

Un projet de source de lumière
synchrotron de dernière génération en
phase de conclusion pourra améliorer
la qualité de la recherche brésilienne

UN BOND VERS

PLUS DE
BRILLANCE

TEXTE **Ricardo Zorzetto**

PHOTOGRAPHIES **Léo Ramos Chaves**, de Campinas, São Paulo

PUBLIÉ EN JUILLET 2018

Il était 6 heures du matin ce jeudi 17 mai, quand l'ingénieur électricien Sergio Marques décida de se dégourdir les jambes et de puiser des forces dans une tasse de café supplémentaire. Il reprendrait ensuite les mesures que son équipe effectuait depuis le début de la semaine, parfois 24 heures d'affilée, avec le groupe de recherche de la physicienne brésilienne Liu Lin. Sergio Marques et Liu Lin, chercheurs au Laboratoire National de Lumière Synchrotron (LNLS), à Campinas, dans l'intérieur de l'état de São Paulo, testaient les composants d'un accélérateur linéaire d'électrons acheté pour la somme de 6 millions de dollars US à l'Institut de Physique Appliquée de Shanghai, en Chine. L'appareil installé depuis quelques semaines dans un tunnel de 32 mètres de long et protégé par des murs en béton projette à chaque demi-seconde des paquets microscopiques composés de trillions de cette particule de charge électrique négative à des vitesses proches de celle de la lumière. Il alimentera le plus grand, le plus complexe et le plus versatile instrument de recherche jamais construit dans le pays et appelé Sirius, une source de lumière de dernière génération émettant un rayonnement synchrotron, un type spécial de lumière qui permet d'étudier la structure de la matière à l'échelle atomique et moléculaire.

Le Sirius est en cours de fabrication depuis 2014 dans le Centre National de Recherche en Énergie et Matériaux (CN-PEM), à 15 kilomètres de Campinas, et devrait être prêt pour un premier test d'ici la fin de l'année si les fonds sollicités il y a quelques mois auprès du gouvernement fédéral sont approuvés et débloqués rapidement. La nouvelle source de lumière synchrotron est un accélérateur de particules composé de trois parties installées dans un bâtiment de 68 000 m² devant être le plus isolé possible des variations de température et des vibrations extérieures, comme celles produites par la circulation des camions sur la route reliant Campinas à Mogi-Mirim et qui passe à 2 kilomètres de là.

Le Sirius, qui a été projeté par les équipes du LNLS, remplacera l'UVX, première source de lumière synchrotron de l'hémisphère sud construite dans les années 90 et aujourd'hui dépassée. Environ 90 % de ses pièces ont été mises au point ou dessinées dans les ateliers du LNLS et sont fabriquées par des entreprises brésiliennes de haute technologie. L'accélérateur linéaire est une exception. « Pour des questions de délai, nous avons commandé un appareil avec des spécifications de très haut niveau aux chercheurs de Shanghai qui avaient mis au point une source de lumière de troisième génération, avant Sirius, et ils nous ont fourni des informations sur la plupart des parties de l'accélérateur », explique Marques, qui a com-

Détail d'un onduleur, ensemble d'aimants forçant les électrons à circuler à l'intérieur de l'anneau de stockage pour produire de l'énergie sous la forme de lumière synchrotron

Une lumière spéciale

Quand il sera opérationnel, probablement en 2019, le projet Sirius sera l'une des sources de rayonnement synchrotron les plus brillantes du monde

SOURCES
HARRY WESTFAHL JR
/ LNLS / CNPEM
ET LE PROJET SIRIUS,
LA NOUVELLE
SOURCE
DE LUMIÈRE
SYNCHROTRON
BRÉSILIENNE

DES ÉLECTRONS AU RAYONNEMENT

1 ACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE

Des électrons libérés par un filament de métal surchauffé sont projetés dans un accélérateur linéaire de 32 mètres de long à une vitesse proche de celle de la lumière avec une énergie de 0,15 giga-électrons-volts (GeV) et sont injectés dans le booster

