

**Le blanc et
l'argent: l'édifice
élégant du
Soar et son
voisin Gemini
Sul, au fond**

Cap sur les étoiles

Des instruments astronomiques conçus au Brésil équipent le télescope Soar dans les Andes chiliennes

RICARDO ZORZETTO,
à CERRO PACHÓN

Publié en mars 2010

Le physicien Antônio César de Oliveira a à peine vu la lumière du jour durant la dernière semaine de janvier. Il a travaillé durant 5 jours d'affilé dans une salle sans fenêtres avec l'astronome Flávio Ribeiro et l'ingénieur mécanicien Fernando Santoro au sommet d'une montagne pierreuse et sans végétation des Andes chiliennes. Ils quittaient leur dortoir le matin et suivaient une piste étroite et poussiéreuse de trois kilomètres pour ne revenir que tard dans la nuit, quand d'innombrables étoiles illuminaient le ciel. Il n'y avait que peu de temps et beaucoup de choses à faire. Avec le concours des techniciens chiliens, ils ont connecté l'équipement astronomique le plus complexe fabriqué au Brésil, au télescope de l'Observatoire Austral de Recherche Astrophysique (Soar), situé près de la ville de Vicuña, au nord du Chili. Cet équipement a été fabriqué grâce à un cofinancement brésilien et nord-américain.

L'équipement que les brésiliens ont installé à la fin du mois de janvier est composé de 3 mille pièces et pèse environ une demi-tonne. Il s'agit d'un spectrographe qui décompose la lumière en différentes couleurs (spectres), certaines invisibles à l'œil nu comme l'ultraviolet et l'infrarouge. Dans cet appareil, la lumière des astres proches ou distants explose en une multitude de couleurs irisées proportionnelles à la composition chimique de l'objet observé.

Cet appareil, unique en son genre de part ses innovations technologiques, est arrivé à l'observatoire de Cerro Pachón le 10 décembre après avoir voyagé, durant trois mille cinq cent kilomètres, par voies aérienne et maritime depuis son départ des ateliers du Laboratoire National d'Astrophysique (LNA) à Itajubá, dans l'état de Minas Gérais. L'une des caractéristiques de ce Spectrographe de Champ Intégral du Soar (Sifs) est de pouvoir fractionner l'image d'un objet céleste en



1 300 parties égales et d'enregistrer en même temps la totalité de leurs spectres. Dans quelques mois, quand le Sifs exploitera son plein potentiel, il permettra, par exemple, d'évaluer la composition chimique de 1 300 points d'une galaxie en quelques minutes et en une seule fois, contrairement aux opérations habituelles qui jusqu'à présent demandaient des centaines de mesures distinctes.

« Pour les astronomes, cela représente beaucoup d'informations », explique le physicien Clemens Gneiding durant l'étape finale du montage du Sifs dans les laboratoires du LNA, au mois d'octobre, et avant d'embarquer pour le Chili. Ce spectrographe a été également projeté pour obtenir une très haute définition spatiale. « Il peut distinguer des objets très proches dans le ciel, séparés par une seconde d'arc (unité de mesure de l'angle) », déclare-t-il. Concrètement, cela correspond à la taille d'un ballon de football vu à 50 kilomètres, chose incroyablement petite.

Dans l'après-midi du 28 janvier, l'équipe brésilienne s'activait et courait d'un côté à l'autre dans l'édifice blanc flambant neuf du Soar qui peut être vu de loin par les passagers de certains vols qui se posent dans la ré-

**Fils de lumière:
1 300 fibres
connectent le
téléscope au
spectrographe
Sifs**

gion. Ils étaient en train de terminer la connexion du Sifs avant que la semaine ne s'achève. « Une semaine, c'est très peu pour terminer l'installation et faire les réglages nécessaires », déclare Fernando Santoro, responsable de la partie mécanique du projet.

