



UN RADIOTÉLESCOPE RÉNOVÉ AU CŒUR DE PARIS



1. Vue d'ensemble du radiotélescope.

Il aura fallu dix-sept ans d'efforts à trois associations de bénévoles pour venir à bout, en 2024, du projet de réhabilitation du radiotélescope de la Cité des sciences et de l'industrie à La Villette. Avec son antenne de 10 m, cet instrument est désormais disponible pour des travaux par des radioastronomes amateurs et pour des démonstrations publiques.

En 2024, le projet « Le chant des étoiles » de l'association Dimension Parabole a enfin abouti : le radiotélescope reçoit des signaux en provenance de la Galaxie, de radiosources, et peut même envoyer des messages vers la Lune. L'instrument avait retrouvé sa totale mobilité en décembre 2020 grâce aux réparations mécaniques, électroniques, et au développement de logiciels de télécommande par des amateurs. Il vient d'être mis au niveau des technologies les plus récentes.

Mais que s'est-il passé depuis son installation dans le parc de La Villette en 1986 ? Ce que l'on peut dire, c'est que le radiotélescope revient de loin !

Le 3 juillet 1979 est créé l'Établissement public du parc de La Villette, chargé de la réalisation sur le site de La Villette d'un musée scientifique, d'un auditorium et de l'aménagement d'un parc urbain.

Deux astrophysiciens, Jean-Claude Pecker et Pierre Léna, proposent d'installer un radiotélescope. L'Établissement public du parc de La Villette demande en 1981 à l'Institut national d'astronomie et de géophysique (Inag, ancêtre de l'Insu) une étude de faisabilité technique qui est confiée au DERAD (département de Radioastronomie de l'Observatoire de Paris) pour l'implantation d'un radiotélescope dans le parc du musée. On lit dans le rapport :

« Ses caractéristiques seront les suivantes : antenne de 10 mètres de diamètre, orientable, destinée à observer de jour ou de nuit par tous les temps, le soleil, ainsi qu'une dizaine de radiosources. Les observations seront visualisées dans le Parc et répétées à l'intérieur du Musée. Cette étude sera suivie au sein de la Mission du Musée par Monsieur Michel CHARLES, chargé de thème au sein de la division Conception des Expositions de la Mission du Musée. Le responsable scientifique au DERAD sera Monsieur Jean GUIBERT, directeur du Département de Radioastronomie, assisté de Monsieur François BIRAUD, Maître de Recherches au CNRS. »

Après appel d'offres, la société STILM (Bourges) se voit confier la fabrication du radiotélescope. L'instrument est fabriqué à la station de radioastronomie de Nançay et, le 1^{er} février 1984, François Biraud (OP) détecte avec ce nouveau radiotélescope les radiosources Cygnus A, Cassiopée A et Taurus A.

La Cité des sciences et de l'industrie (CSI) ouvrit ses portes le 13 mars 1986 à l'occasion de la rencontre entre la mission spatiale *Giotto* et la comète de Halley. Le télescope venait alors d'être déménagé dans le parc de La Villette. Selon des documents communiqués par le fils de François Biraud, lui-même radioastronome amateur, l'instrument avait pu enregistrer deux transits du Soleil en mars 1986. Mais on ne sait pas si des démonstrations avaient été effectuées dans la CSI.

En 1989, un engin de terrassement provoqua la rupture des câbles et de la fibre optique qui reliaient l'instrument à la CSI. Le radiotélescope devint alors inutilisable. En 1990, la CSI demanda à François Biraud un rapport en vue de remettre en fonction le radiotélescope. Le rapport fut classé sans suite. Il était assorti d'un devis de 130 kF (soit 30 795 euros de 2020), ordinateurs et main-d'œuvre extérieure non compris. L'instrument, hors d'usage, fut abandonné.

Un premier essai de restauration

Des radioamateurs parisiens étaient intrigués par cette grande antenne située dans le parc de La Villette. Renseignements pris, l'Association des Radioamateurs de Paris (ARP) contacta la CSI en 2006 et proposa de procéder à la réhabilitation du radiotélescope. Le projet présenté prévoyait des observations radioastronomiques et des expériences, comme la mesure de la vitesse de la lumière par réflexion d'un signal radio sur la surface de la Lune.

Finalement, l'ARP obtint de l'EPPGHV (Établissement public du parc et de la Grande Halle de La Villette) une autorisation d'occupation temporaire (AOT) du domaine public en 2008 qui lui accordait l'usage du radiotélescope et stipulait que « le bénéficiaire prend en charge la fourniture, la livraison et l'installation auprès du radiotélescope des matériels nécessaires à son fonctionnement ».



2. Extraction du réducteur et du moteur de déclinaison.

Une première carte interface électronique de commande des relais des moteurs fut réalisée et, avec l'alimentation provisoire du radiotélescope au moyen d'un câble branché sur le réseau électrique de l'EPPGHV, des essais de rotation de l'antenne eurent lieu entre 2011 et 2013. Auparavant, Laurent, membre de l'ARP, avait dressé les plans de câblage des circuits électriques, des commandes et des lecteurs de position. Malheureusement, de l'eau avait pénétré dans le réducteur du moteur de déclinaison en raison du vieillissement des joints d'étanchéité. Les roulements à billes avaient rouillé et la clavette entre le réducteur et l'arbre de rotation finit par rompre. N'ayant pas su trouver les compétences mécaniques nécessaires pour effectuer la réparation du motoréducteur en 2013, le projet fut interrompu pendant cinq ans.