2 BOOSTER

À l'intérieur d'un anneau plus petit et plus interne, les électrons gagnent de l'énergie en passant dans une cavité de radiofréquence pour atteindre une puissance de 3 GeV

3 ANNEAU DE STOCKAGE

Avec une énergie maximum, les électrons sont maintenus sur une trajectoire stable dans l'anneau le plus grand, de 518 mètres de circonférence, à l'aide d'un ensemble d'aimants spéciaux

4 RÉSEAU MAGNÉTIQUE

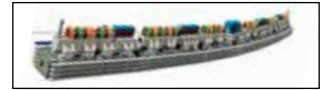
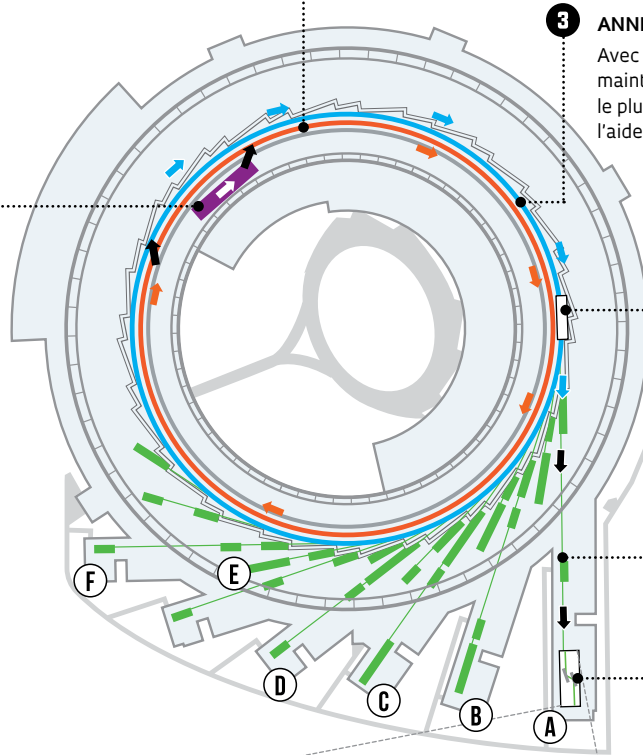
En passant par des dipôles et des onduleurs, les électrons sont déviés de leur trajectoire et perdent une fraction de leur énergie sous la forme de lumière. Il s'agit de la lumière ou rayonnement synchrotron qui couvre un large spectre d'énergie (de l'infrarouge aux rayons X)

5 LUMIÈRE SYNCHROTRON

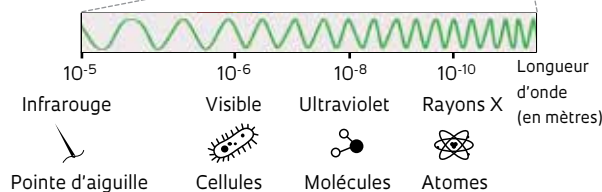
La lumière synchrotron sort tangentiellement de l'anneau et est acheminée vers les stations expérimentales

6 STATIONS EXPÉRIMENTALES

Un ensemble de lentilles ressemblant à des prismes est installé dans ces stations et permet de sélectionner la gamme de longueur d'onde qui sera utilisée pour analyser les échantillons. Chaque faisceau possède des caractéristiques propres pour observer des structures de différentes tailles allant de la fraction du millimètre au nanomètre



Le Sirius se trouve à environ 15 kilomètres au nord de la ville de Campinas



LES LIGNES INITIALES

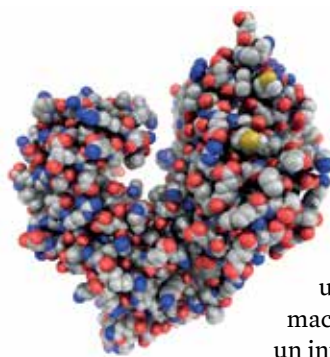
Parmi les 13 lignes de lumière planifiées dans le projet Sirius, les six lignes identifiées ci-dessous (de A à F) devraient être les premières à entrer en opération