« Le plus compliqué est d'installer le câble avec les fibres optiques qui unissent les deux parties du spectrographe », déclarait Antônio César de Oliveira, alors qu'il évaluait la meilleure manière d'installer sur la base du télescope le tube flexible de huit centimètres de diamètre et de 14 mètres de long contenant les fibres de verre hyperfines (la moitié d'un fil de cheveu) qui doivent conduire la lumière du premier au deuxième module de l'équipement. « Nous devons être prudents car ces fibres vont se déplacer de quelques centimètres pour suivre les mouvements du télescope et elles ne

doivent pas subir de tensions », explique le physicien spécialiste en optique et coordonnateur du Laboratoire de Fibres Optiques du LNA. Sous une forte traction, les fibres peuvent se rompre et rendre aveugle le spectrographe de 1,8 millions de dollars US financé par la FAPESP.

Quand le Sifs est en fonctionnement, la lumière recueillie par le miroir de 4,1 mètres de diamètre du Soar se concentre dans un module pré-optique du spectrographe, il s'agit d'une caisse noire rectangulaire de la taille d'une unité centrale d'ordinateur, accouplée à la base du télescope. Dans ce module, une ensemble de lentilles amplifie de 10 à 20 fois l'intensité de la lumière et la projette sur les 1 300 micro-lentilles qui, à leur tour, comme des fils électriques, la conduisent jusqu'au second et plus important module de l'équipement appelé spectrographe banc et situé deux mètres plus bas dans la tour de sustentation du télescope. C'est là que 18 lentilles (certaines pouvant pivoter jusqu'à 130 degrés avec une précision d'un millième de millimètre), dispersent, alignent ou font converger les faisceaux lumineux jusqu'à ce qu'ils atteignent le capteur qui les enregistrera.



Sans relâche: une équipe d'instrumentation du SOAR ajuste l'équipement reçu en décembre

Le choix de fibres optiques si fines et si délicates a été un pari risqué pour les chercheurs brésiliens. Le noyau des fibres où passe la lumière n'a que 50 micromètres d'épaisseur (un millième de millimètre). Plusieurs groupes de recherches affirmaient à l'époque que des fibres de moins de 100 micromètres provoqueraient la perte d'une bonne partie de la lumière qui devait arriver au deuxième module du spectroscopie. En se basant sur les résultats obtenus par un équipement construit en Australie, l'équipe a décidé de tester des fibres plus fines. Mais le risque a été bien calculé. Avant d'investir autant d'effort et d'argent dans l'équipement, ils ont construit, en collaboration avec les australiens, une version réduite du spectrographe qui fonctionne très bien depuis 2 ans au télescope de l'Observatoire du Pico dos Dias, à Brasópolis, ville de l'état de Minas Gerais, voisine d'Itajubá.

De nombreuses raisons justifiaient de telles innovations et l'une d'entre elles était économique. Plus le diamètre des fibres est petit, plus elles peuvent s'aligner entre elles avec précision à l'entrée du deuxième module de l'équipement. Cela permet également de réduire la taille des lentilles et des autres

composants optiques dont le prix augmente en fonction de la taille. « L'utilisation de fibres deux fois plus épaisses doublerait la taille du spectrographe », déclare l'astronome Jacques Lépine, de l'Institut d'Astronomie, de Géophysique et de Sciences Atmosphériques de l'Université de São Paulo (IAG-USP), premier coordonnateur du projet qui a développé le Sifs en partenariat avec Gneiding, du LNA. Dans le cas du spectrographe, le fait de doubler la taille du deuxième module (un octogone de 70 centimètres de haut et de 2,4 mètres pour sa partie la plus large) lui donnerait pratiquement la taille d'une personne et la largeur d'une pièce comme une chambre.

La lumière tenue des étoiles, des galaxies ou des planètes est déviée, réfléchi et perd son intensité le long des 15 mètres séparant l'extrémité du télescope, du capteur du spectrographe. La diminution d'intensité réduit la définition du spectre. Les chercheurs ont réduit cette perte de lumière en utilisant des miroirs ayant une plus grande capacité de réflexion et des lentilles antireflets. Ils ont ainsi réussi à récupérer 80% à 85% de la lumière captée par le télescope et destinée au capteur du Sifs.

