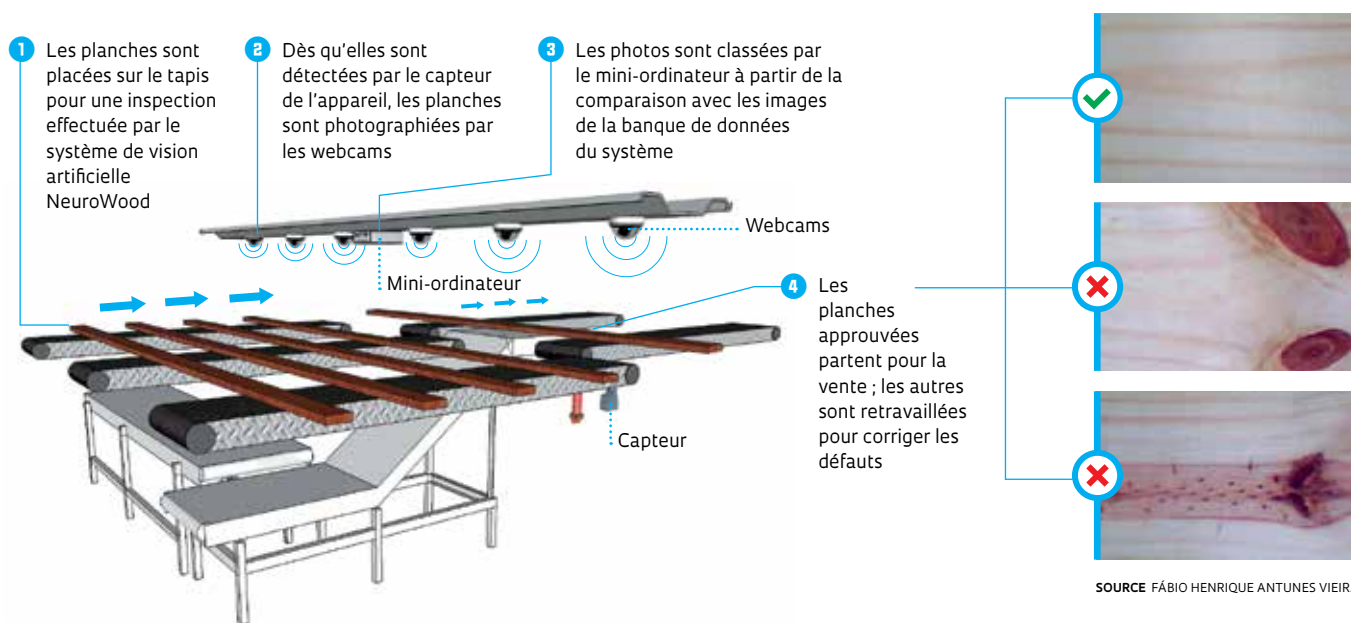
En temps normal, l'industrie du bois utilise des spécialistes qui déterminent la qualité des pièces par l'intermédiaire d'une inspection visuelle. Le processus est subjectif et dépend de la qualité de l'apprentissage,

ce qui limite le taux de réussite. Des études montrent que le niveau de précision de cette méthode est d'environ 65 %.

Devant cette situation, l'ingénieur en mécanique Carlos de Oliveira Affonso, professeur du cours d'ingénierie industrielle du bois de l'Unesp d'Itapeva, l'informaticien André Luís Debiaso Rossi, professeur du cours d'ingénierie de production de l'Unesp d'Itapeva, et l'ingénieur civil Fábio Henrique Antunes Vieira, professeur de la Faculté de Technologie de Capão Bonito (état de São Paulo), ont projeté un équipement pour réaliser un tri automatique du bois. Le projet NeuroWood a été soutenu par le Centre des Sciences Mathématiques Appliquées à l'Industrie (CeMEAI), un des Centres de Recherche, Innovation et Diffusion (Cepid) financés par la FAPESP et situé à l'IMC. Le système est équipé d'une webcam, d'un écran et d'un contrôleur logique programmable (PLC), qui est un microprocesseur faisant l'interface entre l'ordinateur et les actionneurs (moteurs électriques ou tapis transporteurs).

Contrôle du bois

Fonctionnement de l'appareil qui analyse et trie les planches selon leur qualité



Le programme informatique utilise des techniques d'apprentissage de machine. « Ce sont les mêmes que celles utilisées par les systèmes de reconnaissance faciale, mais en plus simple », raconte Affonso. Ils ont utilisé les réseaux neuronaux artificiels, des techniques informatiques qui imitent le fonctionnement du cerveau humain et apprennent avec l'expérience. « Un modèle numérique correspondant à une classe d'objets donnée est présenté à l'ordinateur. Après un certain nombre de répétitions, ces logiciels réussissent à identifier à quelle classe appartient l'objet, même s'il n'a pas été présenté comme exemple ».

Dans le cas du NeuroWood, le système a appris à trier les pièces de bois selon leur qualité (A, B ou C). Le logiciel a reçu des informations sur les niveaux de qualité et les défauts des planches, comme les nœuds et les fentes. Puis ils ont réalisé une banque de données de plus de 600 photos d'échantillons des trois qualités. Ces photos ont été traitées pour améliorer le contraste, la brillance et souligner les détails, en tenant compte des caractéristiques telles que la texture et la couleur.

Le système a été testé dans des conditions réelles de production chez Sguario Indústria de Madeira, une entreprise d'Itapeva partenaire du projet. Là, il a été soumis aux mêmes niveaux de dis-

Testé dans une scierie, dans des conditions réelles, un des programmes a obtenu un taux de réussite élevé

persion de polluants, de vibration et de variation de luminosité qu'un environnement normal d'un fabricant de meubles ou une usine à bois. Les caméras ont été installées le long et au-dessus du tapis de tri de la scierie. D'après Affonso, « les images saisies sont envoyées à l'ordinateur et comparées avec celles qui sont dans la banque de données. Ainsi, le programme détermine à quelle catégorie de qualité elles appartiennent, A, B, ou C ».

De l'avis du chercheur, les résultats se sont montrés satisfaisants : « le système

a classé le bois aussi bien que ce qui a été observé en laboratoire. Actuellement, il analyse 45 planches par minute, un travail pour lequel il faudrait compter six employés. Le taux de réussite a aussi été supérieur à celui des techniciens spécialisés : 85 % ».

IDENTIFICATION PAR ESPÈCE

Le logiciel développé à l'Institut de Physique de São Carlos a également obtenu de bons résultats en matière d'identification d'espèces d'arbres. Des pièces du Musée Royal de l'Afrique Centrale de Tervuren (Belgique) ont été analysées, soit 77 espèces différentes d'arbres dont le bois est normalement commercialisé dans les pays africains. Le travail a été mené en collaboration avec l'Université belge de Gent. Selon Odemir Martinez Bruno, professeur de l'IFSC-USP de São Carlos et coordinateur du projet : « le taux de réussite a été de 88 % pour l'espèce botanique, 89 % le genre et 90 % la famille ».

Pour procéder à l'identification, le programme contient des images microscopiques des pièces de bois. Bruno indique que « la composition des structures cellulaires différencie chaque espèce d'une autre. [...] Le logiciel analyse les modèles microscopiques formés par les arrangements cellulaires des bois ».



Les systèmes de vision artificielle pourront aider à contrôler le commerce du bois dans le pays

Bruno précise que ce projet s'intègre dans un autre projet à long terme de son équipe sur l'étude de la biodiversité et de l'identification de plantes et de la physiologie végétale via informatique. Dans le cas du logiciel qui identifie les images microscopiques, il s'agit pour l'instant d'un travail purement universitaire. « L'article a été publié dans une revue scientifique du domaine et peut attirer l'attention d'entreprises intéressées pour le convertir en produit ».

Pour le chercheur, il n'existe pas jusqu'à présent de système de contrôle de qualité ou de surveillance pour vérifier les espèces de bois commercialisées : « Notre logiciel peut servir pour le contrôle de qualité, la certification du produit et la surveillance. Il pourrait être utilisé par des contrôleurs pour s'assurer qu'un chargement de bois donné ne provient pas d'une réserve forestière ou d'une espèce protégée par la loi parce que native ou en danger d'extinction ».

UTILISATION INDUSTRIELLE

Le NeuroWood, qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet auprès de l'Institut National de Propriété Industrielle (INPI), est déjà prêt à être utilisé. L'entreprise qui a cédé sa ligne de production pour que le système soit testé pourra être l'une des premières à l'adopter. Aujourd'hui, l'entreprise Sgario produit 15 à 20 000 planches par jour et le tri des planches selon leur qualité ne fait pas partie de sa routine. Les pièces sont seulement évaluées à partir

de leur taille. Luiz José Sguario Neto, un des associés de la scierie, pense qu'« il serait pratiquement impossible d'inspecter visuellement une planche après l'autre. Avec le système de l'Unesp, il est possible de séparer les planches par qualité et d'obtenir des prix de vente différenciés ».

Le système n'est pas inédit dans le monde. Il en existe d'autres sur le marché mondial, qui utilisent aussi la vision informatique pour trier le bois. Le problème, c'est qu'ils sont chers, ce qui empêche leur acquisition par des petites et moyennes entreprises. D'après Affonso, « le coût d'implantation de l'équipement tourne autour de 65 000 réais, alors que les systèmes importés ont une valeur d'environ 1,8 millions de réais. [...] Cette différence est due au fait que nous avons développé nos propres logiciels ». Pour que le système puisse être utilisé de manière libre, sans achat de *packages* commerciaux, toutes les procédures ont été écrites dans un langage informatique d'accès libre. L'utilisation de la cryptographie empêche le piratage du logiciel.

Même s'il peut déjà être utilisé, Affonso ne prévoit pas de créer une entreprise pour fabriquer le logiciel : « L'objectif de notre groupe est d'agir sur le plan universitaire ». À présent, le perfectionnement du système se fera en partenariat avec l'Université finlandaise d'Oulu. Un contrat a été signé entre l'Unesp et le Centre de la Vision Mécanique et de l'Analyse des Signaux (CMVS) de cette institution, afin de promouvoir l'échange

d'étudiants et de professeurs. « Le groupe finlandais a aussi constaté que la plus grande difficulté pour construire un système de classification automatique d'images se situe dans la phase d'apprentissage informatique. C'est à ce niveau qu'il y a un grand travail manuel pour construire la base de données nécessaire pour que le programme apprenne à partir d'exemples ».

Le chercheur est en Finlande depuis février 2017 dans le cadre d'un stage de postdoctorat. Il doit y rester jusqu'au début de l'année 2018 pour rechercher des techniques qui accélèrent le processus d'apprentissage en ligne : « L'idée est d'identifier, parmi les images utilisées comme exemple, celles qui ajoutent de l'information, et de les prioriser au moment de l'apprentissage ».

Pour le coordinateur du cours d'ingénierie industrielle du bois à l'Unesp d'Itapeva, Carlos Alberto Oliveira de Matos, le projet d'Affonso est important parce qu'il fait participer des étudiants de premier et deuxième cycles et parce qu'il établit des partenariats avec la filière bois : « Cela démontre le niveau élevé en recherche appliquée de l'université pour la solution de problèmes liés à la production. Le Brésil a un potentiel bois sans égal dans le monde, qui requiert la formation d'un personnel spécialisé et une recherche de haut niveau. Ces facteurs constituent une source de valeur ajoutée urgente et nécessaire pour les produits dérivés du bois ». ■

Projets

1. Vision artificielle et reconnaissance de modèles appliqués sur la plasticité végétale (n° 14/08026-1); **Modalité** Aide à la Recherche – Régulière; **Chercheur Responsable** Odemir Martinez Bruno (USP); **Investissement** 174 860,82 R\$
2. CeMEAI – Centre de Sciences Mathématiques Appliquées à l'Industrie (n° 13/07375-0) **Modalité** Centres de Recherche, Innovation et Diffusion (CEPID); **Chercheur Responsable** José Alberto Cuminato (ICMC-USP); **Investissement** 27 982 568,59 R\$
3. Méthodologie adaptative d'inspection visuelle pour des systèmes à haut rendement (n° 16/23410-8); **Modalité** Bourse de Recherche à l'Étranger; **Chercheur Responsable** Carlos de Oliveira Affonso (UNESP); **Investissement** 129 810,62 R\$

Articles scientifiques

- AFFONSO, C. et alii. « Deep learning for biological image classification », **Expert Systems with Applications**, 17 mai 2017.
- SILVA, N. R. et alii. « Automated classification of wood transverse cross-section micro-imagery from 77 commercial Central-African timber species », **Annals of Forest Science**, juin 2017.

Contrôle biologique contre **le greening des agrumes**

Des entreprises misent sur de petites guêpes
produites en laboratoire pour combattre l'insecte
qui transmet la maladie des orangers

Domingos Zapparoli

PUBLIÉ EN AVRIL 2017



Des agrumiculteurs de São Paulo connaissent un franc succès grâce à l'utilisation d'une technique de contrôle biologique développée à l'École Supérieure d'Agriculture Luiz de Queiroz de l'Université de São Paulo (Esalq-USP) pour combattre le greening, la maladie

des agrumes la plus dévastatrice dans le monde. Cette maladie également connue sous son acronyme chinois HLB *Huanglongbing* (branche jaune), jaunit les feuilles et déforme les fruits qui restent verts. La seule solution est d'éliminer l'arbre malade avec sa racine. Depuis 2004 et dans le seul état de São Paulo, environ 50 millions d'orangers ont été détruits sur une zone couvrant 100 mille hectares soit un quart des vergers de l'état. Le greening est le résultat de l'action des bactéries *Candidatus Liberibacter asiaticus* et *Candidatus Liberibacter americanus* transmises aux agrumes par un petit insecte, le psylle *Diaphorina citri*.

Les chercheurs, sous la houlette de l'ingénieur agronome José Roberto Postali Parra, professeur du Département d'Entomologie et d'Acarologie de l'Esalq-USP, ont développé une manière de produire en laboratoire la guêpe *Tamarixia radiata*, ennemie naturelle du psylle. Ces guêpes parasitent les jeunes psylles, durant leur phase de nymphes, tandis qu'elles ne volent pas encore, en pondant leurs œufs dans le corps des insectes qui sont détruits quand les guêpes naissent. Un problème subsiste cependant car les pesticides utilisés contre les psylles par les producteurs détruisent également ces prédateurs naturels.

Le groupe de l'Esalq est arrivé à la conclusion que les zones aux alentours des plantations commerciales pourraient accueillir des populations de guêpes qui parasiteraient les psylles avant qu'ils n'atteignent les vergers et contaminent les arbres. Les chercheurs ont ainsi démontré la capacité de la *T. radiata* d'éliminer plus de 80 % de la population de psylles aux alentours des plantations. Cette expérimentation a eu lieu en 2014 à Itapetininga (SP), sur un rayon de 3 kilomètres adjacent à une orangeraie de Citrosuco, l'un des plus grands producteurs mondiaux de jus de fruit. Cette expérimentation a été réalisée à l'aide de pièges adhésifs jaunes, cette couleur attirant les psylles qui sont ainsi piégés sur ces plaques cartonnées enduites de colle. Ce piège est également un signal qui annonce l'arrivée

des insectes dans les plantations. L'efficacité des guêpes se mesure à la quantité de psylles trouvés sur les pièges. « Notre priorité est de mesurer l'impact de la diminution du vecteur sur la dissémination de la maladie et de calculer le dosage de parasitoïde nécessaire pour lutter le plus efficacement possible contre le psylle », déclare José Roberto Postali Parra.

Le lâcher des *Tamarixia radiata* aux alentours des vergers traités est un allié important pour le contrôle de la maladie dans des zones abandonnées, sites et résidences avec des arbres citriques dans leurs jardins ou des plantes ornementales de type *Murraya spp.*, appelées également buis de Chine, communes dans les espaces publics et les cimetières et qui sont également un foyer de psylles. « Le lâcher de guêpes dans ces zones s'est montré efficace, diminuant l'incidence de la maladie dans les vergers commerciaux », explique José Roberto Postali Parra.