- A CARNAÚBA**
Ce sera la ligne de lumière la plus longue avec 145 mètres de long. Son faisceau de rayon X permettra d'observer des objets de 30 nanomètres (résolution mille fois supérieure à la source de lumière actuelle de l'UVX). Elle permettra l'analyse bi et tridimensionnelle de matériaux catalyseurs, semiconducteurs et biologiques avec une résolution nanométrique
- B CATERETÉ**
Ligne de rayons X qui permettra d'obtenir des images tridimensionnelles de cellules vivantes et d'enregistrer des phénomènes dynamiques de l'ordre de la fraction de seconde, comme des modifications dans la molécule d'ADN. Elle devrait permettre d'observer l'interaction entre des éléments chimiques sur différents matériaux et définir la structure nanométrique d'huiles et de polymères
- C EMA**
Son faisceau de rayon X d'une brillance élevée devrait produire des images à une échelle nanométrique de matériaux soumis à des conditions extrêmes (température, pression et champ magnétique élevés), essentielles pour la recherche sur les matériaux supraconducteurs. Il alimentera des équipements dans deux stations expérimentales
- D MANACÁ**
Ce sera la première ligne qui sera montée dans le projet Sirius, et sera probablement conclue en avril 2019. Son faisceau de rayons X devrait être utilisé pour analyser des cristaux de protéines et obtenir des images tridimensionnelles de ces molécules en localisant chaque atome avec précision
- E MOGNO**
L'une des lignes de rayons X les plus énergétiques du projet Sirius qui devra produire en quelques secondes des images 3D de structures nanométriques de matériaux denses. Elle sera en mesure de pénétrer dans des réservoirs de roches réservoirs de pétrole. La source de lumière actuelle analyse des échantillons d'une fraction de millimètres d'épaisseur. Elle permettra d'étudier des animaux vivants
- F IPÊ**
Cette source de lumière travaillera avec des rayons X de basse énergie et permettra de cartographier les électrons qui définissent les propriétés physiques des matériaux, comme le magnétisme ou la conductivité électrique. Elle devrait permettre d'observer la formation de liaisons chimiques entre les atomes de matériaux à l'état solide, liquide et gazeux

mencé à travailler sur l'UVX en 1997, à l'âge de 16 ans, et qui dirige le groupe de diagnostic du LNLS chargé du contrôle du faisceau d'électrons et de la qualité de lumière synchrotron qui arrivera aux stations expérimentales.

Quand le Sirius sera totalement opérationnel, même pour un temps limité, ce sera la source de lumière synchrotron la plus avancée au monde et également celle offrant la plus grande luminosité dans le faisceau des rayons X de sa classe d'énergie. Pour simplifier, cela signifie que l'accélérateur permettra d'extraire des électrons voyageant à pratiquement 300 000 kilomètres par seconde sous la forme de faisceaux très concentrés d'une lumière qui pénètre profondément même dans les matériaux les plus denses, comme des roches, et permet d'obtenir des images nettes de points séparés par à peine quelques nanomètres (millionième de millimètre). Sa luminosité intense diminuera en quelques secondes le temps d'obtenir les images des échantillons, essentielles à l'étude de matériaux biologiques qui se dégradent rapidement. La réduction de la durée d'obtention de chaque image devrait permettre d'en obtenir davantage par seconde et de reconstituer le mouvement de phénomènes atomiques et moléculaires très rapides, comme l'interaction entre deux composés ou le déplacement des ions dans la charge et la décharge de batteries.