LES PROJETS

1. Construction de deux spectrographes optiques pour le télescope Soar - n° 1999/03744-1
2. Steles: spectrographes de haute définition pour le Soar - n° 2007/02933-3
3. Évolution et activité des galaxies - n° 2000/06695-0
4. Nouvelle physique dans l'espace - Formation et évolution de structures dans l'univers - n° 2006/56213-9

MODALITÉ

1. Ligne Régulière de Financement de Projets de Recherche
- 2., 3. et 4. Projet Thématique

COORDONNATEURS

1. Beatriz Leonor Silveira Barbuy - IAG/USP
2. Augusto Damini Neto - IAG/USP
3. Ronaldo Eustáquio de Souza - IAG/USP
4. Reuven Opher - IAG/USP

INVESTISSEMENTS

1. 3 254 030,59 réaux (FAPESP)
2. 1 373 456,33 réaux (FAPESP)
3. 1 520 687,31 réaux (FAPESP)
4. 1 926 187,91 réaux (FAPESP)

À l'étude depuis plus d'une décennie, le Sifs fera partie de la première génération d'équipements du Soar qui sera conclue en 2011, avec l'installation du quatrième et dernier équipement que le Brésil s'est engagé à fournir. « Lors de la création du consortium qui gère le télescope, le Brésil a été chargé de fabriquer ces équipements », déclare Beatriz Barbuy, astrophysicienne de l'IAG-USP et coordonnatrice du projet Thématique qui a financé la construction du spectrographe.

Ce projet a nécessité 10 ans de travail, allant de la conception à l'installation de l'équipement, utilisant la main d'œuvre et la connaissance d'environ 20 chercheurs et techniciens hautement spécialisés. L'exécution du projet s'est également appuyée sur un partenariat inhabituel au Brésil et réalisé entre universités, instituts de recherche et entreprises privées.

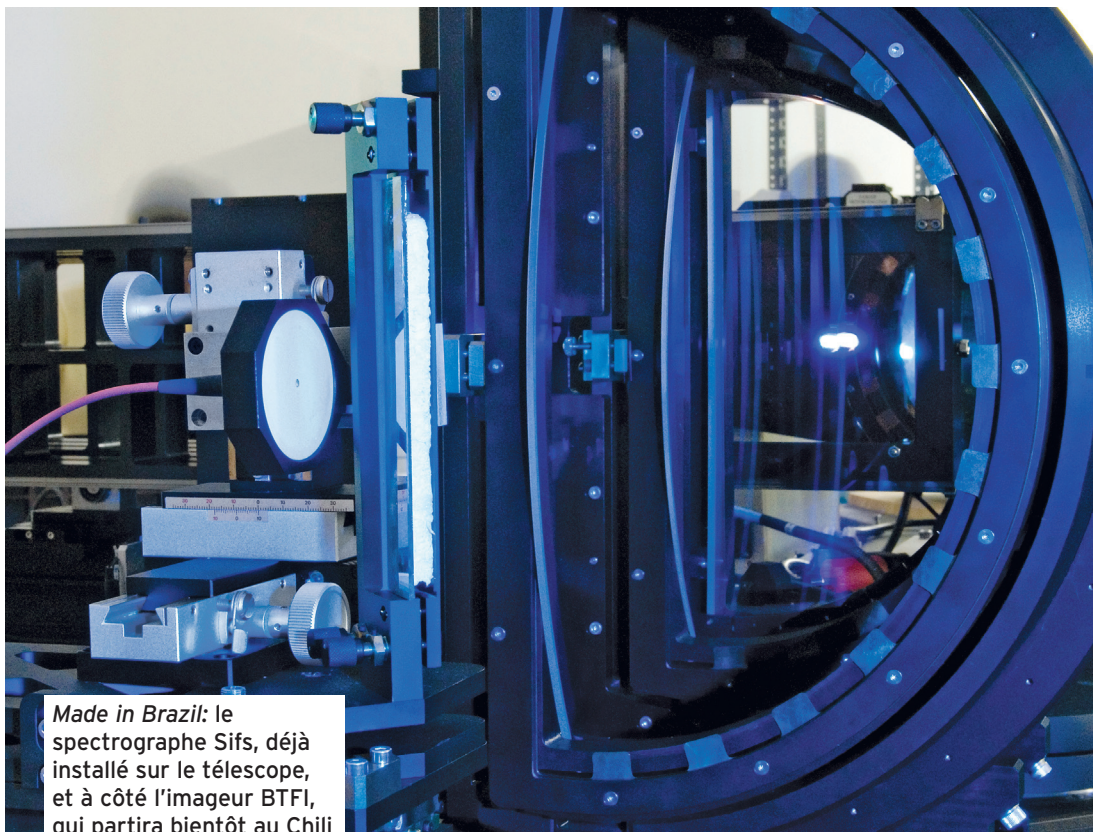
« Au Brésil, il n'y avait pas de culture et d'expertise pour produire des équipements de cette importance », commente Keith Taylor, astrophysicien anglais qui a coordonné le groupe d'optique de l'Ob-