Le contrôle biologique de ravageurs fait l'objet d'études depuis les années 50 au Brésil. Le concept de Gestion Intégrée des Ravageurs est apparu aux États-Unis et en Europe dans les années 60 comme une alternative à l'application de pesticides contre les ravageurs dans les cultures, y compris contre les bactéries et les virus. Au Brésil, certaines entreprises produisent actuellement des insectes pour combattre d'autres insectes comme



PHOTOS 1 HENRIQUE SANTOS / FUNDECITRUS 2 FUNDECITRUS



Plantation sans greening (à gauche), et oranges avec malformation sur un arbre malade (en haut)

les guêpes *Trichogramma*, qui combattent différentes espèces de phalènes dans les plantations de coton, de canne à sucre, de soja, de tomates et de choux.

Il y a des traces de présence du psylle dans les orangeries de São Paulo depuis les années 40, mais la première manifestation de la maladie n'a eu lieu qu'en 2004. Les régions de Matão et d'Araraquara, deux grandes régions productrices de l'intérieur pauliste, ont été l'épicentre de l'infestation qui a dévasté les vergers traditionnels. L'équipe d'entomologie de l'Esalq a immédiatement étudié la possibilité d'introduire un parasitoïde naturel du psylle dans les orangeries. Ils ont obtenu des informations sur l'efficacité du contrôle de ce fléau par la *T. radiata* dans les îles françaises d'outre-mer, dans l'océan indien. Dans le même temps, Mariuxi Gomes Torres, une étudiante équatorienne de José Roberto Postali Parra, doctorante en entomologie, a identifié des exemplaires de la petite guêpe au Brésil. L'équipe de l'Esalq s'est alors penchée sur l'étude du cycle de reproduction de la *T. radiata* et du psylle, et a mis au point une technique de production de l'insecte en laboratoire. Ces activités ont été conclues en 2011 avec le soutien financier de la Fapesp et de Fundecitrus.

Le succès de la *T. radiata* a incité Citrosuco à construire quatre bio-usines qui sont des laboratoires de production des insectes. La première a été construite en 2014 à Itapetininga. Par la suite sont venues les unités de Boa Esperança do Sul, d'Onda Verde et de São Manoel, toutes dans l'arrière-pays pauliste. L'entreprise a déjà lâché 3,9 millions de guêpes dans la nature réduisant ainsi de manière significative les captures de psylles aux bordures (les 300 premiers mètres) de leurs vergers commerciaux qui sont les zones les plus vulnérables. « C'est une manière efficace et durable de combattre la maladie » affirme Helton Leão, directeur général du département agricole de Citrosuco. L'entreprise projette de construire trois bio-usines d'ici 2018, pour une capacité totale de production d'environ 600 mille guêpes par mois et destinées à 26 exploitations agrumicoles de l'entreprise.

En 2015, le Fonds de Défense de la Citriculture (Fundecitrus), géré par les propres producteurs, a investi 400 mille R\$ pour construire une bio-usine de *T. radiata* à Araraquara (SP), avec le soutien de l'entreprise Bayer CropScience, division de recherche agricole de l'entreprise de chimie allemande Bayer. Le laboratoire a une capacité de production de 100 mille guêpes par mois. Chaque insecte peut éliminer jusqu'à 500 nymphes de psylles. En décembre 2016, le Fundecitrus a dépassé la marque des 1 million de guêpes produites. Elles sont distribuées gratuitement aux agrumi-



La petite guêpe *Tamarixia radiata* (en haut) et le lâcher dans le verger (au-dessus)

culteurs qui les lâchent sur une zone couvrant 2 420 hectares. José Roberto Postali Parra estime que 12 mille hectares situés autour des vergers commerciaux seront concernés par le contrôle biologique avec des lâchers continus.

Citrosuco et Fundecitrus se sont engagés à disséminer les techniques de lutte contre le greening. L'entreprise a organisé des ateliers de travail pour diffuser ces pratiques qui mettent l'accent sur les petites guêpes auprès des producteurs indépendants qui les fournissent en oranges et même auprès de leurs concurrents. « Des actions isolées ne mettront pas un terme au greening, nous avons besoin de l'engagement de tous », déclare Leão de l'entreprise Citrosuco. Selon Juliano Ayres, directeur-général de Fundecitrus, il faut maintenant que les agrumiculteurs investissent dans leur propre production de guêpes.

Une bio-usine a besoin de différentes salles pour développer les différentes étapes de production et d'une température contrôlée. Le coût d'une petite bio-usine produisant environ 100 mille guêpes par mois varie de 40 à 200 mille R\$, selon l'existence préalable ou non d'une structure physique destinée à la production. Selon José Roberto Parra, deux ou trois personnes sont généralement suffisantes pour produire les guêpes. La production peut être effectuée par des personnes ayant un niveau moyen de scolarité à condition qu'elles soient orientées et continuellement assistées par des entomologistes.



Psylle adulte et individus jeunes appelés nymphes

La multinationale hollandaise Louis Dreyfus Company (LDC), installée au Brésil depuis 1942, utilise les guêpes de Fundecitrus. Jorge Costa, directeur des opérations de la Plateforme Jus de fruit, déclare que des guêpes sont lâchées périodiquement dans les exploitations agricoles gérées par l'entreprise et dans des zones voisines afin de compléter une stratégie de gestion intégrée de contrôle du HLB. Ces actions, recommandées par le Fundecitrus, concernent d'autres activités comme le suivi de la présence du vecteur et la plantation de pousses originaires de pépinières protégées contre les psylles. « Cet ensemble de mesures a permis de maintenir l'infestation par HLB à de faibles niveaux dans les vergers que nous gérons, préservant les niveaux de productivité des exploitations agricoles », déclare Costa.

L'agrumiculteur Janderson Bortolan, propriétaire de deux exploitations agricoles dans l'arrière-pays de l'état de São Paulo, à Guaraci et Cajobi, totalisant 40 mille plants, est également un usager des guêpes du Fundecitrus. Bortolan mène un intense travail de contrôle chimique du ravageur avec une pulvérisation totale du verger au cours de la première semaine et une pulvérisation des bordures durant la deuxième. Il maintient ainsi un indice d'infection des arbres inférieur à 0,5 %. Cinq lâchers ont déjà eu lieu aux alentours de sa propriété depuis 2015, trois jours après une pulvérisation chimique.

La propagation du greening est mondiale. La maladie touche les vergers d'Asie, d'Afrique et des Amériques. Un des psylles vecteurs de la bactérie (*Trioza erytreae*) a été récemment détecté sur

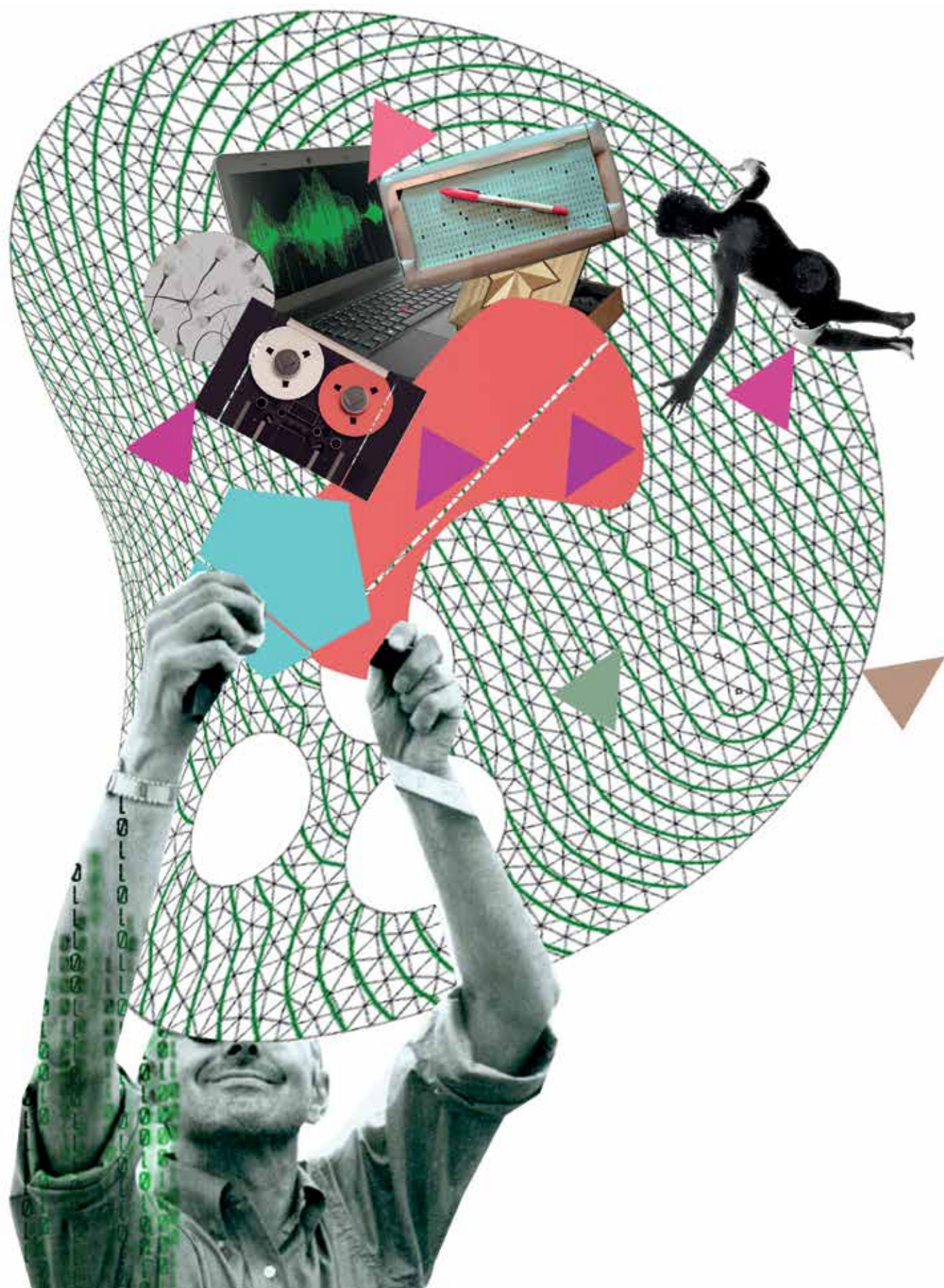
des agrumes de pays méditerranéens alertant les producteurs italiens et ibériques. Pour l'instant, l'Australie est la seule région qui ne présente aucun signe d'infection ni de présence des insectes vecteurs. Outre les orangers, les citronniers et les mandariniers sont les principales victimes de ce fléau. Selon l'ingénieur agronome Antônio Juliano Ayres, directeur-général du Fundecitrus, un arbre infecté dépérit et sa production tombe à 25 %. La qualité du fruit est également compromise devenant plus acide avec un goût amer. La destruction totale est nécessaire car la bactérie est transportée par la sève dans toute la plante, se logeant également dans les racines ce qui rend le taillage de l'arbre inutile. Les bourgeons qui apparaissent après le taillage sont la source de nouvelles infections.

Le greening a été identifié en 2005 en Floride, principal état producteur d'oranges étasunien. La production annuelle de l'état était à l'époque d'environ 220 millions de cageots, chacun contenant 40,8 kilos d'oranges. Suite à la maladie, la récolte de 2016 a chuté à 67 millions de cageots, la plus faible récolte en 70 ans. « Les producteurs nord-américains ont hésité à éradiquer les plantes infectées et le greening s'est répandu. Inverser cette chute de production est dorénavant une tâche très ardue », explique le directeur du Fundecitrus.

Ayres estime que les producteurs brésiliens, qui avaient déjà dû faire face à d'autres menaces comme le chancre et la chlorose variéguee des agrumes (CVC), ont été plus réceptifs en adoptant des stratégies plus radicales qui vont jusqu'à l'élimination des arbres fruitiers contaminés. Malgré ces mesures, les pertes sont grandes. Le Fundecitrus estime qu'aujourd'hui 16,9 % des orangers du parc agrumicole de São Paulo et de la région du triangle Mineiro sont affectés, à différents degrés, par le HLB. « La production d'orange dans le pays a atteint 244 millions de cageots en 2016. Elle aurait pu être supérieure de 5 % sans la maladie », déclare-t-il. Le Brésil est le plus grand producteur mondial d'oranges et São Paulo représente 80 % de la production nationale. Le jus d'orange est le troisième produit le plus exporté de l'état. Les exportations ont enregistré un bénéfice de 1,78 milliard US\$ en 2016. ■

Projets

1. Stratégies Biotechnologiques pour le contrôle du HLB par la modification génétique (n° 15/07011-3); **Modalité** Projet Thématique; **Chercheur responsable** Leandro Antônio Peña Garcia (Fundecitrus); **Investissement** 1 169 211,09 R\$.
2. Bioécologie et mise en place de stratégies de contrôle de *Dia-phorina citri Kuwayama* (Hemiptera: lividea) vecteur de la bactérie responsable du greening des agrumes (n° 04/14215-0); **Modalité** Projet Thématique; **Chercheur responsable** José Roberto Parra (USP); **Investissement** 701 840,94 R\$.





La réalité qui émerge **de l'avalanche de données**

Les humanités numériques se diffusent dans plusieurs disciplines, influencent la formation de chercheurs et inspirent des politiques publiques

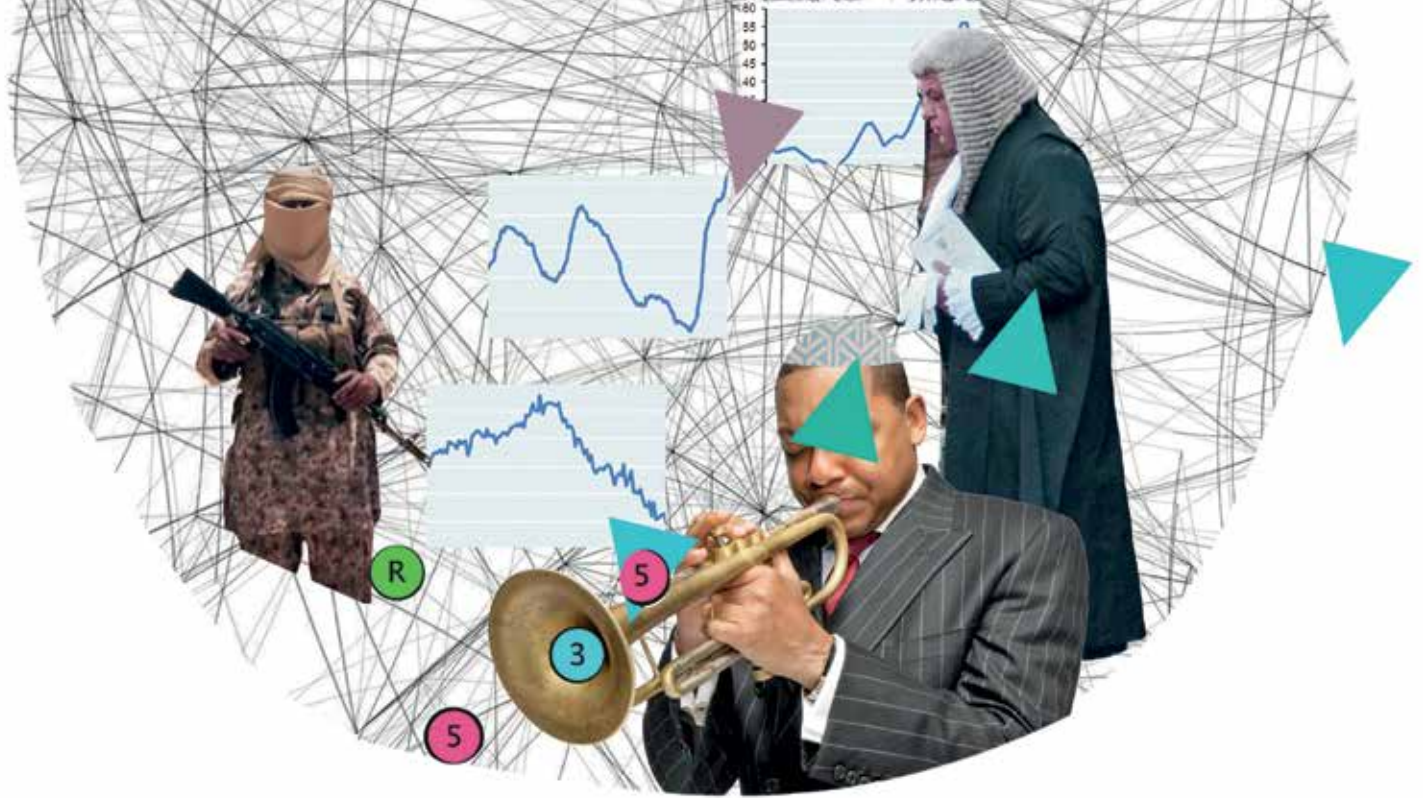
Fabício Marques

PUBLIÉ EN MAI 2017

Les ordinateurs sont un outil de travail pour les chercheurs de tous les domaines de la connaissance. Mais dans le cas de la communauté des sciences humaines et sociales, la numérisation d'archives artistiques et historiques et l'offre de gigantesques banques de données d'informations économiques et sociales ont ouvert la voie à de nouvelles observations de phénomènes et d'analyse de tendances. Il y a eu un grand rapprochement avec les informaticiens, dont les recherches sur le Big Data ont multiplié les types d'organisation et d'analyse des informations, et à la croisée de ce rapprochement est né un champ interdisciplinaire : les humanités numériques. D'après Brett Bobley, directeur du Bureau des Humanités Numériques de la National Endowment for the Humanities (NEH), agence de soutien à la recherche du gouvernement nord-américain, « le terme a été créé pour définir la recherche qui incorpore la technologie informatique à des études en sciences humaines et sociales, mais aussi celle qui utilise les sciences humaines et sociales pour étudier la technologie numérique et son influence

sur la société et sur la culture ». Il ne s'agit pas selon lui d'un nouveau domaine de connaissance, mais d'un éventail d'activités qui peut englober notamment l'utilisation de photographies aériennes par des archéologues pour scanner des sites, le développement de techniques d'analyse de données qui aident des linguistes à étudier des journaux anciens ou encore l'étude de l'éthique de la technologie par des philosophes.