La qualité de résolution du Sirius sera supérieure à celle des sources de lumière synchrotron de troisième génération, comme l'appareil actuel de l'European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), en France, où la chercheuse israélienne Ada Yonath a mené une partie des expérimentations qui ont défini la structure tridimensionnelle du ribosome, organite producteur de protéines dans les cellules, et qui lui ont valu le Prix Nobel de Chimie en 2009. Les images du Sirius devraient également avoir une résolution mille fois supérieure à celle de l'UVX, une source de deuxième génération qui même en étant dépassée, a permis à l'équipe du physicien Glaucius Oliva, professeur à l'université de São Paulo (USP) à São Carlos,



Structure tridimensionnelle de la protéine NS5 du virus Zika, définie atome par atome

d'identifier la structure dimensionnelle de la protéine NS5, essentielle à la reproduction du virus Zika.

On espère aller plus loin avec le nouvel appareil de Campinas et identifier la structure tridimensionnelle de protéines plus grandes et plus complexes présentant un intérêt pour la biologie et l'industrie pharmaceutique, outre l'étude de matériaux ayant un intérêt pour l'industrie. « Le projet Sirius est à la frontière de ce que l'ingénierie est actuellement capable de construire et il sera en mesure de produire une science compétitive sur le plan international pour au moins une décennie », affirme le physicien Antônio José Roque da Silva, directeur du LNLS et du projet Sirius. Antônio José Roque da Silva est professeur à l'USP et spécialiste en modélisation mathématique de matériaux à l'échelle atomique. Il est arrivé au LNLS en 2009 avec deux missions : améliorer l'UVX qui était dépassé et commençait à perdre ses usagers et ses spécialistes au profit d'institutions étrangères, et faire avancer le projet de construction de son successeur. Le nom Sirius surgira plus tard, emprunté à l'étoile la plus brillante du ciel nocturne.

José Roque a dès le départ fait appel à deux anciens collaborateurs du LNLS, l'ingénieur civil Antonio Ricardo Droher Rodrigues, l'un des trois Brésiliens qui ont dirigé la construction de l'UVX de 1987 à 1997, et le physicien français Yves Petroff, qui a dirigé des laboratoires de lumière synchrotron en France et participé au projet de la première source de lumière brésilienne. « L'UVX n'était plus en mesure de rivaliser avec ses concurrents et nous avons choisi de nous concentrer sur des niches dans lesquelles nous pourrions produire des travaux importants, comme l'utilisation du rayonnement infrarouge et ultraviolet », déclare José Roque. Dans le même temps, le trio a perfectionné le projet d'une source de lumière de troisième génération élaboré par l'équipe du physicien José Antônio Brum, qui a dirigé l'Association Brésilienne de Technologie de Lumière Synchrotron (ABTLuS), actuel CNPEM, de 2001 à 2009. Une fois le projet parvenu à maturité, trois ans plus tard, José Roque et son équipe l'ont soumis à un comité scientifique international. Les membres du comité ont déclaré dans leur rapport final que le dessin de la nouvelle source était excellent pour les normes de l'époque, mais ils ont recommandé de rechercher un niveau de luminosité qui deviendrait une référence dans l'avenir. « Il n'y avait pas encore dans le monde d'appareils fonctionnant avec les caractéristiques qu'ils suggéraient », se rappelle José Roque ce matin du 17 mai, dans sa salle du LNLS. « C'était une chance de pouvoir se démarquer et de nous

Image aérienne du bâtiment qui abrite le projet Sirius, prise au mois de juin



placer pendant un certain temps devant les États-Unis, le Japon et les pays européens ».