La première génération d'équipements du télescope sera conclue qu'en 2011 avec l'installation du quatrième et dernier instrument que le Brésil s'est engagé à fournir

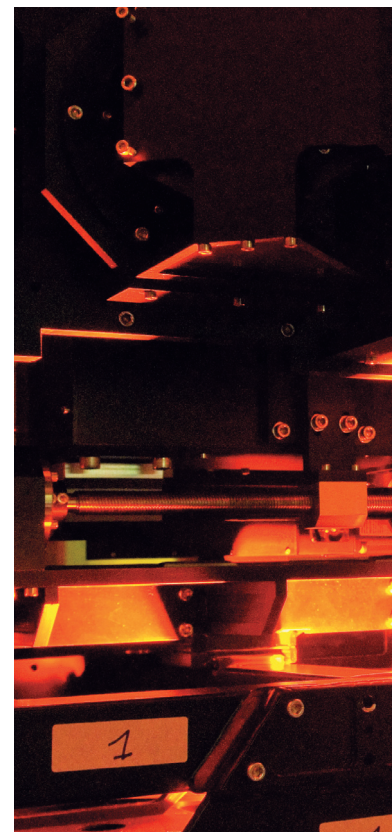
servatoire Anglo-australien en Australie, et qui, depuis 2 ans, gère le développement des instruments du Soar.

Le Sifs aurait été créé plus rapidement si le pays avait eu plus facilement accès aux matériels qui ont dû être importés. Une partie des retards est due aux problèmes d'importation des pièces, comme les lentilles de fluorure de calcium fournies par l'entreprise nord-américaine Harold Jonhson et qui ont mis neuf mois pour arriver au Brésil, au même titre que les fibres optiques achetées à l'entreprise nord-américaine Polymicro Technologies.

En 2009, quelques mois avant que le Sifs ne soit expédié au Chili, la caméra Spartan, projetée et fabriquée avec la collaboration des brésiliens, avait été connectée au Soar. Cette caméra est destinée à produire des images infrarouges qui sont un type de radiation électromagnétique perçue par les êtres humains sous la forme de chaleur et capable de traverser les gigantesques nuages de poussière interstellaire qui cachent les galaxies, les berceaux d'étoi-



Made in Brazil: le spectrographe Sifs, déjà installé sur le télescope, et à côté l'imageur BTFI, qui partira bientôt au Chili



les. La caméra Spartan, qui fait partie du premier groupe d'instruments fabriqué spécialement pour ce télescope, a remplacé une caméra du télescope Blanco prêtée par l'Observatoire Interaméricain de Cerro Tololo, situé à environ 10 kilomètres au nord-ouest du Soar sur l'une des innombrables montagnes rougeâtres de la cordillère.