Un des projets financés par la NEH en humanités numériques a travaillé sur les carnets de note de l'explorateur britannique David Livingstone (1813-1873). Des récits de son voyage en Afrique Centrale, en 1871, ont été écrits sur de vieux journaux par manque de papier disponible. Avec le temps, l'encre a commencé à s'effacer et les impressions de Livingstone sur la dynamique du commerce d'esclaves, par exemple, sont devenus illisibles. Entre 2013 et 2017, un groupe de chercheurs en sciences sociales et humaines et en informatique des États-Unis et du Royaume-Uni a réussi à récupérer les écrits en employant des techniques de photographie d'image spectrale, capables de récupérer des informations invisibles à l'œil nu.



Un autre exemple fut la collaboration d'historiens de plusieurs parties du monde pour organiser les registres de près de 36 000 voyages de navires négriers entre 1514 et 1866, qui ont transporté plus de 12 millions d'esclaves d'Afrique. Débuté dans les années 1990 par l'historien nord-américain David Eltys de l'Université Emory, le projet a donné lieu à une banque de données sur le commerce d'esclaves, disponible sur Internet depuis 2007 à l'adresse slavevoyages.org. L'analyse des données réunit des registres dans plusieurs langues et évoque les ports par où sont passés les navires. Elle a permis aux historiens d'en savoir plus sur la manière dont les Africains ont vécu et résisté à la déportation, et révélé aussi de nouvelles connexions transatlantiques dans le commerce d'esclaves.

Un premier relevé a été lancé en 1999 sous la forme d'un CD-Rom, mais le travail de collaboration pour obtenir des données sur les voyages a ensuite permis de retracer un portrait beaucoup plus vaste du commerce d'esclaves. La première estimation d'esclaves envoyés au Brésil était d'environ 3,6 millions d'esclaves, mais des documents ont montré que ce nombre était plus proche des 5 millions – sur un total de 10,7 millions d'Africains déportés vers les Amériques. D'après Manolo Florentino, professeur de l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ) et responsable de la branche brésilienne du projet, l'initiative a eu différents impacts sur les recherches sur l'esclavage. Le principal a été de remplacer des estimations par des données solides, issues de sources primaires. Un autre a été de montrer la prépondérance brésilienne dans le commerce d'esclaves :

« Une grande partie des documents obtenus par le projet est écrite en portugais, une sorte de langue véhiculaire de la traite négrière ». Au cours de ces dernières années, Florentino s'est employé à traduire tout le site en portugais. À présent, la collection de données sur la déportation et l'esclavage des Africains permet d'alimenter une source de recherche moins explorée : les trajectoires empruntées par les esclaves dans le pays, après leur arrivée dans les ports brésiliens.

DIVERSITÉ DE PROJETS

Les résultats d'un récent appel à projets international ont montré la diversité des humanités numériques. 108 propositions d'équipes interdisciplinaires de 11 pays ont été soumises à la 4^e édition de la *Digging Into Data Challenge*, et 14 ont été approuvées. L'initiative fait partie de la Plateforme Transatlantique (T-AP), une collaboration en sciences humaines et sociales qui réunit 16 agences de soutien à la recherche d'Europe et des Amériques, parmi lesquelles la FAPESP. Selon Bobley, « il y a eu une augmentation significative de pays participants, qui n'étaient que 4 aux appels antérieurs. Cela fait une grande différence, avec l'apparition de nouvelles collaborations ». Bobley a idéalisé le programme *Digging Into Data Challenge* en 2008. Les projets approuvés se répartissent par disciplines telles que la musicologie, la linguistique

Une banque de données sur la traite négrière a montré la place importante occupée par le Brésil dans le commerce d'esclaves

tique, l'histoire, la science politique et l'économie, et ils vont recevoir des investissements de l'ordre de 9,2 millions de dollars US. L'une des propositions réunit des chercheurs des États-Unis, d'Allemagne et de Hollande qui vont analyser trois banques de données rassemblant des registres écrits et oraux du folklore de différentes parties de l'Europe. L'objectif est d'identifier les modèles qui se répètent au cours du temps dans des endroits différents et qui aideront à identifier les croyances anciennes les plus communes, sur la base des histoires qui se racontaient et sur la propagation de légendes et de cas surnaturels.

Un autre exemple, mené par des économistes et des informaticiens des États-Unis, du Canada et de Hollande, entend croiser des informations sur la variation des prix de produits vendus sur Internet dans le monde entier, collectées en continu à travers le projet *Billion Prices* du Massachusetts Institute of Technology (MIT), avec des données économiques pour produire des recherches sur l'inflation, le pouvoir d'achat et le niveau de vie dans plusieurs pays. Il y a aussi une initiative qui analysera 70 ans de couverture médiatique des attaques terroristes, en quête de modèles sur ce que serait une approche responsable du problème. Une autre étudiera les structures mélodiques d'enregistrements de jazz pour tenter de les associer à l'évolution du contexte historique et social dans lequel les chansons sont apparues.

Pour sélectionner les 14 projets retenus, plus de 200 spécialistes ont évalué les 108 propositions. Claudia Bauzer Medeiros, professeure de l'Institut Informatique de l'Université d'état de Campinas et représentante de la FAPESP au niveau de la T-AP, a participé à tout le processus depuis l'appel d'offres jusqu'à la sélection des projets : « La diversité de problèmes abordés montre qu'il y a un grand potentiel à développer dans les humanités numériques au Brésil. [...] Ce domaine est peu exploré dans le pays parce qu'ici il y a encore peu de collaboration entre les chercheurs en sciences humaines et sociales et ceux de l'informatique. Ils perçoivent peu à peu que cette interaction est possible. Le chercheur en sciences humaines et sociales n'a pas besoin d'être un connaisseur en informatique pour travailler dans ce domaine, mais il faut qu'il collabore avec des spécialistes pour les aspects informatiques ». La chercheuse est aussi coordinatrice du programme de Recherche en eScience de la FAPESP.

Un des projets sélectionnés dans le *Digging Into Data Challenge* compte sur la participation de Brésiliens. Il s'agit d'une collaboration entre des chercheurs de France, d'Argentine et du Brésil pour étudier comment se diffusent les opinions dans la société et comment le processus

Londres contre le crime

Des outils exploitent des données de 197 000 procès

Des registres de 197 000 procès réalisés entre 1674 et 1913 à la Haute Cour criminelle de Londres, plus connue sous le nom de Old Bailey (qui est le nom de la rue où se trouve la Cour), sont depuis 2003 accessibles sur Internet à l'adresse oldbaileyonline.org. L'identification de phénomènes et de tendances parmi un volume d'informations de plus de 127 millions de mots a mobilisé des chercheurs du Royaume-Uni et des États-Unis, qui ont développé des types d'exploitation de données textuelles beaucoup plus sophistiquées que la recherche disponible dans les archives.

Financé en 2009 par le premier appel à projets Digging Into Data, le projet *Data Mining with Criminal Intent* a examiné les registres de Old Bailey avec différents outils numériques. L'un d'eux est le logiciel Zotero, qui permet de collecter et d'organiser des informations ; et l'autre le portail de recherche en analyse de textes, TAPoR, qui aide les usagers à analyser des textes en utilisant différents logiciels. La stratégie a permis d'obtenir des résultats singuliers. Par exemple, le mot « poison » était beaucoup plus souvent associé à « café » qu'à « nourriture », ce qui a permis de comprendre de quelle manière les londoniens étaient empoisonnés.

D'autre part, il a été possible d'observer que les punitions pour les bigames sont devenues moins sévères au cours du XIX^e siècle. D'après Stephen Tamsay, professeur d'anglais de l'Université de Nebraska-Lincoln, et un des leaders de l'initiative, le projet ne sert pas seulement à obtenir des évidences historiques qui n'étaient pas perçues auparavant. Dans *The Chronicle of Higher Education*, il écrit : « Les histoires de Old Bailey expriment les motivations plus profondes de la condition humaine, comme la revanche, le déshonneur et la perte, qui sont la matière première des humanités ».



a subi des transformations avec l'avancée de la technologie de l'information. La recherche va analyser deux banques de données pour recenser la construction de réseaux de relations entre des groupes d'individus – ces connexions seront représentées sous forme de structures visuelles, les graphes. Dans les archives du journal The New York Times, le but est d'analyser des reportages sur le Brésil publiés pendant 70 ans afin de recenser les relations entre groupes d'individus et les entités mentionnées dans ces textes qui parlent du pays. Maria Eunice Quilici Gonzalez, leader du groupe brésilien qui participe au projet et professeure du Département de Philosophie de la Faculté de Philosophie et Sciences de l'Université d'état de São Paulo (Unesp – campus de Marília), explique : « l'intention est de comprendre d'où viennent et comment se relie les idées et les opinions reproduites dans les textes, principalement sur des thèmes politiques et économiques, et comment cela a évolué dans le temps. Et aussi de vérifier l'influence éventuelle des informations publiées dans le journal par des correspondants étrangers dans la constitution de l'opinion publique dans le pays ».

La deuxième banque de données est une collection de messages sur les processus électoraux du réseau social Twitter. L'idée est de montrer



comment des opinions se constituent et se consolident dans le milieu virtuel. « Nous voulons analyser la dynamique de propagation d'opinions sur des réseaux sociaux », déclare Gonzalez. « Plus les relations sont fréquentes, plus les nœuds des réseaux représentés dans les graphes deviennent denses. La tendance est qu'ils deviennent centraux et inhibent la croissance des autres nœuds, montrant ainsi le parcours de la formation d'une opinion ». Un des intérêts est d'étudier la formation de milieux de polarisation politique sur des réseaux sociaux. « Des groupes qui avant étaient isolés réussissent à fortifier leurs opinions et à

L'urbanisation de São Paulo

Une plateforme va réunir des données géoréférencées sur la transformation de São Paulo entre 1870 et 1940

São Paulo s'est urbanisée plus vite que d'autres métropoles, elle est passée d'à peine 30 000 habitants en 1870 à 1 million en 1940. L'étude des transformations de la ville pendant cette période va être visible sur une plateforme d'informations géoréférencées, qui sera alimentée par plusieurs sources dont des thèses de doctorat, des rapports et des cartes. Tout chercheur possédant des données en lien avec une adresse de la ville est invité à les inclure sur la plateforme Pauliceia 2.0., dont le projet a été présenté à des usagers potentiels le 4 avril 2017, en quête de suggestions.

Le projet réunit des chercheurs de l'Université Fédérale de São Paulo (Unifesp), de l'Institut National des Recherches Spatiales (Inpe), des Archives Publiques de l'état

de São Paulo et de l'Emory University, des États-Unis. Il est financé par le programme FAPESP de Recherche en eScience. Comme l'indique Luis Ferla, historien, professeur de l'Unifesp et coordinateur du projet, « Celui qui a étudié les hôtels de São Paulo pourra alimenter les adresses avec des informations sur chacun d'eux. Celui qui a étudié les crimes commis dans la ville aussi. Toute information pouvant être située dans l'espace peut alimenter la plateforme ».

Au sein du projet, une équipe développe une banque de données avec la numération de constructions de l'époque, pour garantir que la localisation des informations soit la plus fidèle possible. Ferla explique que « c'est un travail tellement complexe qu'il est d'abord



testé dans une zone pilote, au centre de São Paulo ». Une version préliminaire de la plateforme sera disponible pour des tests en juillet 2018. « Ceux qui veulent étudier cette période trouveront beaucoup de matériel sur la plateforme pour produire des réflexions. Le projet souhaite organiser la connaissance sur l'urbanisation de la ville ». Plus d'informations seront disponibles à l'adresse unifesp.br/himaco.

La ville dans les années 1940, quand elle a atteint son premier million d'habitants



faire de nouveaux adeptes en s'alimentant des communications sur les réseaux sociaux. Cela s'est passé récemment, par exemple, avec les groupes favorables et contraires à la destitution de la présidente au Brésil ». En plus des objectifs spécifiques, le projet a des ambitions plus générales telle que la création de modèles pour étudier des activités sociales et l'analyse d'éventuelles conséquences éthiques de l'utilisation de l'analyse de Big Data dans des processus d'auto-organisation sociale, ceux qui émergent de l'interaction spontanée entre plusieurs auteurs sociaux, sans leadership ou interférence d'un centre organisateur.

Le projet sera réalisé en partenariat avec des chercheurs des universités de Cergy-Pontoise et de Buenos Aires. L'équipe critique la thèse selon laquelle il est possible de modéliser des comportements ou orienter la formation d'opinions en manipulant des tendances seulement obtenues à travers l'analyse de Big Data. Selon Maria Eunice Gonzalez, « il est exagéré d'affirmer que Donald Trump est devenu président et que les Britanniques ont voté pour la sortie de l'Union Européenne seulement parce que les campagnes respectives utilisaient les services d'une entreprise de marketing politique, la Cambridge Analytica, qui aurait utilisé des données et des outils des réseaux sociaux pour manipuler les peurs et les désirs des électeurs [...] L'étude de Big data peut montrer des tendances, mais elle est loin d'expliquer la nature humaine. Son utilisation ne sera efficace que si elle s'accompagne de l'étude des dispositions de certains groupes, qui dans le cas des États-Unis et du Royaume-Uni étaient liées à la prépondérance d'un nationalisme et d'une aversion du multiculturalisme ».

Détentrice d'un premier cycle en physique, d'un master en philosophie et d'un doctorat en linguistique, Maria Eunice Gonzalez va aussi travailler sur le projet et réfléchir, avec le soutien d'une équipe de chercheurs brésiliens, à l'éthique qui concerne les actions d'individus sur les réseaux sociaux : « Le concept de privacité, par exemple, est en train de changer. Certaines notions de privacité de ma génération ne s'appliquent pas aux sujets sur les réseaux sociaux, qui exposent systématiquement des détails personnels. Il y a aussi le problème des individus qui créent de faux profils, modifient leurs caractéristiques personnelles, leur situation socio-économique et même leur genre pour interagir virtuellement avec d'autres. Si chez elle la personne est très souvent tenue de maintenir une identité qui ne lui plaît pas, sur les réseaux sociaux elle peut réaliser ses fantasmes sans pressions familiales éventuelles. « L'identité est fictive, mais l'interaction qu'elle offre peut être réelle dans

un certain sens. Par son biais il est possible de créer une relation avec des partenaires virtuels, ce qui n'existait pas auparavant ». Pour traiter les situations de ce type, le groupe brésilien va penser à la manière dont l'analyse de Big Data peut aider à comprendre les nouveaux modèles de conduite et la dynamique de formation de l'opinion collective.