Les équipes du LNLS se sont alors remises au travail et ont repris les tests sur les équipements. Liu Lin, chargée de la physique des accélérateurs au LNLS et son groupe, ont redessiné le réseau magnétique du Sirius pour que sa luminosité dépasse celle des équipements existants. Six mois plus tard, le comité a approuvé le nouveau projet budgété à 585 millions de dollars US (à l'époque, 1,3 milliard de reais BRL). L'obtention d'un financement durable était fondamentale, mais ce n'était qu'une partie du problème. « Il a fallu trouver un emplacement pour la construction et définir les caractéristiques du bâtiment pendant que nous redessinions l'appareil tout en recherchant des solutions à des questions technologiques », explique José Roque. « Il y a eu des moments où nous avons dû jongler avec 20 assiettes ».

Les premiers 9 millions de reais BRL obtenus pour le préprojet ont été financés entre 2009 et 2010 par le Ministère des Sciences et Technologie (MCT) sous le mandat (2005-2010) du physicien Sergio Rezende, qui avait pris connaissance du projet de Brum en 2008. Il manquait cependant une source de financement définitive, qui, dans un premier temps, serait fournie par le MCT (actuel MCTIC, après avoir absorbé les Innovations et les Télécommunications), la Banque Nationale de Développement Économique et Social (BNDES) et par des agences de financement. Deux autres ministres se sont succédés à la tête du ministère et ont investi 77 millions de reais BRL dans le projet jusqu'à ce qu'en 2014, l'ingénieur Clélio Campolina Diniz donne son feu vert pour le démarrage des travaux et propose un budget de 240 millions de reais BRL pour 2015. Le projet Sirius a été inclus dans la deuxième édition du Programme d'Accélération de la Croissance (PAC) l'année suivante, et fait aujourd'hui partie du Programme Avançar.

Les variations du dollar, l'inflation et les améliorations apportées à la source de lumière et au bâtiment ont élevé le coût du Sirius à 1,8 milliard de reais BRL. « C'est le seul projet brésilien de cette envergure qui n'ait pas souffert de retards importants », affirme l'ingénieur en électronique et physicien Rogério Cezar de Cerqueira Leite, président du Conseil d'Administration du CNPEM, organisation sociale liée au MCTIC, gestionnaire du LNLS.

Pedro Wongtschowski, ingénieur chimiste qui a présidé le Conseil d'Administration du CNPEM de 2010 à 2015, attribue la tenue du calendrier et le respect du budget à l'adoption d'un modèle de gouvernance utilisé dans des projets de grande envergure par le secteur privé. « Les travaux n'ont commencé qu'après la conclusion



L'ingénieur Rafael Seraphim mène des tests sur le système sous vide des cavités qui conduiront les électrons. Ci-contre, des aimants quadruples, l'un des composants de l'anneau de stockage

détaillée du projet exécutif, à travers un appel d'offres minutieux et les premiers équipements achetés ont été ceux qui exigeaient un plus grand délai de livraison », dit-il. « Nous avons également profité de l'implantation du Sirius pour développer des composants avec des fournisseurs nationaux, étape qui a bénéficié du soutien de la FAPESP », déclare Wongtschowski, actuel président du Conseil d'Administration du groupe Ultrapar Participações et membre du Conseil Supérieur de la FAPESP.

Du coût total prévu, 1,16 milliard de reais BRL ont déjà été versés par le MCTIC, dont 760 millions de reais BRL sous le mandat de Gilberto Kassab qui a eu un rôle fondamental dans l'implantation de l'UVX dans les années 80, explique Cerqueira Leite. Selon lui, le Sirius a survécu à la crise économique récente car il est parvenu peu à peu à mobiliser, outre ses inspirateurs et la communauté scientifique, « les autorités et les responsables politiques de Brasília ».

Il y a quelques années, deux chercheurs qui ont analysé le processus de création et l'implantation de l'UVX sont arrivés aux mêmes conclusions. Léa Velho, professeure au Département de Politique Scientifique et Technologique de l'Université Publique de Campinas (Unicamp), et Osvaldo Frotta Pessoa Junior, professeur au Département de Philosophie de l'USP, ont analysé les arguments qui ont motivé la construction du premier synchrotron brésilien et les négociations qui lui ont permis de voir le jour. Dans un article publié en 1998 dans la revue *Social Studies of Science*, ils ont déclaré que le projet a été davantage sou-



tenu par les secteurs politico-scientifiques que par les chercheurs et les usagers potentiels. Ils affirment également que l'habileté politique des rares scientifiques investis dans ce projet a été cruciale pour sa mise en œuvre.