Sueli Viegas, astronome retraitée de l'USP, a lancé, il y a environ huit ans, le projet qui a débouché sur le développement de la caméra Spartan, en collaboration avec l'université de Michigan, aux États-Unis. « Le Brésil a participé à l'élaboration du projet optique et mécanique de cette caméra et a acheté deux des quatre détecteurs infrarouges », commente Ronaldo de Souza, astronome de l'IAG qui a assumé la coordination du projet après le départ de Suely aux États-Unis.

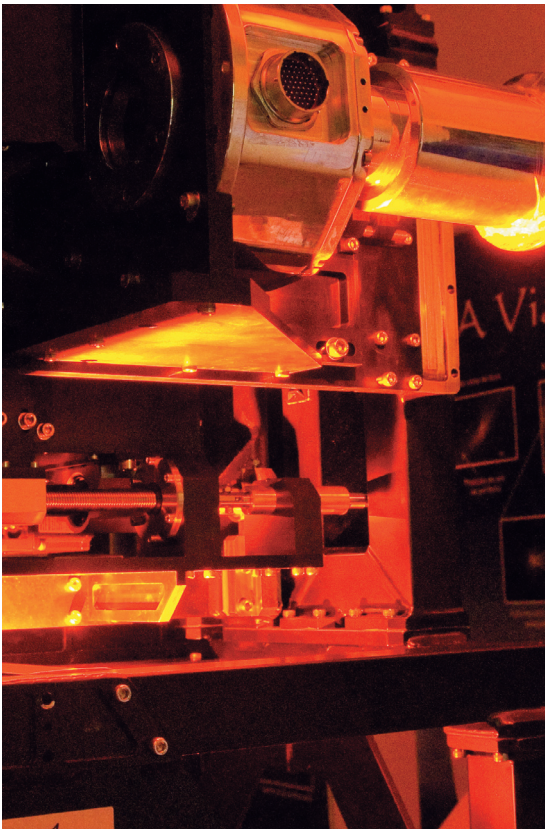
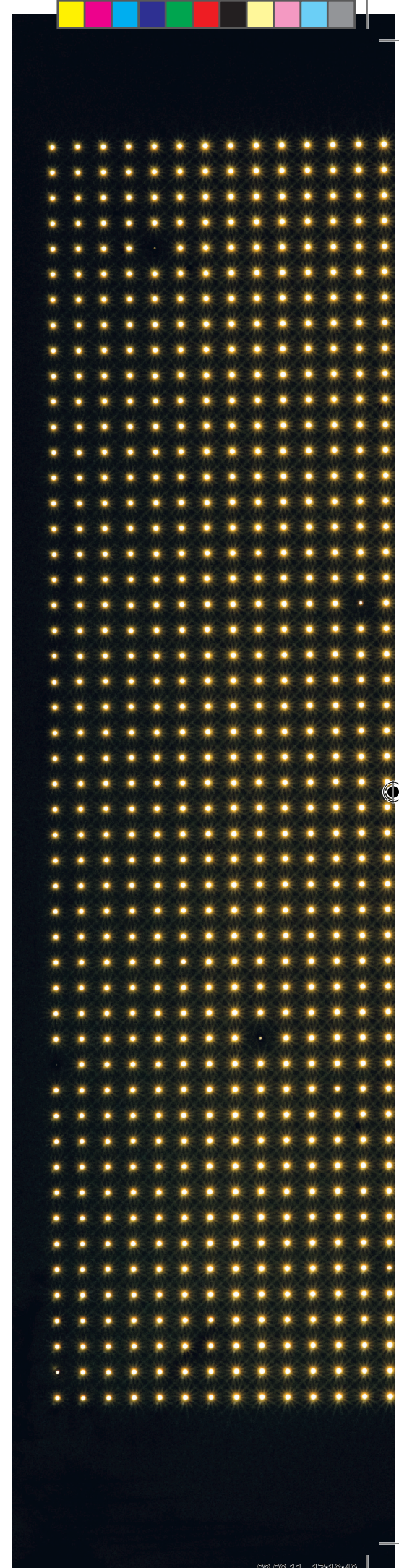
Les deux détecteurs ont coûté environ 700 mille dollars US. La moitié a été financée par les fonds destinés au projet de Sueli Viegas et l'autre moitié par des fonds de l'Institut du Milénio, coordonné par Beatriz Barbuy, de