THÈMES ET AVANCÉES

La programmation de la prochaine édition de la conférence Digital Humanities, qui réunira en août 2017 près de 1 000 chercheurs de plusieurs pays à Montréal, donne une idée de l'étendue des thèmes et des avancées du travail entre informaticiens et professionnels des sciences humaines et sociales. Des groupes de travail vont traiter de topiques tels que l'application dans des recherches en sciences humaines d'outils de vision informatique, un concept surtout utilisé en robotique et par le biais duquel des systèmes artificiels sont capables d'extraire des informations d'images en simulant le fonctionnement de la vision humaine. Ou engager des discussions sur les problèmes éthiques et légaux liés à l'emploi de données numérisées qui peuvent exposer la vie privée des individus. Lors de la conférence, un hommage sera rendu aux responsables du projet *Text Encoding Initiative* (TEI), un consortium qui depuis 30 ans développe et maintient un modèle de codification de textes en format numérique lisible pour des machines, et qui a suscité des recherches en sciences humaines, en particulier dans le domaine de la linguistique. Karina van Dalen-Oskam, présidente de l'Alliance des Organisations en Humanités Numériques (ADHO), l'entité qui organise la conférence, affirme qu'au cours des 15 dernières années il y a eu « un changement qualitatif du volume de données textuelles disponibles, ce qui a changé radicalement les possibilités de recherche ». Professeure d'études littéraires computationnelles de l'Université d'Amsterdam, Dale-Oskam met en avant le progrès de nouvelles approches pour la recherche en littérature, comme le concept de lecture distante, qui analyse de grands volumes de données liées aussi bien à l'ouvrage étudié qu'à tout le contexte dans lequel il a été produit ; ou le domaine de la stylométrie, qui permet de reconnaître les auteurs de textes apocryphes : « Ce genre d'approches permet d'en savoir plus sur le développement de genres littéraires et même sur des facteurs qui font d'un texte un best-seller ou non ».

La croissance de ce champ interdisciplinaire s'accompagne aussi de critiques : pour leurs détracteurs, les humanités numériques produiraient plus des manchettes dans les journaux que des avancées solides de la connaissance. En plus,

Un corpus historique de la langue portugaise

Une banque de données de 3,3 millions de mots réunit des annotations sur des textes de différentes époques

Dans certains domaines des sciences humaines et sociales, la collaboration avec les informaticiens s'est faite de manière plus naturelle que dans d'autres. À titre d'exemple, les études sur les transformations dans l'utilisation de la langue. Charlotte Galves, professeure de l'Institut des Études du Langage de l'Université d'état de Campinas (IEL-Unicamp) a l'habitude de dire qu'elle se consacrait aux humanités numériques bien avant de savoir que la dénomination existait. En 1998, elle a commencé à compiler des textes des XVI^e au XIX^e siècles pour composer un corpus historique de la langue portugaise, une banque de textes avec des annotations morphosyntaxiques de mots et de phrases, qui a déjà servi de base à une série d'études sur l'histoire du portugais au Portugal et au Brésil : « Il est possible d'observer comment la langue s'est transformée au fil des siècles, en particulier au Brésil, où elle s'est éloignée du portugais européen sous l'effet du contact avec d'autres langues, même si elle a à nouveau subi son influence dans la deuxième moitié du XIX^e siècle ».

La banque de données a grandi et compte aujourd'hui 3,3 millions de mots de 76 textes originaux. Elle a été baptisée Corpus Tycho Brahe en référence à l'astronome danois du XVI^e siècle qui s'est proposé de cataloguer le mouvement des planètes. Ses premiers outils pour étiqueter des mots ont été développés par l'informaticien Marcelo Finger, professeur de l'Institut des Mathématiques et Statistiques de l'USP. L'évolution a été lente – les corrections des annotations automatiques ont été faites



Les écrits du Père Antônio Vieira (1608-1697) font partie du corpus

personnellement par Charlotte Galves, avec l'aide d'étudiants. « J'ai appris beaucoup de choses sur le Big Data », déclare-t-elle, « mais je ne pourrais pas me passer de l'aide des informaticiens ». La prochaine étape est de rendre la banque de données intégralement accessible via Internet – actuellement, il est possible de télécharger le matériel à l'adresse tycho.iel.unicamp.br/corpus, mais pas de faire des recherches en ligne.

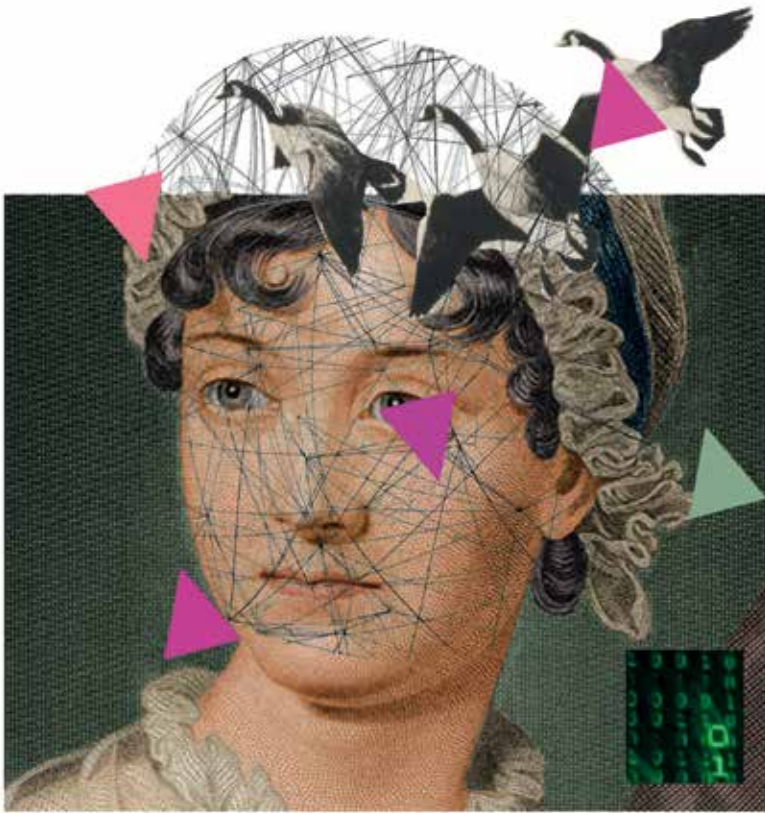
Le même modèle du portugais historique est à présent utilisé par Charlotte Galves et Filomena Sandalo, également professeure de l'Unicamp, pour l'étude d'une langue indigène, le kadiwéu, parlé par une ethnie qui habite dans l'état du Mato Grosso. Des comptes rendus oraux d'indigènes ont été collectés et sont convertis en textes écrits avec des annotations. « L'idée est de créer un ensemble d'informations sur d'autres langues sur la même plateforme, en utilisant les mêmes outils », explique Charlotte Galves.

elles rivalisent avec les champs traditionnels des sciences humaines et sociales dans le partage du financement de la recherche. Dans un article du *The New York Times* de 2015, Armand Marie Leroi, professeur de biologie évolutionnaire de l'Imperial College de Londres, met en doute la capacité des humanités numériques à produire des analystes novatrices de littérature. Pour lui, « changer de l'art en données permet de rechercher de nouveaux sens dans une œuvre par le biais de nouveaux algorithmes : « Mais il faudra créer un algorithme très intelligent, capable de signaler l'ironie dans l'œuvre de Jane Austen. [...] La vérité de la critique d'art n'est pas du même type que la vérité scientifique ».

En réponse, les chercheurs concernés affirment que les humanités numériques offrent seulement une extension des méthodes et des compétences traditionnelles, sans intention de les remplacer. Écrit par un collectif d'auteurs, le livre *Digital Humanities* (MIT Press, 2012) explique dans son premier chapitre que les humanités numériques « ne suppriment pas les idées du passé mais complètent l'engagement des sciences humaines vis-à-vis de l'interprétation universitaire, de la recherche informée, de l'argument structuré et du dialogue entre les communautés qui la pratiquent ».

Le politologue Eduardo Marques, professeur de la Faculté de Philosophie, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de São Paulo (FFLCH-USP), précise que les approches de la science informatique et des sciences humaines et sociales ont, dans les humanités numériques, des origines différentes : « Il y a eu la rencontre de deux mouvements. Un est venu des sciences dures, avec le développement d'outils d'exploration de données qui ont permis de produire des informations sur le monde social et de générer de nouveaux champs empiriques. Et dans les sciences humaines, il est parti de l'utilisation déjà existante d'outils statistiques pour étudier des phénomènes sociaux ». Et comme les logiques sont différentes, il est difficile de les unifier : « Tandis que les informaticiens recherchent des modèles dans les grands volumes de données pour susciter des questions de recherche, les professionnels des sciences sociales partent de présupposés théoriques et utilisent des outils numériques pour tester leur validité. Le dialogue est grand, mais il est difficile d'unifier des formes différentes d'approche des questions ».

Ce dialogue influence la formation de chercheurs. Dans le cas des sciences humaines et sociales, des cours et des disciplines sur les méthodes et l'analyse quantitative augmentent. Marques estime que « c'est une bonne nouvelle, parce que les sciences sociales ont toujours connu



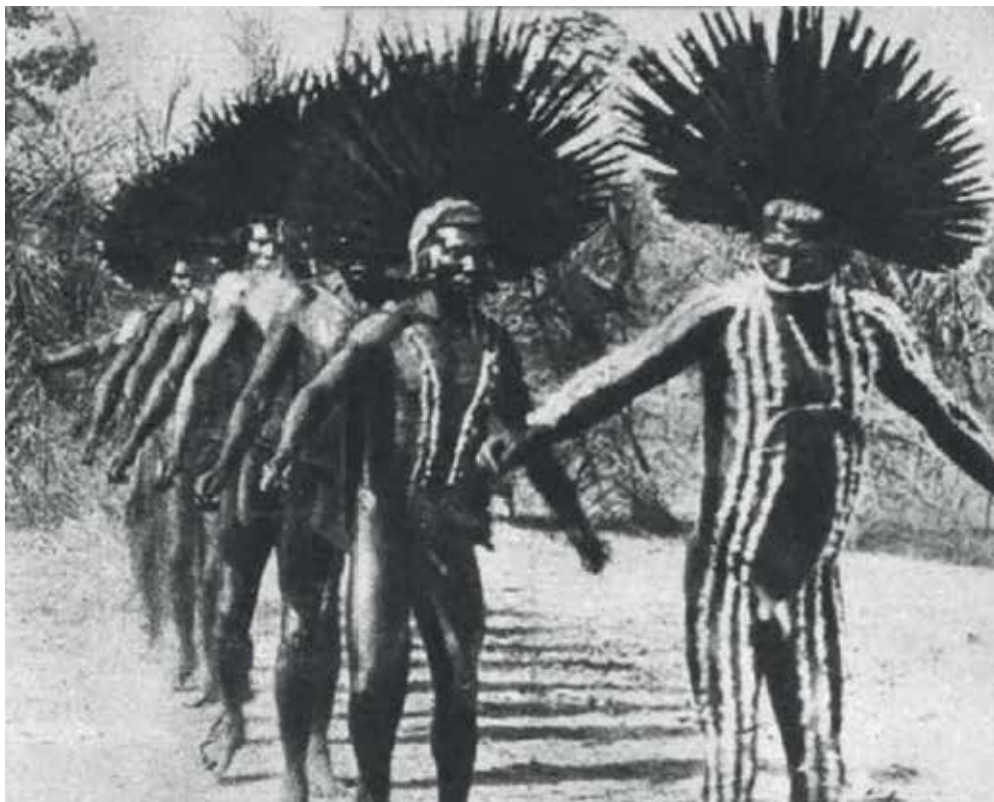
Les cours et les disciplines sur l'analyse quantitative et l'éthique dans l'utilisation des données augmentent

une grande fragilité dans ce domaine au Brésil, qui s'étend aussi à l'analyse qualitative et à des études avec de petits échantillons ». Il fait ici référence à des initiatives telle que celle de l'École d'Été de Concepts, Méthodes et Techniques en Science Politique et Relations Internationales offerte par l'Association Internationale de Science Politique (IPSA), le Département de science politique de la FFLCH-USP et l'Institut des Relations Humaines de l'USP. Les disciplines sur l'utilisation éthique de données sont aussi davantage mises en évidence. « C'est un sujet émergent et il ne cherche pas seulement à prévenir la diffusion de données confidentielles sur des patients ou d'informations sensibles à la sécurité publique », prévient Claudia Bauzer Medeiros. Le risque est de produire des analyses erronées parce beaucoup de programmes informatiques « apprennent » avec les données traitées. Les logiciels sont développés pour identifier des modèles au fil du temps et les incorporer à leur capacité d'analyse. « Il y a déjà eu des situations où l'apprentissage a reproduit sans le vouloir des préjugés. Aux États-Unis, on a découvert

qu'un programme utilisé expérimentalement par des juges dans certaines villes pour accélérer des décisions était plus rigoureux avec les Noirs et les Latino-Américains parce qu'il prenait comme référence des décisions où ils étaient cités comme référence négative ».

Le développement d'outils informatiques qui aident à analyser de grands volumes de données sur la santé, la démographie et la violence alimente des études sur des processus sociaux qui sont appliqués dans des politiques publiques. La chercheuse de l'IC-Unicamp cite comme exemple : « Il est habituel d'utiliser des analyses de données socioéconomiques et démographiques dans des stratégies de planification urbaine. La numérisation de données sur les vagues migratoires alimente des études qui aident à comprendre les tendances futures en matière d'immigration ».

Un exemple de l'échange croissant entre les sciences sociales et le Big Data au Brésil est le Centre d'Études sur la Métropole (CEM), un des Centres de Recherche, Innovation et Diffusion (Cepid) financés par la FAPESP. Un des objectifs du centre est de produire et de diffuser des données géoréférencées sur les métropoles brésiliennes. Les organismes publics produisaient des données appropriées mais qui n'étaient pas mises à disposition. Les entreprises intéressées devaient les acheter. Le CEM a acheté plusieurs bases de données et en a numérisé d'autres, puis les a mises à disposition sur son site (ffch.usp.br/centrodametropol). Au début, les collections n'étaient pas assez grandes pour faire partie du concept de Big Data. Mais cela a changé il y a quelques années, quand le centre a développé une grande banque de données pour l'étude des modèles d'inégalité des 60 dernières années. Un travail intense a été nécessaire pour perfectionner les questionnaires et corriger les lacunes d'un échantillon restant du Recensement de 1960, dont les fiches se sont perdues, et réorganiser les informations des cinq recensements suivants pour produire des données comparables. Eduardo Marques a été directeur du CEM entre 2004 et 2009 : « Cela a généré une banque de plusieurs téraoctets d'informations, un volume beaucoup plus grand que celui traditionnel des sciences sociales dans le pays ». Le travail a donné lieu au livre *Trajectoires des inégalités – Comment le Brésil a changé au cours des 50 dernières années* [titre original : *Trajetórias das desigualdades – Como o Brasil mudou nos últimos 50 anos*] (éd. Unesp, 2015), coordonné par la directrice actuelle du CEM, Marta Arretche. Les chapitres ont été écrits par des spécialistes en éducation et revenu, démographie, marché du travail, participation politique et autres. Chaque chapitre a exigé un traitement spécifique de données. ■



Bororos sur l'écran

Des chercheurs estiment que le film de la Commission Rondon, tourné en 1916, a été le premier documentaire ethnographique

Christina Queiroz

PUBLIÉ EN MAI 2017



Scènes de *Rituais e festas Bororo* : danses (à gauche), pêche (centre) et le corps d'une femme arrosé pendant une cérémonie funéraire (à droite)

Une équipe d'anthropologues du Brésil et du Royaume-Uni a réuni des éléments qui permettent de penser que *Rituais e festas Bororo* [Rites et fêtes bororos], filmé par le major Luiz Thomaz Reis (1879-1940) en 1916 à la demande de Cândido Mariano da Silva Rondon – plus connu sous le nom de Maréchal Rondon – serait le premier documentaire ethnographique de l'histoire, avant même l'existence de ce terme. Avant cela, c'est *Nanook l'Esquimau* du cinéaste nord-américain Robert Flaherty (1884-1951), tourné en 1922, qui était considéré comme le pionnier de cette tradition liée à une frontière disciplinaire entre l'anthropologie et le cinéma.