« Le projet Sirius est une tentative visant à donner un nouvel élan qualitatif à la science nationale », constate le physicien argentin Aldo Craievich, qui, à 79 ans et retraité de l'USP, mène encore des recherches avec l'UVX. Il fait partie du trio qui a coordonné la construction du premier synchrotron national avec les physiciens Cylon Gonçalves da Silva et Ricardo Rodrigues.

Le projet d'installer dans le pays un équipement pour faire de la science à grande échelle, la *Big Science*, qui a débuté aux États-Unis au cours de la deuxième guerre mondiale avec le projet de la bombe nucléaire, est né dans le Centre Brésilien de Recherche Physique (CBPF), à Rio de Janeiro, au début des années 80 avec le physicien Roberto Leal Lobo e Silva Filho. Soutenu par Lynaldo Cavalcanti de Albuquerque, alors président du Conseil National de Développement Scientifique et Technologique (CNPq), Roberto Leal Lobo a conduit le projet jusqu'au début du gouvernement démocratique, en 1985. Lors de la création du MCT, il a été remplacé par Cylon Gonçalves qui avait le soutien du ministre Renato Archer.

« Quand la décision de construire la première source de lumière synchrotron a été prise, le seul modèle de fonctionnement sensé était celui d'un laboratoire national calqué sur les modèles nord-américains et ouvert à tous les usagers appartenant à des instituts de recherche et des entreprises brésiliennes et étrangères », déclare Cylon Gonçalves. « La construction de l'appareil n'était qu'un simple prétexte pour former des personnes qualifiées afin de créer une base technologique dans le pays et produire une science de pointe. Nous y sommes parvenus en choisissant de projeter et de construire le maximum de choses chez

Hall où sera installé une partie des stations expérimentales du projet Sirius

nous et qui nous a fourni l'expertise nécessaire utilisée dans le projet Sirius ».

La construction d'équipements pour faire de la science à grande échelle requiert un flux continu d'investissements, des compétences techniques et scientifiques et est souvent une source de conflits. Ce fut le cas avec l'UVX et, à une moindre échelle, avec le projet Sirius. Quand le projet de la première source nationale de lumière synchrotron a été approuvé, la direction de la Société Brésilienne de Physique a publié un manifeste contraire au projet. Elle affirmait que le pays ne possédait pas les compétences nécessaires pour le construire, qu'il n'y aurait pas d'usagers et que cela absorberait les ressources destinées à d'autres secteurs scientifiques et technologiques. « Aucune de ces prévisions ne s'est vérifiée », rappelle Rodrigues, coordonnateur de l'accélérateur du projet Sirius. « Nous avons construit une machine, les usagers ont été au rendez-vous, 6 200 sont actuellement enregistrés et le niveau de financement a augmenté dans tous les secteurs ».

« Des installations de grande envergure comme le projet Sirius sont onéreuses dans le monde entier mais sont amorties avec le temps », affirme Fernanda De Negri, économiste à l'Institut de Recherches Économiques et Appliquées (Ipea). Son coût s'élève à 0,05 % du budget public brésilien qui s'élève à 3,5 trillions de reais BRL. « Des infrastructures de cette nature sont nécessaires dans de nombreux secteurs pour produire une science de qualité en mesure d'innover et de rendre le pays économiquement plus compétitif », déclare la chercheuse qui a lancé au mois de juin le livre intitulé *Novos caminhos para a inovação no Brasil* (Nouvelles voies pour l'innovation au Brésil - Édition Wilson Center), dans lequel elle mentionne le projet Sirius comme un rare exemple de planification scientifique de long terme dans le pays.