l'IAG-USP, et par Miriani Pastoriza, de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul. La caméra Spartan fonctionne de manière expérimentale depuis septembre 2009. Dans cette phase expérimentale, les astronomes apprennent à manipuler les équipements qui peuvent encore être ajustés et rien ne garantit que les observations soient très précises. « Le Soar a été projeté pour obtenir des performances élevées avec des équipements ayant une qualité optique très élevée », affirme Keith Taylor.

Le Soar commence à prendre vie et à devenir indépendant, cinq ans après la construction de l'édifice et le montage du télescope. Il recevra ce mois-ci le filtre d'image ajustable brésilien (BTFI), dont le coût s'élève à 2,2 millions de dollars US et qui permettra d'identifier la composition chimique et de mesurer les mouvements relatifs internes des objets célestes. « Cet instrument sera accouplé à un module qui corrige les effets de turbulence dans l'atmosphère », affirme Claudia Mendes de Oliveira, de l'USP. « Cette correction, alliée à la qualité d'image du BTFI, fournira des images d'une netteté inédite, donnant au Soar des capacités que les autres télescopes de même taille n'ont pas », déclare l'astrophysicienne qui a coordonné les équipes brésiliennes, françaises et canadiennes qui ont construit le BTFI.

« La fabrication de ces instruments initie une nouvelle ère de l'astronomie brésilienne et donne de l'élan à l'instrumentation astronomique nationale », affirme Beatriz Barbuy. Ces appareils onéreux, pensés avec l'objectif d'élargir la compréhension humaine de l'univers, utilisent de nombreuses pièces très petites qui s'emboîtent et fonctionnent avec une précision très élevée. « Nous avons fourni 1 500 pièces uniquement pour le BTFI », déclare Paulo Silvano Cardoso, directeur de

**Côte à côte:
L'arrangement
des fibres
optiques
requiert de la
précision et
beaucoup de
patience**

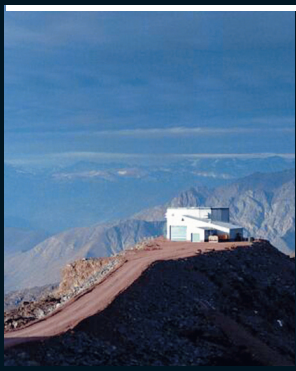


PHOTOS EDUARDO CÉSAR

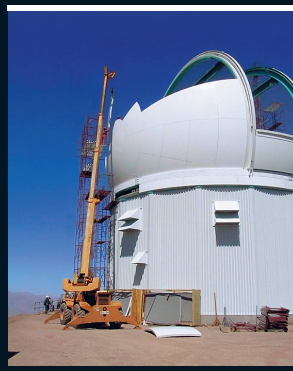
La naissance d'un télescope



Les travaux ont commencé en 1998, deux ans après l'approbation du projet, avec l'explosion et l'extraction de 13 mille mètres cube de pierres pour aplanir le sommet du Cerro Pachón, situé à Vicuña, dans le nord du Chili, siège du futur télescope Soar



Un an plus tard, l'édifice qui abritera le télescope et les salles de contrôle prend forme sur un terrain situé à 2701 mètres d'altitude et à 80 kilomètres de l'océan pacifique



L'édifice a reçu, en 2002, la coupole métallique de 14 mètres de haut, fabriquée par l'entreprise Equatorial, de São José dos Campos, dans l'état de São Paulo et qui protège le télescope durant la journée et durant la nuit, quand l'humidité augmente