Rituais e festas Bororo a été achevé et projeté pour la première fois au Brésil en 1917. Certaines de ses scènes ont été montrées lors d'un événement au Carnegie Hall de New York en 1918, à l'occasion d'un voyage de Reis. Dans les années 1990, des anthropologues français ont assisté au

documentaire. Au Royaume-Uni, le travail était peu connu. Le film a seulement acquis le statut d'élément pionnier de l'ethnographie à partir d'un processus qui a permis de mesurer sa réelle importance au début des années 1990.

Patrícia Monte-Mór, anthropologue, professeure d'anthropologie de l'Université de l'état de Rio de Janeiro (UERJ) et commissaire de l'Exposition Internationale du Film Ethnographique, raconte que ce processus a débuté avec le travail de l'anthropologue français Pierre Jordan : en 1922, il a publié le livre *Cinéma – Premier contact, premier regard*, qui recensait les premiers enregistrements filmiques de l'histoire sur les différents continents. Et en choisissant une image du film de Reis pour la couverture, il a défendu son caractère inédit dans l'univers du documentaire ethnographique. En 1993, *Rituais e festas Bororo* a été montré à la première Exposition Internationale du Film Ethnographique, qui a eu lieu à Rio de Janeiro. Le film a suscité un grand intérêt de

la part des anthropologues, des documentaristes et des personnes menant des recherches sur le cinéma. Pourtant, rappelle la professeure, « ce film ne circulait pas encore et appartenait aux archives du Musée brésilien de l'Indien. Lors du festival, nous avons montré une copie en VHS ».

À la fin des années 1990 et au début des années 2000, l'anthropologue Fernando de Taccacá, aujourd'hui professeur à l'Institut d'Arts de l'Université d'état de Campinas (IA-Unicamp), et la spécialiste en préservation et organisation d'archives documentaires Denise Portugal Lasmara, ancienne responsable du secteur audiovisuel du Musée brésilien de l'Indien, ont analysé les images de la Commission Rondon et mis l'accent sur les éléments innovants du documentaire. L'anthropologue et cinéaste français Marc Piault, de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS) a publié en 2000 le livre *Anthropologie et Cinéma, passage à l'image, passage par l'image* (éd. Nathan), dans lequel il analyse le travail de Reis à partir de recherches menées au Brésil. Il le considère comme le premier documentaire ethnographique.

L'anthropologue anglais Paul Henley, directeur du Granada Center for Visual Anthropology de l'Université de Manchester, a reçu en 2014 une bourse de recherche de la fondation privée Leverhulme Trust, située à Londres, pour une étude sur les premiers documentaires ethnographiques, et plus particulièrement du Brésil et de la France. Spécialiste des questions ethnographiques de l'Amazonie et détenteur d'une formation en cinéma, Henley a étudié la filmographie du major Thomaz Reis des archives du Musée de l'Indien, de la Cinémathèque et du Musée Historique National. Au Brésil, il a travaillé avec l'anthropologue Sylvania Caiuby Novaes, professeure d'anthropologie de la Faculté de Philosophie, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de São Paulo (FFLCH-USP), qui étudie les Amérindiens de l'ethnie Bororo depuis plus de 30 ans et a effectué un stage de postdoctorat avec Henley en 1995. Et il a aussi travaillé avec Edgar Teodoro da Cunha, anthropologue et professeur du Département d'Anthropologie, Politique et Philosophie de l'Université d'état de São Paulo (Unesp, campus d'Araraquara), qui a réalisé son doctorat sur les Bororos et les archives visuelles avec Sylvania Novaes. Ensemble, Hensley, Novaes et Cunha ont entamé un travail d'anthropologie visuelle sur la filmographie concernant l'ethnie Bororo, et signé l'article sur le film de Reis publié en 2017 dans la revue *Visual Anthropology*.

FRÈRES LUMIÈRE

Le militaire Thomaz Reis a créé la Section de Cinématographie et Photographie de la Commission Rondon en 1912. En 1914, il s'est



Luiz Thomaz Reis avec la caméra Debrie, de 35 millimètres, en 1932 : le militaire est l'auteur de plusieurs documentaires

rendu en France et a acheté des caméras aux frères Auguste et Louis Lumière – les inventeurs du cinématographe. Le maréchal Rondon l'a chargé de filmer environ 350 Amérindiens Bororos qui vivaient dans un village au bord du fleuve São Lourenço, à 100 kilomètres de Cuiabá (état du Mato Grosso). La Commission Rondon était une agence du gouvernement brésilien fondée en 1907 pour établir un système de communication télégraphique entre les plus grandes villes du nord-

ouest du pays. Aux expéditions organisées par Rondon participaient des botanistes, des zoologues et d'autres scientifiques, qui étudiaient la faune et la flore des régions parcourues, faisaient des recherches ethnographiques sur la culture matérielle de groupes amérindiens et procédaient à des mesures anthropométriques de ces peuples.

Tourné entre juillet et octobre 1916, le documentaire montre la cérémonie funéraire d'une femme. Novaes raconte : « D'ascendance Bororo, Rondon savait que les Amérindiens étaient en train de mourir à cause des épidémies et il avait pleinement conscience de l'importance du rite funéraire dans la culture de l'ethnie. Il avait déjà assisté et même participé à quelques-uns ». D'une durée de 30 minutes, le film est divisé en trois parties qui montrent

différentes activités liées au rite, parmi lesquelles : une expédition de pêche ; la simulation de la chasse d'un jaguar ; des danses avec des costumes traditionnels. L'aboutissement du film est la séquence qui montre le corps de la défunte

Le film dure 30 minutes et est divisé en 3 parties, qui montrent différentes activités liées au rite funéraire



Reis, Cândido Rondon (centre) et une Amérindienne de l'ethnie Paresi, vers 1912

enroulée dans une natte puis enterrée dans une sépulture peu profonde.

Dans ses études sur le film, Fernando de Taca a analysé des journaux et des documents qui montrent que Reis a inversé les scènes du rite pour le rendre plus attractif aux yeux du public. Les rites funéraires des Bororos sont longs. Juste après la mort, le corps est placé au centre du village, dans une sépulture temporaire. La fosse est arrosée régulièrement pour accélérer la putréfaction. Après la décomposition, les os sont lavés, décorés et placés dans un grand panier funéraire. Celui-ci reste environ une semaine dans le village puis est emmené dans un lac où il restera submergé. Tout le processus peut durer d'un à trois mois. C'est pendant cette période que plusieurs rituels sont célébrés en l'honneur du mort. Reis n'a pas pu filmer certains aspects du rituel et a coupé quelques scènes ; « il a réorganisé le matériel filmé », explique Cunha. Novaes a déjà assisté à plus de 40 funérailles : « La cérémonie funéraire se déroule encore de la même manière aujourd'hui et elle est essentielle pour les Bororos parce qu'elle symbolise aussi la recréation de leur société ».

Pour la chercheuse, le film peut être qualifié de documentaire ethnographique parce qu'il a été tourné sur une période de 10 semaines, une durée qui a donné le temps au réalisateur de côtoyer la culture des Bororos et d'arriver à la retracer dans son film. En plus, le matériel est passé par des processus d'édition et de montage : « Un documentaire ethnographique est un film fait à partir d'un long vécu entre des cinéastes et des peuples autochtones, dont l'objectif est de capter le point de vue de ceux qui sont filmés. Aujourd'hui, ces travaux impliquent aussi la participation active des personnes qui sont présentées, que ce soit dans le scénario, dans la saisie d'images, de son ou d'édition ». Selon elle, le film de Reis comporte un axe narratif à la différence des films de voyage de l'époque (comme ceux de Silvino Simões Santos Silva ou Edgar Roquette-Pinto), où les réalisateurs organisaient les images conformément au développement de leurs voyages et ne se limitaient pas à filmer des événements ponctuels : « Dans *Rituais e festas Bororo*, Reis ne fait pas référence au voyage qui a donné naissance au film, il centre le récit sur la cérémonie funéraire ».

Un autre aspect important qui différencie le film de Reis des films de voyage de l'époque est l'approche documentaire associée à une forme narrative déjà bien développée. Comme l'explique Cunha, « le film met l'accent sur une description visuelle de la culture bororo pour viser un public plus large, ce qui permet de l'affilier à une tradition qui a ensuite été nommée film ethnographique ». Pour Henley, une autre différence réside dans le fait que les films de voyage produits à la même période n'avaient pas d'autonomie narrative des images. Par conséquent, il était très fréquent qu'au moment de la projection une personne reste à côté de l'écran pour contextualiser les images qui passaient comme des diapositives : « Reis, par contre, a procédé à un traitement interne du récit, par le biais de l'inclusion de légendes pour expliquer ou relier des situations ».

Henley explique que dans le monde anglophone le terme « documentaire » s'est consolidé au début des années 1930 pour désigner les travaux de Robert Flaherty produits dans les années 1920, avec en particulier *Nanook l'esquimau* et *Moana*. « Ces films comprennent la dramatisation d'événements, l'invention de situations et des interférences constantes du réalisateur. En fonction de cela, ils ne seraient plus acceptés en tant que documentaires aujourd'hui ». À l'exception de quelques scènes ponctuelles, où les Amérindiens sont sollicités pour apparaître de profil, la cinématographie de Reis est, en termes contemporains, observationnelle : la caméra accompagne seulement les actions, sans interférence apparente du réalisateur.



Sylvia Novaes pense que Reis avait conscience du potentiel esthétique de son film. Un exemple est la scène d'ouverture, qui filme au milieu d'arbustes des hommes en train de pêcher plutôt que de les montrer directement en premier plan. Pour les chercheurs, ce choix augmente l'envie du spectateur de savoir ce que les Amérindiens faisaient dans cette situation. Une autre scène peu usuelle dans les documentaires de l'époque apparaît quand le réalisateur place la caméra bien en face des Amérindiens qui dansent, permettant ainsi au spectateur d'observer les détails de la décoration des corps et d'avoir une vision intime de ce qui se passe pendant le rituel.

D'après les chercheurs, d'autres films de l'époque, produits dans un contexte ethnographique (à l'exemple des travaux pionniers des anthropologues britanniques Alfred Haddon et Baldwin Spencer et de l'Autrichien Rudolf Pöch) sont faits à partir de prises uniques, sans axes narratifs entre les scènes et selon une vision littérale et chronologique des faits. Sylvia Novaes trouve surprenant que « seulement 20 ans après la première exhibition du cinéma par les frères Lumière

Le documentaire doit être pensé à la lumière du conflit entre la Commission Rondon et les missionnaires salésiens

en 1885, Reis ait produit un film dans un langage cinématographique complexe ». Patrícia Monte-Mór rappelle que Reis a introduit des aspects de la vie de la communauté amérindienne dans le film, fait des panoramiques de la région et présenté des rituels qui précèdent le rite funéraire, en plus des funérailles elles-mêmes : « Les films ethnographiques précédents enregistraient une danse ou un Amérindien en train de faire une céramique sans aucune intention narrative ».

De l'avis d'Eduardo Victorio Morettin, professeur d'histoire de l'audiovisuel à l'École de Communication et d'Arts de l'USP, les travaux tels que ceux de Reis ont eu une portée réduite, au contraire des films de Flaherty qui circulaient beaucoup plus et atteignaient le grand public : « Sur les films faits au Brésil de la fin du XIX^e siècle au début des années 1930, moins de 10 % ont survécu ». Pour lui, le statut de premier documentaire ethnographique de *Rituais e festas Bororo* doit être envisagé comme une possibilité et pas forcément comme une affirmation : « Vu le petit nombre de films brésiliens restants, situer une œuvre ou une autre comme la première du genre est toujours risqué parce que nous n'avons pas pleinement connaissance de la production qui circulait à l'époque ».

Le documentariste Aurélio Michiles est l'auteur d'un film sur la trajectoire de Silvino Santos (1886-1970), un des pionniers dans l'univers



Un rare moment où les hommes (à gauche) et les femmes (ci-dessus) ont été dirigés dans *Rituais e festas Bororo*

des documentaires et auteur du film *No paiz das Amazonas* (1922). Il estime que les travaux de Flaherty ne sont pas ethnographiques car ils recréent l'atmosphère d'une culture plutôt que de la montrer par le biais d'une observation : « D'un autre côté, nous pouvons affirmer aujourd'hui que n'importe quel film (fiction ou documentaire), quand il est conservé dans une cinémathèque, devient une source de références anthropologiques et ethnographiques ». Pour lui, les films de Flaherty doivent être pensés comme des documentaires parce qu'ils offrent aux spectateurs une vision de cet univers culturel, même si l'on considère les interventions du réalisateur sur la réalité qu'il avait l'intention de montrer : « Tout documentariste intervient sur la réalité. Les personnes filmées ne sont jamais les mêmes devant une caméra ». Michiles explique aussi que la filmographie de Reis a été préservée au contraire des travaux d'autres cinéastes comme Silvino Santos, ce qui favorise les recherches sur l'importance de son parcours filmique. Les autres films réalisés par Reis sont : *Os sertões de Matto-Grosso* (1912) ; *Ronuro, selvas do Xingu* (1924) ; *Viagem ao Roraima* (1927) ; *Parimã, fronteiras do Brasil* (1927) ; *Os Carajás* (1932) ; *Ao redor do Brasil – Aspectos do interior e das fronteiras brasileiras* (1932) et *Inspetoria de fronteiras* (1938).

CONFLIT AVEC LES SALÉSIENS

En raison de sa singularité filmique et narrative, Cunha explique que le film doit être pensé à la lumière de la situation conflictuelle vécue entre

la Commission Rondon et les missionnaires salésiens : « Des journaux du début du XX^e siècle contiennent des articles de Rondon qui critiquent les missionnaires. Il y avait une dispute pour l'opinion publique par rapport à ce que l'État devait faire pour les Indiens ». Le documentaire de Reis met en évidence la culture traditionnelle des Bororos afin de les montrer comme des Amérindiens non domestiqués et purs dans leur authenticité sauvage. Or, ces éléments contrariaient les préceptes salésiens, qui cherchaient à effacer les manifestations de la culture amérindienne en incorporant les autochtones dans un projet de nation métisse, travailleuse et chrétienne.

Chiara Evangelista, historienne de l'anthropologie latino-américaine de l'Università degli Studi di Genova (Italie) et spécialiste en histoire Bororo (en particulier les liens entre les Amérindiens, la Commission Rondon et les Salésiens), raconte que le projet de Rondon et celui de la congrégation avaient le même objectif : protéger les Amérindiens et faire en sorte qu'ils deviennent des citoyens brésiliens. « Et pourtant, les projets étaient totalement opposés ». Rondon se basait sur la pensée positiviste, très diffusée parmi les militaires de l'époque, qui proposait la création d'une fédération libre d'états indépendants divisés en deux catégories : les Occidentaux, dérivés de l'union des éléments européen, africain et américain ; et lesdits Américano-brésiliens, constitués par les ethnies tribales.

« Dans les écrits de Rondon et des principaux personnages de son projet, l'affirmation qui revient sans cesse, c'est le devoir de protéger et non pas de diriger les groupes tribaux », observe Evangelista. Pour les pères salésiens, l'acquisition de la citoyenneté brésilienne passait par l'abandon complet de la culture Bororo, par leur « civilisation », par la conversion au catholicisme (ce que rejetait Rondon) et par l'insertion dans le monde des Blancs comme travailleur salarié. Et l'historienne de conclure : « Les relations entre Rondon et les Salésiens se sont maintenues dans un climat de 'paix armée' et les visites des militaires aux missions ressemblaient plus à une inspection qu'à autre chose ». ■

Article scientifique

CAIUBY NOVAES, S., CUNHA, E. T., HENLEY, P. « The first ethnographic documentary ? Luiz Thomaz Reis, the Rondon Commission and the making of *Rituais e festas Bororo* (1917) », *Visual Anthropology*, v. 30, n. 2, pp. 1-43, 2017.

Livres

TACCA, Fernando de. *A imagética da Comissão Rondon*. São Paulo, Papirus, 2001.