« Depuis le projet de la bombe atomique et la mission Apollo, la science ne se fait plus avec de petits investissements et une vision à court terme », constate Glaucio Arbix, professeur au Département de Sociologie de l'USP. « Il faut avoir une vision à moyen et long terme et irriguer le système de manière à alimenter les petits laboratoires et créer des projets d'envergure sur le plan scientifique, économique et social, en mesure d'élever le niveau de la science brésilienne et d'augmenter ses retombées », plaide Glaucio Arbix, qui a présidé l'Agence de Financement d'Études et de Projets (Finep) de 2011 à 2015, organisme qui soutient l'innovation fédérale. « Sans cela, le pays continuera à faire du sur-place ». ■

Article scientifique

VELHO, L. e PESSOA JR., O. The decision-making process in the construction of the Synchrotron Light National Laboratory in Brazil, *Social Studies of Science*, v. 28, n. 2, pp. 195-219, abr. 1998.

La course à la meilleure lumière

Sirius sera en concurrence avec un équipement de quatrième génération inauguré en 2016 en Suède et un autre qui devrait entrer en fonctionnement dès 2020 en France



Le projet Sirius, la nouvelle source de lumière synchrotron brésilienne qui sera l'une des plus avancées du monde, doit être conclu avec urgence. L'objectif est de ne pas perdre trop de temps pour achever la construction et le montage qui accusent aujourd'hui un léger retard de 6 mois, acceptable pour un projet de cette envergure et d'une grande complexité technique, car les concurrents pointent déjà à l'horizon. Il s'agit d'équipements projetés pour fournir une brillance similaire ou même supérieure à celle de la machine brésilienne et qui certainement éveilleront l'attention de chercheurs universitaires et d'entreprises désireux de réaliser des expérimentations qui exigent des résolutions spatiales et temporelles toujours plus élevées.

C'est ainsi qu'au mois de mai, alors que les physiciens et ingénieurs du Laboratoire National de Lumière Synchrotron (LNLS) terminaient l'installation et réalisaient les premiers tests de l'accélérateur linéaire, les ouvriers et les ingénieurs civils étaient à l'œuvre 24 heures sur 24, du lundi au samedi. Ils travaillaient sans relâche pour conclure la construction du bâtiment prévue en août, pour commencer le plus tôt possible le montage des autres parties de l'accélérateur et des stations expérimentales. Même quand les

installations seront prêtes, la nouvelle source de lumière ne pourra pas fonctionner sans être connectée au réseau électrique de haute tension par CPFL Énergie, distributeur d'énergie de la région de Campinas, et sans la sous-station qui alimentera le Sirius et le reste du campus du Centre National de Recherche en Énergie et Matériaux (CNPEM) qui, ensemble, consommeront l'équivalent en énergie d'une ville de 40 000 habitants, « Il faut prendre des risques si nous voulons avoir la source la plus brillante du monde pendant un certain temps », affirme le physicien Antônio José Roque da Silva, directeur du LNLS et chargé de la construction du Sirius.

Il y a aujourd'hui 50 sources de lumière synchrotron qui fonctionnent dans environ 20 pays. La moitié d'entre elles se concentre dans trois pays ; le Japon avec 9 équipements (la plupart de petites tailles), 7 pour les États-Unis et 6 pour l'Allemagne. 20 d'entre elles appartiennent à la troisième génération qui précède les équipements actuels les plus modernes qui sont arrivés à la limite du possible en termes de fabrication. Le Sirius, qui appartient à la quatrième génération, aura deux concurrents directs : une source de lumière déjà opérationnelle en Suède et l'autre qui commencera à être montée sous peu en France, outre

les 13 autres équipements de quatrième génération en cours d'études.