Le miroir de 4,1 mètres de diamètre qui possède une capacité de captation de la lumière 350 mille fois supérieure à l'œil humain, arrive au Soar en janvier 2004, après avoir parcouru 10 mille kilomètres depuis son lieu de fabrication aux États-Unis

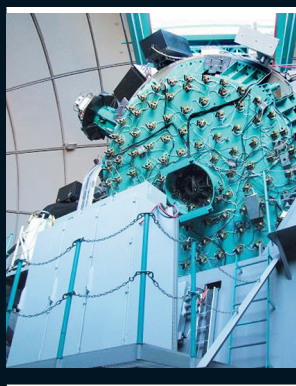
l'entreprise de matériel opto-mécanique Metal Card, de São José dos Campos, dans l'état de São Paulo.

« En dix ans, le Brésil a réussi à implanter un programme d'instrumentation de niveau international », affirme João Steiner, astrophysicien à l'IAG-USP, membre du Conseil Directeur du Soar pendant 10 ans et qui a participé du projet du télescope depuis sa conception en 1993 (voir Pesquisa FAPESP n° 98). Il déclare que les chercheurs brésiliens ont essayé d'initier une production d'instruments astronomiques il y a quelques années, quand le Brésil est devenu partenaire de l'observatoire Gemini qui possède deux télescope équipés de miroirs de 8,2 mètres de diamètre, l'un installé à Hawaï et l'autre à 350 mètres du Soar dans le Cerro Pachón, à 2701 mètres d'altitude. Mais ce projet ne s'est pas concrétisé. « Le bond était trop im-

portant », explique João Steiner, qui a dû en outre être hospitalisé à cause du stress engendré par la construction du télescope.

Un quart du spectrographe *échelle* du télescope Soar (Steles), fabriqué actuellement par l'équipe de l'astronome Bruno Vaz Castilho dans les laboratoires du LNA, devrait être prêt en début d'année 2011. Au même titre que le spectroscopie Sifs, installé au mois de janvier par les brésiliens dans l'édifice du Cerro Pachón, le Steles analysera également les couleurs de la lumière émise par les étoiles et les galaxies. Il visualisera cependant un plus large spectre de la lumière visible avec une plus grande définition. L'utilisation de deux instruments de la même famille pourrait faire double emploi mais chaque équipement possède des applications spécifiques. Alors que le Sifs gère 1 300 spectres en une seule exposition,

En dix ans, le Brésil est parvenu à implanter un programme d'instrumentation astronomique de niveau international qui profite également à l'industrie



Dans la nuit du 17 avril 2004, le télescope a fait sa première observation ou, comme disent les astronomes, a vu sa première lumière, en utilisant à cette époque des équipements prêtés par d'autres observatoires

le Steles en produit un seul. « Comme le Steles enregistrera tout le spectre de la lumière visible en une seule fois, il permettra d'analyser les différentes caractéristiques de l'objet observé, comme la composition chimique, la température, la vitesse de rotation ou d'éloignement », déclare Bruno Vaz Castilho.

« Avec la livraison de ces équipements, la première et la deuxième génération d'instruments définis dans le projet initial seront complètes », affirme Alberto Rodriguez Ardila, gérant national du Soar. Cela ne veut pas dire que le Soar sera complètement équipé. « L'avancée scientifique dépend du développement de nouveaux instruments », affirme-t-il. Selon l'opinion de l'astrophysicien du LNA, le résultat de tant de projets scientifiques développés pour le Soar se fera sentir dans quelques années. « L'utilisation de ces instruments devra augmenter la dis-

pute relative au temps d'observation et améliorera la qualité des recherches », déclare Alberto Rodriguez Ardila.

Le télescope blanc du Cerro Pachón n'est jamais resté inactif, même avant l'arrivée de son équipement. Le Soar a permis la publication de 36 articles scientifiques dans des revues internationales depuis qu'il a reçu la première lumière d'une étoile en 2004, jusqu'au mois de décembre de l'année dernière; 19 articles (53% de la totalité) ont été rédigés par des chercheurs brésiliens qui ne disposent que de 34% du temps d'observation du télescope.