LASMAR, D. P. *O acervo imagético da Comissão Rondon no Museu do Índio : 1890-1938*. Rio de Janeiro, Museu do Índio, 2008.

Film

Rituais e festas Bororo: www.youtube.com/watch?v=EIn6eKqMBtE

Labyrinthe des décisions en suspens

86 % des délibérations du STF sont des réponses à des recours internes au tribunal

Márcio Ferrari

PUBLIÉ EN MAI 2017

Il suffit d'accompagner les informations pour constater que le Tribunal Suprême Fédéral (STF, acronyme en portugais) occupe aujourd'hui une position centrale dans les principales discussions du pays. Depuis quelques années, les décisions du tribunal dans le domaine politique connaissent une grande répercussion, mais la portée de son action est bien plus grande. Créée avec la construction de l'assise légale de la République, la Cour a pour objectif principal la vérification de la constitutionnalité des lois et, dans la pratique, en tant qu'instance maximale du pouvoir judiciaire, le dernier mot sur tous les sujets jugés importants pour le pays. En raison de vastes prérogatives, le STF est confronté à un afflux de demandes qui met à l'épreuve sa capacité de décision. En 2016, 90 713 nouveaux procès sont arrivés au STF. Même si 80 297 ont été résolus pendant la période, il reste

près de 60 000 procès non conclus – un nombre qui demeure stable depuis quelques années.

En dépit de l'effort des 11 ministres du STF, le mot final sur la constitutionnalité est relativement rare : 86 % des décisions sont de nature procédurale, c'est-à-dire des réponses à des recours internes au tribunal sollicités par des avocats des parties en litige. D'après Joaquim Falcão, directeur de la Faculté de Droit de la Fondation Getulio Vargas (FGV) de Rio de Janeiro et ancien membre du Conseil National de Justice (CNJ), organisme de contrôle et de perfectionnement du pouvoir judiciaire hiérarchiquement inférieur au STF, « on n'y décide pas la constitutionnalité des demandes, mais des étapes et des délais. [...] Le tribunal foisonne de décisions inachevées et il est devenu son propre labyrinthe, avec d'immenses coûts économiques et politiques pour le Brésil ».

Pour Falcão, les non-décisions sont aussi importantes que les décisions du tribunal, parce qu'elles entraînent aussi des situations « de fait » – parmi d'autres conséquences, il peut arriver que les procédures soient prescrites et que cela favorise une des parties. Dans l'étude « O Supremo, a incerteza judicial e a insegurança jurídica » [Le Tribunal Suprême, l'incertitude judiciaire et l'insécurité juridique], publiée en portugais dans le *Journal of Democracy*, Falcão cite en exemple le cas des actions qui questionnent la constitutionnalité de plans économiques : « On estime que plus de 957 000 cas sont à l'arrêt dans les instances inférieures, dans l'attente d'une décision du Tribunal Suprême qui peut avoir un impact sur le secteur bancaire de plus de 2,5 milliards de réais. [...] cette non-décision affecte le principe de séparation des pouvoirs et, en protégeant le Trésor Public parmi les parties impli-





quées, elle devient une véritable politique économique du Tribunal Suprême ».

Diego Werneck Arguelhes, professeur du FGV Droit-Rio, observe que « les plans économiques bénéficient beaucoup plus du silence des ministres du Tribunal Suprême que des décisions qui confirment leur mérite. [...] On peut penser que ce silence a été administré avec la responsabilité de ne pas prendre de décisions ayant un grand impact politique, mais l'établissement des ordres du jour est très obscur, ce qui a pour habitude d'entraver le fonctionnement du tribunal. [...] On ne sait jamais ce que le Tribunal va juger avant que le jugement ne commence, même si l'ordre du jour est publié à l'avance ». Le facteur temps désorganise l'ordre du jour et le président n'est pas tenu de s'expliquer sur la reprise de procès. L'ordre du jour est rarement rempli en une séance et la liste ne suit pas nécessairement à la

séance suivante, comme cela est prévu antérieurement.

Dans son article, Falcão distingue un état d'incertitude naturelle provoqué par l'attente de décisions de la Justice, de l'insécurité découlant de l'absence ou du non-respect de règles par le Tribunal. À titre d'exemple, les demandes de « retraits » des procès, étudiés par Arguelhes et Ivar Hartman, son collègue au FGV Droit-Rio. Par le biais de cet instrument, les ministres peuvent individuellement demander du temps pour mieux étudier un procès et, pendant

ce temps-là, le paralyser. Le règlement interne du Tribunal établit un délai de 10 jours, prorogables 10 jours, pour la restitution, mais il y a des cas de procès non restitués depuis plus de 5 ans. Falcão juge cette routine générale « pathologique » dans la mesure où elle agrandit sans nécessité la « durée raisonnable du procès » prévue dans l'article 5 de la Constitution : « Face à son labyrinthe de recours, le STF supprime des incertitudes et en crée d'autres, dans un mouvement perpétuel ».

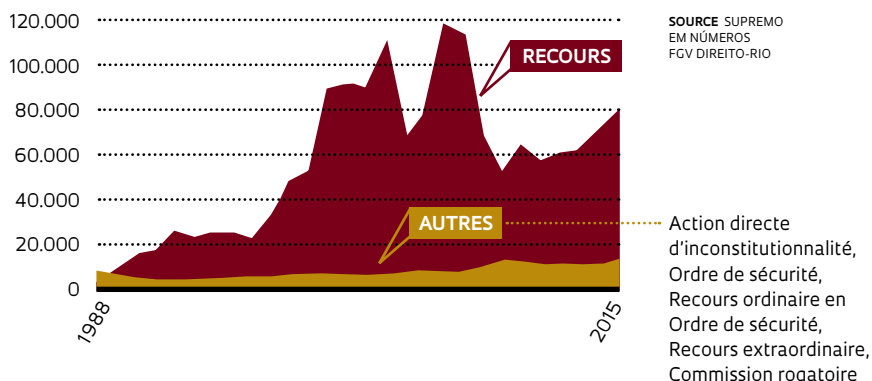
Les conclusions du chercheur sont basées sur les données quantitatives des projets « Tribunal Suprême en numéros » et « Histoire générale du Tribunal Suprême », les deux de la FGV Droit-Rio, et « Justice en numéros », du CNJ. Tous sont disponibles en ligne. D'après lui, les quantifications et le croisement de données extraites par l'intermédiaire de logiciels développés avec le projet « Tribunal Suprême » révèlent la situation de paralysie de centaines de procès.

Le groupe coordonné par Falcão précise que les études sur le judiciaire ne se limitent pas seulement à la doctrine, elles considèrent aussi les implications sociologiques, économiques et culturelles des décisions de la justice. Un exemple de la méconnaissance de la réalité du Tribunal a été la prévision, dans le texte du nouveau Code de Procédure Civile, en attente de ratification présidentielle depuis 2 ans, d'octroyer 15 minutes à chacune des parties pour présenter ses arguments dans les jugements de recours (recours qui peut aller à l'encontre d'une décision) au STF. Conformément au projet « Tribunal Suprême en numéros », en moyenne 9 402 recours arrivent à la Cour chaque année – donc si juste une des parties utilisait ses 15 minutes, 2 350 heures seraient consommées par an. Informée, l'ancienne présidente Dilma Rousseff a opposé son veto sur cette règle.

Avec la Constitution de 1988, le STF a joué d'un pouvoir sans précédents. S'il y a une demande et que ses ministres la jugent nécessaire, il a le dernier mot par rapport à l'action du pouvoir exécutif, du pouvoir législatif et des instances inférieures du judiciaire. La Charte a ouvert un grand nombre de voies d'accès procédurale au STF : 36, parmi lesquelles des actions de constitutionnalité, des appels et des recours. Les attributions du tribunal peuvent être vastes, à tel point que

Activités au Tribunal

Volume et nature de procès nouveaux au STF (1988-2015)



Les recherches ont été menées sur la base de données quantitatives de projets de la FGV-Rio et du CNJ

dernièrement il a jugé et renversé le dernier recours en contestation du résultat du Championnat brésilien de football de 1987. Devant la profusion de demandes, les décisions monocratiques (proférées par un seul magistrat) prévalent : 93 % par an en moyenne. Pour les chercheurs, le phénomène est une distorsion de la nature collégiale du STF et porte atteinte au droit des parties en litige. En outre, quand un ministre profère une décision préliminaire, il paralyse le processus et le garde à l'abri d'une décision définitive de l'assemblée.

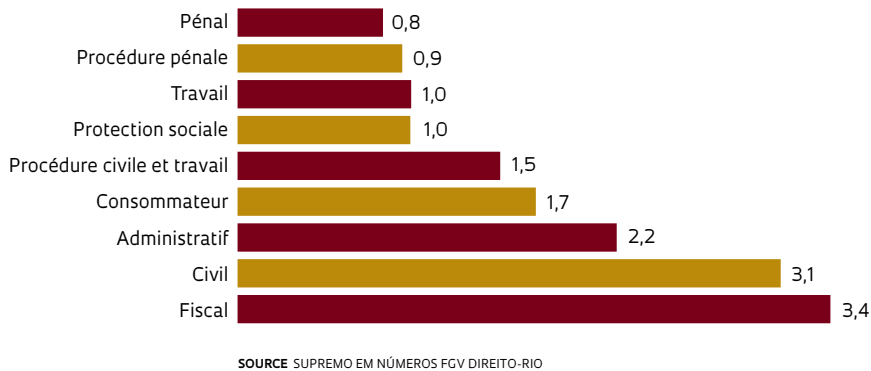
L'étendue considérable du pouvoir judiciaire au Brésil, par le biais du STF, serait-elle une manière de se superposer aux autres pouvoirs en affectant l'équilibre entre eux ? En principe non, même si cet équilibre est délicat. Selon Rogério Arantes, professeur du Département de Science Politique de l'Université de São Paulo (USP), « le STF a une importance décisive, mais des limites en permanence sous tension sont caractéristiques de la dynamique de la séparation des pouvoirs. [...] Cependant, le STF doit être modéré dans ses décisions, sinon elles risquent de ne pas être respectées. Il suffit de se rappeler l'épisode où le sénateur Renan Calheiros a refusé de recevoir l'ordre d'éloignement de la présidence du Sénat l'an dernier ; le tribunal l'a refaite en quelques jours, pour la rendre exécutable ».

Mais le directeur de la Faculté de Droit de la FGV à São Paulo, Oscar Vilhena Vieira, pense que la fait d'avoir une Constitution « ambitieuse » donne une dimension constitutionnelle à tous les changements législatifs et les adoptions de politiques publiques : « Le STF est appelé à avoir le dernier mot sur des thèmes qui devraient être une tâche de la sphère politique ». Les autres pouvoirs délèguent au judiciaire la charge des décisions les plus polémiques. Vilhena cite en exemple l'union civile de couples homosexuels, les grèves de fonctionnaires et la guerre tribunaire entre les états.

Falcão évoque une « culture du procéduralisme » qui n'a pas été ébranlée par les tentatives de diminution des mandes au STF, comme l'Amendement

Une longue attente

Nombre moyen d'années que durent les décisions préliminaires, par sujet (1988-2013), un indicateur de morosité au STF



45, approuvé par le Congrès en 2004 et adopté par le tribunal en 2007, qui a créé le filtrage des recours extraordinaires (qui permet de donner la priorité à des procès conformément à l'importance sociale) et des arrêts de règlement (par lesquels une décision préalable établit une jurisprudence pour des demandes postérieures). Mais si au cours des premières années de fonctionnement le recours extraordinaire a diminué le nombre d'actions à décider, ce résultat a été éphémère. « Le recours extraordinaire crée de nouvelles réactions internes et plus de recours, de règles et de procédures qui consomment du temps », observe Arguelhes. Damares Medina, professeure de l'Institut Brésilien de Droit Public et coordinatrice de recherche de l'Institut Constitution Ouverte (Icons), pense que « si le STF était fidèle aux précédents qu'il établit, l'instrument du recours extraordinaire ne serait même pas nécessaire. [...] Même les cas jugés en recours extraordinaire sont rejugés par le tribunal qui, par habitude, y voit toujours une raison »

« Le Congrès a essayé de diminuer les demandes, mais la gestion de procéduralisme du STF ne l'a pas permis », constate Falcão. Il y a selon lui une résistance historique à limiter le nombre de procès qui arrivent au STF. Cela provient d'une « importance sélective » du *judicial review* – le contrôle judiciaire des lois en accord avec les demandes de la société, un principe qui oriente la Cour Suprême des États-Unis et a inspiré la création du STF par la Constitution de

1891. Pour le chercheur, on a oublié d'accompagner le développement, au long du droit constitutionnel des États-Unis, du mécanisme *writ of certiorari*, une prérogative d'accepter ou non, sans besoin de justification, les actions qui arrivent à la Cour Suprême. Au Brésil, il n'y a pas de prévision statutaire ni de tradition de renvoyer des procès. Il y a une hybridité de la nature du STF qui en fait à la fois un gardien de la constitutionnalité, un tribunal de troisième instance (dans la plupart des pays, deux suffisent) et, dans les cas de jugements de politiciens bénéficiant d'immunité, de tribunal de première instance.

RAISONS HISTORIQUES

Falcão met en avant des raisons historiques pour expliquer la résistance à utiliser la jurisprudence pour créer des filtres. Pour lui, le STF a été important pendant les périodes d'autoritarisme pour la défense des libertés civiles, et il s'est attaché à interdire les abus commis par d'autres sphères du pouvoir : « la compétence pénale du STF, par exemple, est influencée par cette nécessité ». Un autre facteur de la faible fréquence de refus de juger des cas serait « la conception équivoque mais culturellement consolidée que la réitération de l'État de Droit par des décisions constantes perfectionne le sentiment de justice dans la société ».

Damares Medina attire l'attention sur le manque de normes consistantes de reproduction de la jurisprudence du STF. Ce trait caractéristique du compor-

tement décisionnel du tribunal encourage de nouveaux accès et de nouveaux jugements de sujets déjà décidés : « à partir de l'analyse de la jurisprudence du STF, nous avons observé qu'un des effets délétères de l'inconsistance des normes de reproduction des décisions du tribunal est l'effet multiplicateur de réouverture de demandes en cascade, dans les tribunaux d'origine (jurisprudence de base).

Pour la chercheuse, le pouvoir judiciaire est devenu une fin en soi : « Au Brésil, il y a presque 130 millions de procès, plus de 451 000 fonctionnaires et un budget qui équivaut à 1,34 % du Produit Interne Brut (PIB), tandis qu'aux États-Unis, en Allemagne et en Espagne, cette partie ne dépasse pas 0,30 % ». Arguelhes et Medina rappellent qu'un des facteurs en cause est le fait qu'au Brésil recourir en justice, et donc aller jusqu'à la dernière instance, est relativement bon marché. Dans le cas des immunités, les procès peuvent traîner jusqu'à 11 ans. D'après le relevé du projet « STF en numéros », seul 5,6 % des décisions d'enquête au STF ont abouti à des actions pénales entre janvier 2011 et mars 2016, et le taux de condamnation des accusés a été inférieur à 1 %. Falcão estime que « c'est la raison pour laquelle les membres du congrès ne veulent pas supprimer l'immunité. [...] Dans tous les champs d'action du STF, la plus grande probabilité statistique est l'ajournement ».

La situation n'échappe pas aux membres du STF, qui réfléchissent à des propositions de changements. Mais pour les chercheurs, il existe un attachement persistant à toutes les attributions actuelles. « Dissuader la contestation, diminuer le nombre de procès, décentraliser vers les instances inférieures « la décision finale », contrôler le comportement des ministres, rendre le procès de décision prévisible, tout cela a un impact et diminue le pouvoir du STF », affirme Falcão. « C'est un pouvoir parallèle et informel non prévu dans la Constitution ». ■

Articles scientifiques

ARGUELHES, D. W. et HARTMAN, I. A. « Timing control without docket control: How individual Justices shape the Brazilian Supreme Court's agenda », *Journal of Law and Courts*, v. 5, n. 1, 2017.

FALCÃO, J. « O Supremo, a incerteza judicial e a insegurança jurídica », *Journal of Democracy*, v. 5, n. 2, 2016.