La source de lumière MAX IV, installée à Lund, ville de 120 000 habitants située à 500 kilomètres au sud de Stockholm, est la première appartenant à la quatrième génération. Ces équipements sont classés de la sorte car ils sont équipés d'une distribution novatrice d'aimants autour de l'anneau de stockage d'électrons, proposé en 1993 par le physicien allemand Dieter Einfeld et par le physicien slovène Mark Plesko dans un article publié dans la revue *Proceedings of SPIE*. Ce nouveau dessin du réseau magnétique a été adopté pour la première fois dans le MAX IV et permet d'utiliser des anneaux de stockage plus petits afin d'obtenir des faisceaux de lumière synchrotron plus concentrés et plus brillants.

Le MAX IV a été construit avec des composants projetés et fabriqués en Suède et dans d'autres pays. Il a été inauguré en juin 2016 au cours d'une cérémonie à laquelle participait le roi de Suède, Carl XVI Gustaf. L'équipement est constitué de deux anneaux de stockage qui alimentent deux stations expérimentales en phase d'homologation. L'un des anneaux contient des électrons avec une énergie de 1,5 giga-électrons-volt (GeV), et l'autre avec des électrons de 3 GeV qui fournissent de la lumière synchrotron à cinq



L'European Synchrotron Radiation Facility, en France, qui fera l'objet d'améliorations à partir de 2019 (à gauche.); et le MAX IV, en Suède, première source de lumière synchrotron de quatrième génération (ci-dessous)

stations, parmi lesquelles trois en activité et deux en phase de test. « Nous avons déjà eu 318 usagers depuis le début des opérations », déclare le physicien brésilo-suédois Pedro Fernandes Tavares, directeur d'accélérateurs du MAX IV. D'après lui, l'anneau contenant la plus grande énergie devrait fournir cette année de la lumière synchrotron aux stations expérimentales auxquelles il sera connecté pendant environ 4 000 heures, soit 167 jours.

Si tout se déroule comme prévu, le Sirius et le MAX IV vont devoir faire face d'ici peu à un sérieux concurrent qui est la source extra-brillante (EBS) de l'European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), qui se trouve à Grenoble, ville de 160 000 habitants située au sud-est de la France, au pied des Alpes. Il s'agira d'une version améliorée de sa source actuelle de lumière synchrotron, la première de troisième génération à fonctionner dans le monde dans les années 90. L'ESRF est exploité par un consortium de 22 pays et depuis trois ans ses techniciens et ingénieurs préparent l'upgrade qui coûtera 150 millions d'euros.

L'équipement actuel sera désactivé en décembre de cette année et son anneau de stockage sera démonté au cours des 18 mois suivants pour être remplacé par un anneau de 844 mètres de circonférence



qui se chargera de la circulation des électrons avec une puissance de 6 GeV, le double du Sirius et du MAX IV. Selon le service de communication de l'ESRF, le projet est dans les temps. Il est prévu que le nouvel équipement, d'une brillance 100 fois plus intense que l'équipement actuel, soit rouvert aux usagers en 2020 avec des lignes de lumière approvisionnant 44 stations expérimentales.

Selon le physicien Aldo Craievich, professeur à la retraite de l'Université de São Paulo (USP) et l'un des chefs de file de la construction de l'UVX, première source de lumière synchrotron brésilienne, le projet Sirius devra concourir

à armes égales avec le MAX IV et l'ESRF-EBS et attirer des collaborateurs internationaux. « Je suis convaincu que nous attirerons également des chercheurs venant de pays plus développés de l'hémisphère nord car un bon nombre d'expérimentations avancées ne pourra avoir lieu qu'ici », dit-il. « Il s'agira d'un environnement qui encouragera fortement la coopération internationale et qui devrait dépasser les résultats de l'UVX ». La source brésilienne actuelle, qui devrait être désactivée fin 2019, accueille en moyenne 1 200 usagers par an, dont 20 % en provenance d'autres pays d'Amérique Latine. ■ Ricardo Zorzetto