La reconnaissance de la communauté internationale n'est venue qu'en 2007 quand le résultat d'une observation faite par le Soar, et par un brésilien, a été publiée dans les pages de la célèbre revue *Nature*. Deux ans plus tôt, dans la nuit du 25 septembre 2004, l'observatoire spatial Swift de l'agence spatiale nord-américaine (Nasa), a émis une alerte avec les coordonnées de ce qui pourrait être une explosion de rayons gamma (mort d'une étoile d'une masse dix fois supérieure au soleil et qui se transforme en trou noir, un des événements connus les plus énergétiques et localisé aux confins de la constellation des Poissons (voir *Pesquisa FAPESP n° 116*). Eduardo Cypriano, l'un des premiers astronomes résidents à l'observatoire Soar, un type de pionnier, travaillait ce soir là et a détecté les premiers signes de l'explosion.

À la demande du nord-américain Daniel Reichart, spécialiste de ces phénomènes, Eduardo Cypriano a fixé le télescope sur le même point pendant plusieurs jours. L'annonce officielle est arrivée une semaine plus tard. Les images prises par Eduardo Cypriano et analysées avec l'aide de sa femme, l'astronome Elysandra Figueredo, avaient mis en évidence l'explosion d'une étoile située à 12,7 milliards d'années lumière de la Terre. Le Soar avait été le seul télescope à suivre ce phénomène rare, confirmé plus tard par d'autres observatoires. « Il s'agissait de l'objet le plus ancien et le plus éloigné jamais observé, du moins à cette date », déclare Eduardo Cypriano. Il estime que quand les équipements du Soar seront réglés, les astronomes brésiliens seront bien outillés pendant au moins une décennie.

En attendant la livraison des derniers équipements, le Soar en possèdera huit au total, les brésiliens planifient les prochaines étapes. Un groupe coordonné par João Steiner et Beatriz Barbuy évalue la possible participation du Brésil dans la prochaine génération de télescopes. Il s'agit de projets grandioses dont le coût se situe entre 700 millions et 1,4 milliard de dollars US pour ériger des télescopes équipés de miroirs de 40 mètres de diamètre, soit quatre fois plus que les deux plus grands télescopes en activité. À titre de comparaison, le Soar a coûté 28 millions de dollars US dont 14 millions financé par le Brésil et réparti entre le Conseil National pour le Développement Scientifique et Technologique (12 millions de dollars US) et la FAPESP (2 millions de dollars US).

Cette incursion dans l'astronomie de pointe sera donc onéreuse. Le Brésil est en train de négocier le paiement de 10% du prix total d'un observatoire pour avoir accès au Thirty Meter, un télescope possédant un miroir de 30 mètres de diamètre ou 5% pour avoir le droit d'utiliser le Giant Magellan Telescope de 22 mètres de diamètre ou l'European Extremely Large Telescope, de 42 mètres de diamètre. Le Brésil exige cependant une contrepartie. « Nous ne participerons à ces projets que si 70% du financement bénéficie l'industrie brésilienne pour la fabrication d'instruments », affirme João Steiner.

Les astronomes ont deux bonnes raisons pour justifier de tels investissements. Le premier, plus abstrait, concerne l'accès aux méga-télescopes qui permettra aux chercheurs brésiliens d'avoir une chance d'observer l'univers toujours plus loin, à la recherche de réponses convaincantes qui expliquent une des questions les plus simples et fondamentales que se pose l'être humain : comment tout a commencé ? La deuxième raison est plus pragmatique. L'astronomie brésilienne qui est un secteur jeune et qui s'est développée rapidement dans les années 90 ne doit pas stagner si elle veut rester compétitive sur le plan international. « Si nous arrêtons, la prochaine génération d'astronomes sera condamnée à être exclue de la recherche de pointe à partir de 2025 et nous serions le seul pays émergent à faire cela », conclut João Steiner. ■