Du sol de l'usine à l'assemblée

Des chercheuses retracent l'histoire de la
lutte des mouvements féministes brésiliens

Danilo Albergaria

PUBLIÉ EN JUIN 2017

Au cours des 100 dernières années, la lutte féministe pour les droits de la femme et l'égalité entre les sexes a eu un impact sur la scène politique brésilienne. Entre les ouvrières grévistes de 1917 et les groupes de pression politique actuels, les femmes ont dû beaucoup se battre pour que certaines de leurs demandes soient reconnues. Des recherches récentes ont tenté de mieux comprendre différents moments de cette histoire. Une partie de ces études est réunie dans le livre *50 anos de feminismo : Argentina, Brasil e Chile* [50 ans de féminisme : Argentine, Brésil et Chili] (Edusp, 2017), fruit du projet coordonné par les sociologues Eva Blay de la Faculté de Philosophie, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de São Paulo (FFLCH-USP), et Lúcia Avelar, du Centre d'Études d'Opinion Publique de l'Université d'état de Campinas (CESOP-Unicamp). Le livre aide à comprendre le rôle central des organisations féministes dans la conquête de la protection juridique et sociales des femmes. Rien que dans le champ de la vie privée, il y a eu des victoires fondamentales telles que la suppres-



2

Manifestation des *Diretas já!* au centre de São Paulo (à gauche), en 1984, et manifestantes pendant la Marche Mondiale des Femmes (en haut), sur la route Anhanguera (SP), en 2010

sion du pouvoir paternel et la criminalisation de la violence domestique et du harcèlement sexuel.

Malgré les avancées, les femmes brésiliennes sont encore sous-représentées politiquement. En matière de présence féminine dans les parlements, le Brésil est le 154^e pays sur 190 dans le classement établi par l'organisation Inter-Parliamentary Union. Seul un siège sur 10 de la Chambre des Députés est occupé par des femmes, soit 513 représentantes. Au Sénat, cette présence est de 14 % des 81 élus. Sur cette question, le pays se situe même derrière l'Arabie Saoudite avec tout son historique de restriction des libertés et droits féminins. Pour Lúcia Avelar, les organisations féministes brésiliennes fonctionnent comme une sorte de représentation extra-parlementaire des femmes, avec une activité associée à un petit – mais actif – groupe féminin.

Coauteure de l'un des articles du livre, la politologue Patrícia Rangel (aujourd'hui en stage de postdoctorat à la Freie Universität de Berlin) pense que cette articulation politique organisée a conduit aux changements légaux qui ont assuré une égalité juridique entre hommes et femmes, aboli des

termes discriminatoires de la législation et permis aux femmes de figurer légalement comme chef de famille. Les résultats de cette articulation sont aussi l'augmentation du congé maternité (1988), la loi sur la parité des candidatures aux élections (1995, avec l'exigence que 30 % des candidatures soient des femmes), la stérilisation possible dans les hôpitaux publics (1996), la normalisation de la prise en charge de l'avortement légal par la sécurité sociale (1998) et la Loi Maria da Penha (2006) contre la violence domestique et intrafamiliale.

Lúcia Avelar affirme que le Brésil est un des pays où le mouvement féministe affiche le plus grand niveau organisationnel, et ce malgré la faible représentativité de femmes au parlement : « Cette mobilisation a atteint un haut niveau d'articulation, avec des réseaux qui font le pont entre la société et l'État. Les réseaux sont internationalement reconnus, comme l'Articulation des Femmes Brésiliennes et la Marche Mondiale des Femmes ». Elle a identifié le point d'inflexion pour ce niveau d'organisation : « L'entrée progressive des femmes dans des cours d'enseignement supérieur et la formation d'ONG féministes ».

Des exilées des dictatures brésilienne, chilienne et argentine ont été en contact avec les mouvements féministes européens dans les années 1970

Les conquêtes féministes sont entrées au Brésil par le XXI^e siècle, en particulier dans le cas de l'action dans la sphère publique. D'après la sociologue, « Un des grands acquis garantis par les gouvernements jusqu'en 2014 a été la création du Budget Femme [*Orçamento Mulher*], un cas exceptionnel parmi les pays latino-américains ». Il s'agit d'un extrait du budget de l'Union pour les actions qui ont un impact sur la qualité de vie des femmes brésiliennes, parmi lesquelles la santé, la lutte contre la violence ou encore l'égalité dans le monde du travail. Il a été coordonné par le Centre Féministe d'Études et Assistance (CFEMEA) pour contrôler le processus budgétaire et garantir que les sommes approuvées soient effectivement utilisées pour la mise en place des politiques publiques définies dans le Budget Femme.

RÉSISTANTES ET EXILÉES

Une partie de l'organisation féministe est apparue avec l'opposition des femmes à la dictature militaire brésilienne (1964-1985). La recrudescence de l'autoritarisme, surtout à partir de 1968, a entraîné des vagues d'exilés qui s'opposaient au régime. Beaucoup de femmes ont été en contact avec le féminisme à l'étranger et en particulier en France. Là, des Brésiliennes et autres Latino-

américaines (aussi expatriées à cause des coups d'états militaires au Chili (1973) et en Argentine (1976)), ont publié des textes qui servaient de point de rencontre du débat féministe en exil.

Ces groupes ont été étudiés par la sociologue Maira Abreu, docteure en sciences sociales de l'Unicamp et auteure du livre *Feminismo no exílio* [Féminisme en exil] (Alameda, 2016). Elle y explique que ces groupes constituaient une présence importante dans la communauté brésilienne en France et qu'ils ont été un élément de diffusion d'idées féministes. Quand elles sont rentrées dans leurs pays d'origine, beaucoup ont rapporté avec elles cette expérience et influencé, d'une certaine manière, les débats en cours sur le féminisme latino-américain. Pour l'auteure, « Il ne faut cependant pas penser à une simple relation d'importance d'idées, mais à une rencontre de féminismes nées dans des réalités différentes ».

En dépit d'une organisation croissante, les femmes sont encore peu présentes dans les partis politiques. Lúcia Avelar montre notamment du doigt le caractère oligarchique des partis politiques brésiliens et la centralisation de leur pouvoir. Cependant, les partis de gauche offrent aujourd'hui aux femmes des opportunités politiques un peu meilleures : dans les partis aux racines ancrées dans les mouvements sociaux, la dispute interne entre tendances améliore la position des femmes, parce que l'ouverture à de nouveaux segments est habituellement plus grande ». Pour Patrícia Rangel, les partis ne semblent pas comprendre que la présence des femmes est aussi synonyme de démocratie : « Cela a des effets négatifs pour les femmes en général puisque ce sont les partis qui déterminent l'accès à la politique institutionnalisée et qui ont un rôle important dans le changement du système politique ».

La non-compréhension du rôle des femmes les a reléguées pendant très longtemps à la place d'assistantes dans les partis et les syndicats, des milieux où l'on aurait pu s'attendre, par cohérence idéologique, à une défense de l'égalitarisme. « L'affrontement du patriarcat était généralement remis au second plan, après la priorité politique qui était la critique du capitalisme », affirme Patrícia Rangel. D'après Eva Blay, on croyait que la modernisation de la société produirait l'égalité entre hommes et femmes : « Cette vision mécaniste a été remise en cause au fur et à mesure que l'on s'est aperçu que la modernisation elle-même maintenait les standards patriarcaux en leur donnant une nouvelle apparence et en recomposant des modèles de domination, de violence contre la femme, d'inégalités professionnelles et salariales ». Ces remises en question sont venues des féministes dans les années 1970, mais les premières transformations issues du féminisme brésilien ont une origine plus ancienne.

Bertha Lutz en 1925 : l'une des fondatrices de la Fédération Brésilienne pour le Progrès Féminin, en 1922





Le journal *A Manhã*, de Rio de Janeiro, faisait campagne pour le vote de la femme en 1926

OUVRIÈRES ET INTELLECTUELLES

Dans le Brésil des années 1920, les femmes n’avaient aucuns droits politiques, elles ne pouvaient pas voter ni prétendre à une fonction politique. Pour exercer une activité professionnelle en dehors du domicile, elles avaient besoin de l’autorisation du mari et gagnaient jusqu’à moins de la moitié que les hommes pour les mêmes fonctions. Cette situation n’a commencé à changer qu’à partir de la résistance des ouvrières et de l’apparition d’organisations telle que la Fédération Brésilienne pour le Progrès Féminin (FBPF), dirigée par la biologiste Bertha Lutz (1894-1976).

Fille du bactériologiste Adolfo Lutz (1855-1940), Bertha Lutz est née à São Paulo et a étudié en France. Là, elle a été influencée par l’explosion internationale du féminisme autour de la demande pour le suffrage universel. Fondée en 1922, la FBPF est souvent associée à l’idée que les premiers pas du féminisme brésilien n’ont été donnés que par des femmes de l’élite économique et intellectuelle, déconnectées de la réalité de la plupart des ouvrières.

En fait, la réalité est autre. L’historienne Glauca Fraccaro a étudié l’importance de l’activité politique des femmes de la classe ouvrière et leur influence indirecte sur les *leaders* et les organisations féministes dans les années 1930. Elle vient de soutenir sa thèse intitulée « Les droits des femmes : organisation sociale et législation du travail pendant l’entre-deux-guerres au Bré-

sil (1917-1937) [titre original : *Os direitos das mulheres : organização social e legislação trabalhista no entreguerras brasileiro (1917-1937)*] à l’Institut de Philosophie et Sciences Humaines de l’Unicamp.

Elle y écrit que le fait de ne pas avoir prêté attention à l’histoire des ouvrières est un des motifs de l’association entre le féminisme brésilien et les classes supérieures. À cela s’ajoute l’idée que la classe ouvrière n’a pas participé à l’émergence du mouvement féministe. Or, il n’en est rien. L’une des racines de l’action féminine organisée en quête de droits ne vient pas des mouvements de femmes de la classe supérieure, mais des ouvrières de la grève qui a paralysé São Paulo il y a 100 ans.

La grève générale de 1917 a été une réaction à la diminution du pouvoir d’achat, à la détérioration des conditions de travail et à la croissance de l’exploitation des mineurs dans l’industrie. Reflet de la Première Guerre mondiale, l’accélération des exportations pesait sur les familles ouvrières, appauvries et épuisées par l’augmentation de la journée de travail. Le secteur textile employait surtout des femmes, qui représentaient près d’un tiers de la force de travail urbaine – et dans l’industrie, les mineurs exploités étaient majoritairement des filles. Fraccaro raconte : « Quand les ouvriers et les ouvrières ont organisé plusieurs grèves à partir de 1917, la notion selon laquelle les droits sociaux n’étaient pas neutres et devaient englober la condition des femmes a émergé ».

La lutte a mené à des conquêtes pendant le premier gouvernement Getúlio Vargas (1930-1945). Pendant cette période, l’action politique de Bertha Lutz a été influencée indirectement par les demandes de la classe ouvrière. L’historienne rappelle que « des femmes du Parti Communiste Brésilien dénonçaient dans la presse le manque de préoccupation de la FBPF pour les ouvrières, tandis que le réseau transnational dans lequel s’insérait la fédération imposait un agenda qui comprenait le congé maternité, l’interdiction du travail de nuit pour les femmes et le droit de vote ». Les pressions exercées par les mouvements ont conduit Vargas à approuver en 1932 un décret qui répondait à ces demandes et incluait la loi de l’égalité salariale, qui n’a toutefois jamais été respectée. ■

Projet

50 ans de féminisme (1965-2015) : Nouveaux paradigmes, défis futurs (n° 12/23065-8) ; Modalité Projet thématique ; Chercheuse Responsable Eva Alterman Blay (USP) ; Investissement 273 280,93 R\$

Livres

BLAY, E. A. et AVELAR, L. (org). **50 ans de feminismo: Argentina, Brasil e Chile: A construção das mulheres como atores políticos e democráticos**. São Paulo, Edusp, 2017.
 ABREU, M. **Feminismo no exílio**. São Paulo, Alameda Editorial, 2016.

Modes de libération et de survie

Des femmes esclaves recouraient à des stratégies pour acheter leur liberté et travailler comme des affranchies

Christina Queiroz

PUBLIÉ EN MARS 2017

Refuser de travailler, affronter verbalement ses maîtres et provoquer de petits préjudices sont devenus des stratégies de femmes noires esclaves pour dévaloriser leur propre prix de vente. Certaines allaient même jusqu'à demander protection à des familles ennemies de leurs maîtres pour réussir à se faire affranchir. L'abolition de l'esclavage n'a eu lieu qu'en 1888 au Brésil, mais après l'établissement de la Loi du Ventre Libre en 1871 [loi qui accordait d'office la liberté aux enfants nés à partir de cette date], des esclaves se sont vus octroyer le droit d'acheter leur liberté. Réunir de l'argent dans ce but exigeait des sacrifices qui s'ajoutaient à l'esclavage, comme par exemple travailler pendant les rares pauses ou négocier la part de la rémunération qui serait destinée à leurs propriétaires. En utilisant cette stratégie, les femmes réussissaient mieux que les hommes, en fonction surtout de la demande de personnel pour des travaux domestiques. Mais une fois libres, elles devaient surmonter d'autres obstacles tout aussi difficiles que les précédents :

trouver un travail pour survivre, s'occuper seules des enfants et s'insérer dans la société locale.

Dans une étude débutée au cours de son master et poursuivie pendant son postdoctorat à l'Université de New York, l'historienne Lúcia Helena Oliveira Silva, professeure de la Faculté de Sciences et Lettres de l'Université de l'état de São Paulo (FCL-Unesp, campus de Assis) a montré que des esclaves africaines et afro-brésiliennes tentaient de se faire libérer par le biais de moyens juridiques. Également vice-coordinatrice du Centre Noir de Recherche et Activités para-universitaires (Nupe-Unesp), elle observe : « À partir d'une étude de 157 procédures judiciaires traitées par la Cour de Campinas, j'ai constaté que plus de la moitié des procès pour racheter sa liberté concernait des femmes ».

Les esclaves qui voulaient acheter leur liberté demandaient une audience au juge local afin d'établir le montant à payer. Ils devaient être représentés par un homme libre parce qu'aux yeux de la loi ils n'étaient pas considérés comme des personnes, mais comme la propriété d'autrui.



Vendeuses d'aliments à Rio de Janeiro, 1875 : les femmes avaient plus d'options de travail que les hommes



L. H. Oliveira Silva raconte que pour réussir la somme exigée, les femmes esclaves faisaient la lessive, travaillaient comme nounou, nourrice, brodeuse ou repasseuse, vendaient des aliments dans la rue qu'elles préparaient elles-mêmes ou qu'elles cultivaient sur un petit lopin de terre. Le marché des employées domestiques offrait plus d'opportunité aux captives qu'aux esclaves.

Pour obtenir plus vite la liberté, poursuit la chercheuse, elles adoptaient des attitudes destinées à faire baisser leur

propre prix, comme par exemple multiplier les fuites. Ce fut le cas de l'esclave Cristina. Transférée malgré elle de Rio de Janeiro à Campinas, elle refusait de rester dans la ville. Les coups de son maître n'y changeaient rien, elle refusait de lui obéir. Il a fini par se dire qu'il avait fait une mauvaise affaire et se débarrassa d'elle en la renvoyant à Rio de Janeiro. « Cristina était à deux doigts de la mort, mais elle a finalement obtenu ce qu'elle voulait », écrit la chercheuse. Une autre astuce consistait à profiter des inimitiés entre les maîtres.

L. H. Oliveira Silva évoque l'histoire d'une captive dans la province de São Paulo qui, après avoir été rouée de coups, s'est enfuie chez les ennemis de son maître. Et le patriarche de cette famille étant un juge, c'est lui qui l'a aidée à racheter sa liberté : « Des histoires comme celles-là permettent d'en finir avec les stéréotypes de l'esclave bien sage, qui obtenait la lettre d'affranchissement de son patron comme récompense. [...] Mais aussi avec l'image de la révoltée qui fuyait constamment et donc était condamnée à être esclave toute sa vie ».

Une fois obtenu, l'affranchissement ne résolvait pas tous les problèmes. Loin de là. Comme elles avaient besoin de l'intervention de tierces personnes pour acquérir leur liberté, il se créait souvent des relations de dépendance qui pouvaient se traduire par la prestation de services, des relations sexuelles ou des paiements en argent.

Entre 1888 et 1926, une stratégie de survie des affranchis de São Paulo était de migrer vers Rio de Janeiro. L'analyse du recensement disponible dans les documents de l'Assemblée législative de São Paulo a permis à la chercheuse de constater que l'état de São Paulo possédait le troisième plus grand nombre d'esclaves entre 1888 et 1890. Mais en 1892, la donne change, la population noire est moins élevée dans la région : « Les expériences des affranchis et des afro-descendants à São Paulo étaient traversées par des attentes d'insertion sociale et des tentatives des maîtres de maintenir la situation socio-raciale antérieure à l'abolition ». Avec la venue des immigrants européens, le marché du travail est devenu encore plus difficile parce que les employeurs préféraient embaucher des Blancs.

D'un autre côté, Rio de Janeiro fonctionnait comme un espace de convivialité d'esclaves et d'affranchis provenant de tout le Brésil : « Les quais du port et l'existence de petits travaux urbains faits par la communauté noire facilitaient l'insertion dans la société locale ». L.H. Oliveira Silva pense que ce mouvement migratoire était dû au fait que les affranchis voulaient fuir le stigmate de l'esclavage, une marque qui était généralement plus apparente dans les villes moins grandes – en 1900, São Paulo ne comptait que 240 000 habitants contre 811 000 à Rio.

L'historienne Isabel Cristina Ferreira dos Reis, professeure au Centre des Arts, des Humanités et des Lettres de l'Université Fédérale du Recôncavo baiano (UFRB), observe une différence avec les anciens esclaves des plantations de canne à sucre du Recôncavo (où se situait la plus grande concentration de travail esclave dans la région). Au contraire des esclaves de São Paulo, ils sont restés à proximité des lieux où ils vivaient parce qu'ils voulaient préserver les liens familiaux et communautaires.

À Recife, beaucoup de femmes affranchies ont choisi de rester dans la région



Une mère et son enfant à Salvador, 1884

À Recife, beaucoup de femmes préféraient rester dans la région pour ne pas voir remise en question leur condition d'affranchies

pour que l'on ne remette pas en question leur condition. Il se trouve que certaines lettres d'affranchissement n'avaient aucune valeur officielle et elles pouvaient être poursuivies par la police, qui les confondaient avec des esclaves en fuite. D'après Valéria Costa, historienne et professeure de l'Institut Fédéral du Sertão du Pernambuco, « les femmes se débarrassaient du stigmate de la captivité en créant des stratégies pour la garantie d'espaces sociaux par le biais du travail, des réseaux d'amis ou en s'affiliant à des groupes catholiques ». Il y avait une grande circulation de femmes dans les rues, surtout en raison du commerce. Comme partie d'une politique publique hygiéniste qui voyait la population noire susceptible de provoquer des troubles, des patrouilles municipales interdisaient la circulation d'esclaves et d'affranchis après 20 heures dans le centre-ville de Recife, en particulier dans le quartier très commercial de Santo Antônio.



Les femmes avec leurs enfants soumis au même régime que les autres travailleurs pour la récolte du café dans le sud de l'état de Rio de Janeiro, 1885 : maternité vécue de manière dramatique

À Rio de Janeiro, les affranchies venues de São Paulo faisaient le même travail qu'avant leur émancipation : « Les vendeuses de nourriture, par exemple, se déplaçaient beaucoup dans l'espace urbain et préservaient la tradition de préparer des plats populaires tel que l'angu, une sorte de polenta avec des morceaux de viande, comme au temps où elles étaient esclaves », explique L.H. Oliveira Silva. Cette dernière a constaté le processus de migration à partir de l'analyse de près de 300 exemplaires de sept bulletins périodiques de São Paulo lus par la communauté noire entre 1886 et 1926. Ces journaux montraient la frustration des esclaves et des anciens esclaves par rapport à la recherche d'emploi et à leur reconnaissance en tant que citoyens.

Elle a aussi consulté des procès criminels et civils des Archives Nationales, ainsi que 310 fiches de la maison d'arrêt de Rio de Janeiro, établis entre 1880 et 1920. Sur l'ensemble des procédures étudiées, 275 concernaient des problèmes d'ivresse et de désordre. En outre, les femmes noires restaient plus longtemps incarcérées quand elles étaient arrêtées le soir et la nuit, à une heure jugée immorale pour les personnes de sexe féminin.

Si le fait d'être une femme aidait les esclaves affranchies à trouver plus faci-

lement du travail, elles n'étaient pas pour autant épargnées par la violence. À la différence de ce qui se passait avec la plupart des femmes blanches, les Noires – qu'elles soient esclaves, nées libres ou affranchies – devaient affronter les rues, travailler pour leurs maîtres ou pour leur propre survie. « À Bahia comme à Rio », observe Isabel Ferreira dos Reis, « elles étaient exposées à tous types de harcèlements et se défendaient comme elles pouvaient : elles criaient, se battaient et finissaient par avoir une mauvaise réputation ».

MATERNITÉ

Si les recherches montrent les esclaves comme des femmes beaucoup moins passives qu'il n'y paraît, le processus d'émancipation basé sur le travail domestique était très précaire. C'est ce qu'affirme également Maria Helena Pereira Toledo Machado, professeure titulaire du Département d'histoire de la Faculté de Philosophie, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de São Paulo (USP). Les patrons exerçaient un contrôle sur l'autonomie des femmes affranchies, qui étaient séparées de leurs familles et avaient très peu de jours de congé.

L'historienne montre que ces femmes ont vécu la maternité d'une manière dramatique – aussi bien les esclaves en quête

d'un pécule, avant 1888, que les affranchies. La garde des enfants était souvent retirée aux femmes affranchies sous prétexte qu'elles faisaient preuve d'un comportement moral inadapté. Cette situation a conduit Maria Helena P. T. Machado à affirmer que l'abolition doit être pensée comme un processus marqué par le genre : « Néanmoins, cette souffrance n'annule en rien la lutte de ces femmes pour réinventer leurs vies et montrer combien leur combat a été difficile ». ■

Projet

Diasporas noires après l'abolition : affranchis et afro-descendants à São Paulo (1888-1930) (n°09/14974-1); Modalité Bourse de recherche à l'étranger; Chercheuse responsable Lúcia Helena Oliveira da Silva (Unesp); Investissement 15 951,30 R\$

Articles scientifiques

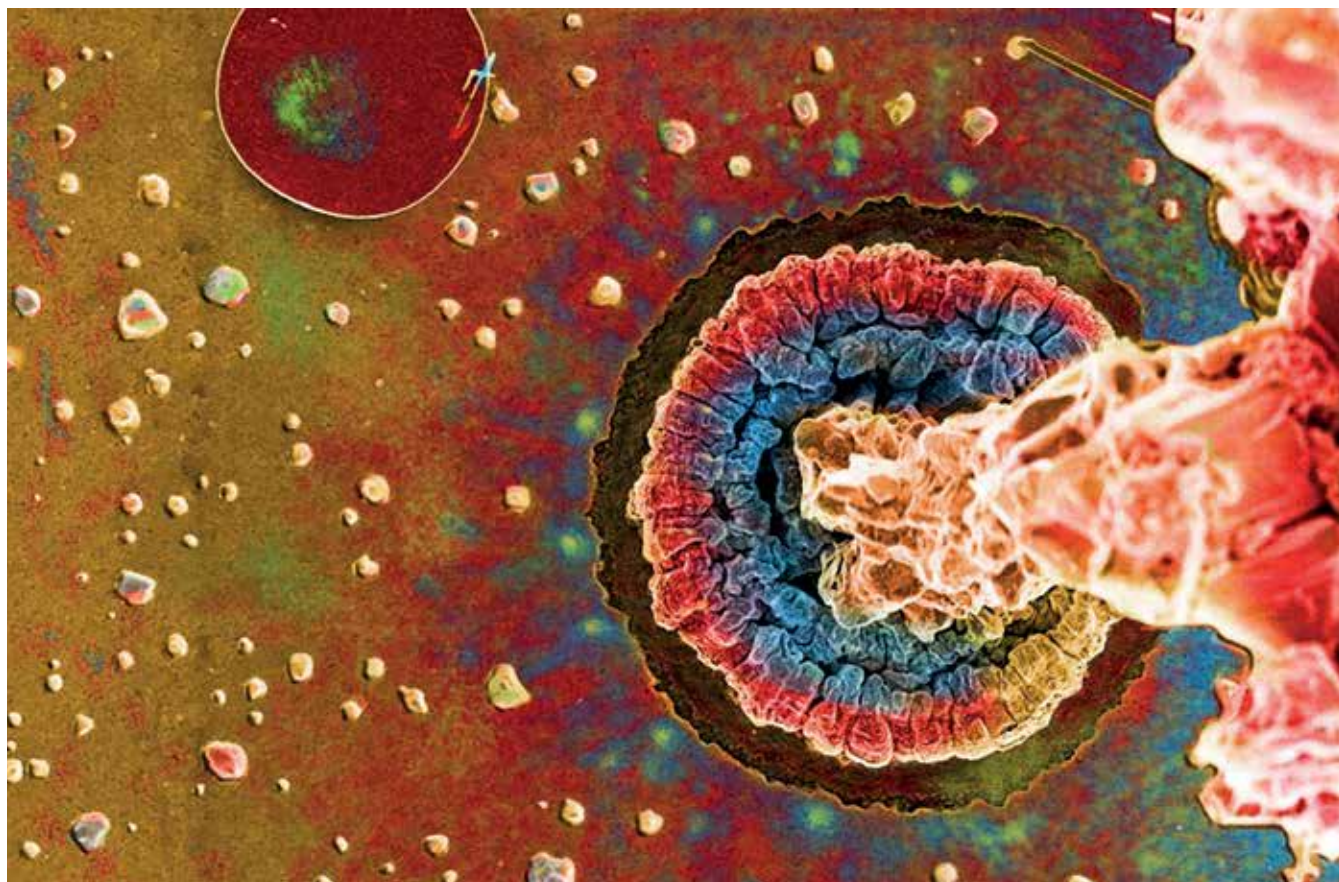
SILVA, L. H. O. « A escravidão dos povos africanos e afro-brasileiros: A luta das mulheres escravizadas », *Revista Org&Demo*. v. 16, Edição Especial, pp. 85-100, 2015.

SILVA, L. H. O. « Aprendizado da liberdade: Estratégias de mulheres escravizadas na luta pela emancipação », *Mnemosine – Revista do Programa de Pós-Graduação em História da UFCC*. v. 5, n.1, jan./jun., 2014.

P. T. MACHADO, Maria Helena. « Corpo gênero e identidade no limiar da Abolição: A história de Benedicta Maria Albina da Ilha ou Ovídia, escrava (Sudeste, 1880) », *Afro-Ásia* n. 42, pp. 157-93, 2010.

LIVRE

SILVA, L. H. O. *Paulistas e afrodescendentes no Rio de Janeiro pós-Abolição* (1888-1926). São Paulo, Humanitas, 2016.



UNESP / UFSCAR

Ciel de diamants

Des nanoparticules d'oxyde d'étain (éclats éparpillés) s'unissent en un cercle très homogène, rappelant un volcan. Le Centre de Développement de Matériaux Fonctionnels, dirigé par le chimiste Elson Longo, a mis au point, sur la base de ce composé, un capteur pour les polluants gazeux. « L'oxyde d'étain est beaucoup plus sensible et plus sélectif que les alternatives disponibles », affirme-t-il. La photographie, baptisée *Água da Morte* [en français : Eau de la Mort], issue de la série *Nanoart*, fait partie d'une sélection actuellement exposée au Musée de Demain, à Rio de Janeiro.

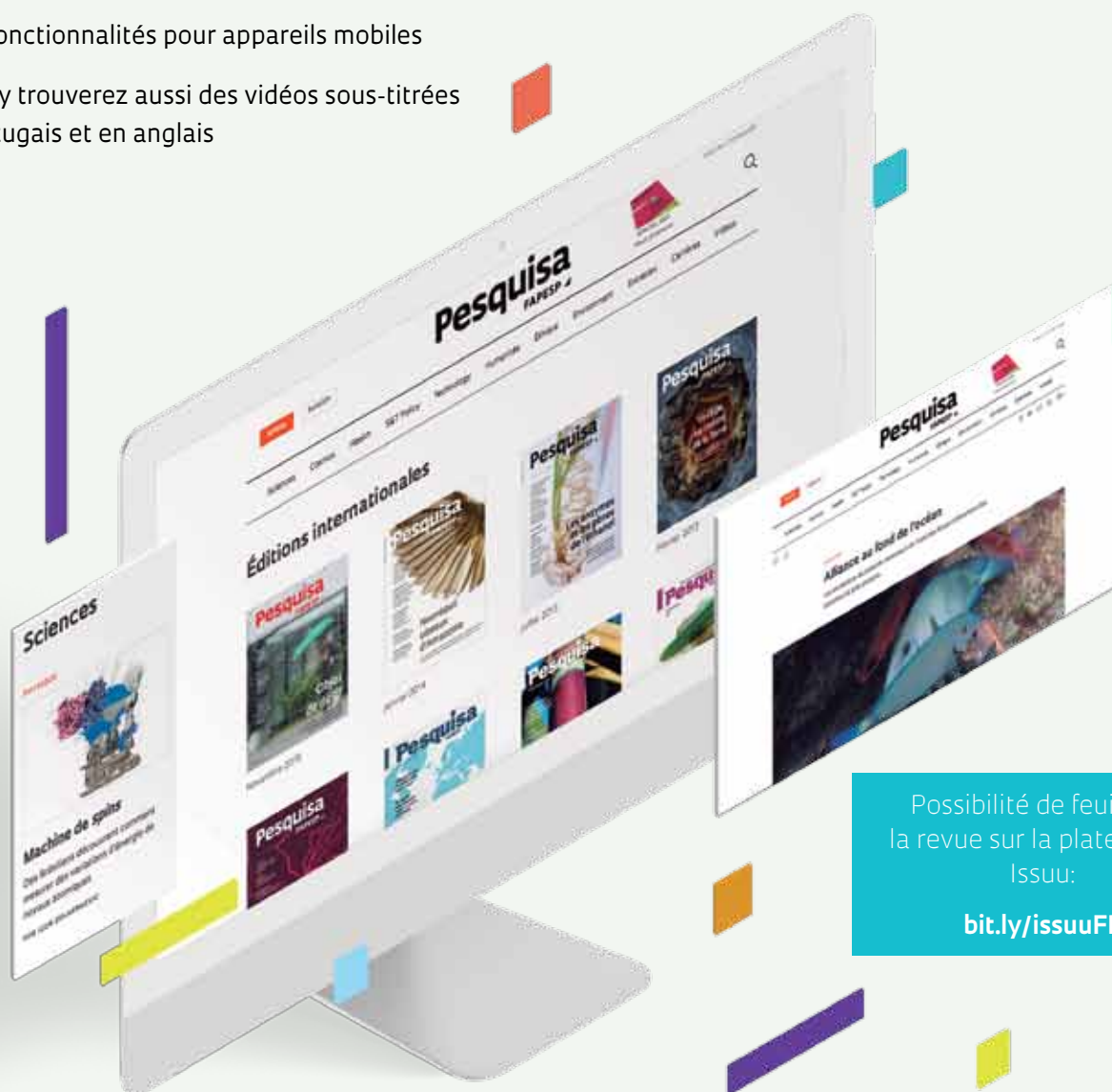
Image capturée par Rorivaldo Camargo en utilisant un microscope électronique à balayage à haute résolution et colorée par Enio Long. Elle nous a été envoyée par le professeur Elson Longo, du campus d'Araraquara de l'Unesp

PUBLIÉE EN MAI 2017

Nouveau site de Pesquisa FAPESP

Il y a plusieurs raisons de nous suivre :

- › Des reportages traduits en anglais et en espagnol
- › Une page d'accueil attractive
- › Des éditions internationales en anglais, français et espagnol
- › Une apparence plus légère et des images mises en valeur
- › Des fonctionnalités pour appareils mobiles
- › Vous y trouverez aussi des vidéos sous-titrées en portugais et en anglais



Possibilité de feuilleter la revue sur la plate-forme Issuu:

bit.ly/issuuFR



revistapesquisa.fapesp.br/fr/revista/edicoes-internacionais

Pesquisa
FAPESP