Reprise des travaux

En février 2018, l'association Dimension Parabole, nouvellement créée, prit la suite des opérations avec la signature d'une nouvelle convention d'AOT avec l'EPPGHV.

La prise de contact avec des « hackers » de l'association Electrolab située à Nanterre fut alors décisive dans la réparation mécanique de la motorisation du radiotélescope. Un extracteur pneumatique de 25 tonnes fut conçu pour parvenir à retirer le réducteur et le moteur de l'axe de déclinaison. L'antenne fut verrouillée en direction du zénith et, un an plus tard, l'ensemble moteur entièrement rénové était remis en place, permettant au radiotélescope de retrouver sa mobilité sur les deux axes (fig. 2 et 3).

Pendant ce laps de temps, l'équipe s'était enrichie d'une poignée de radioamateurs compétents en électronique, programmation de logiciels, réseaux informatiques, etc.

Durant l'immobilisation du radiotélescope, le travail avait porté sur l'électronique de la chaîne de réception et la programmation des logiciels de pilotage de l'instrument.

Cependant, malgré le remplacement de la partie accessible des câbles coaxiaux, la mise en place de préamplificateurs et de filtres dédiés, aucun signal ne fut capté pendant l'année 2018. C'est alors que grâce à Christian Paillart, secrétaire de la commission Radioastronomie de la Société astronomique de France, fut révélée l'existence d'un préamplificateur en tête [1] ; celui-ci fut immédiatement réveillé en l'alimentant par application d'une



tension de 12 V via le câble coaxial de réception et... le 30 juillet 2019 les premiers signaux radio de la Galaxie furent enfin captés (fig. 4).

Ultérieurement, plusieurs pannes survinrent, nécessitant le remplacement de composants électroniques dans le codeur optique de déclinaison et des relais dans les cartes électroniques qui commandent l'alimentation des moteurs. Par ailleurs, il fallut l'aide d'une nacelle articulée de l'EPPGHV pour sécuriser l'attache rompue d'un des haubans qui maintenaient le mât support de la cavité qui renferme le dipôle récepteur de l'antenne. Plus récemment, toute la chaîne de réception a été renouvelée. Une nouvelle cavité réceptrice fut installée avec deux compartiments, l'un pour la réception, l'autre pour l'émission radio [2]. Le premier préamplificateur a été remplacé par un circuit beaucoup plus performant que celui d'origine qui datait des années quatre-vingt.

Enfin, aujourd'hui, le radiotélescope est opérationnel, pilotable à distance, à la grande satisfaction des radioastronomes amateurs et pour l'émerveillement des visiteurs [3].

Comment ce radiotélescope fonctionne-t-il ?

Un radiotélescope est un instrument d'observation astronomique composé essentiellement d'une antenne parabolique (réflecteur) et d'un récepteur radio. Du fait que les ondes capturées ont des longueurs d'onde supérieures à celles du visible, les performances d'un radiotélescope diffèrent de celles d'un télescope optique. En particulier, la résolution angulaire, à diamètre égal, est bien moins bonne, d'où la grande taille de l'antenne de ce radiotélescope. À la différence d'un télescope optique, la surface de l'antenne n'est pas un miroir, mais un grillage métallique. Avec son diamètre de 10 m, l'antenne procure un gain de 10 000 (40 décibels). Les signaux reçus sont concentrés vers le foyer de l'antenne où est placée une cavité avec une autre antenne, un dipôle, reliée à un préamplificateur à très faible bruit. Le signal ainsi amplifié est acheminé par câble coaxial jusqu'à l'armoire radio sur la passerelle de l'instrument, qui comporte un second préamplificateur équipé d'un filtre passe-bande étroit pour éliminer les interférences (parasites, radiotéléphones, etc.). Un autre câble conduit les signaux vers des récepteurs situés dans les bungalows installés entre les piliers du radiotélescope.

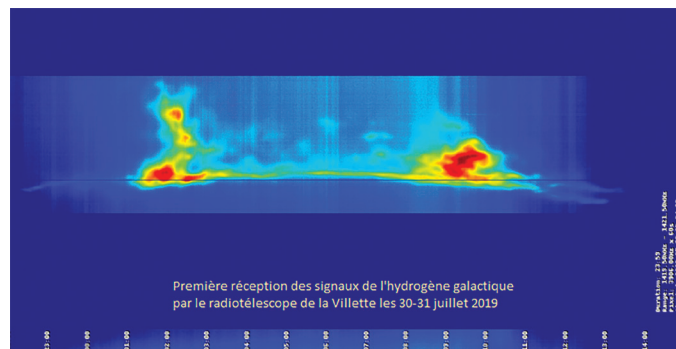
Les récepteurs SDR (*Software Defined Radio*) sont des appareils programmables qui numérisent le signal à grande fréquence avec une bonne précision. Des micro-ordinateurs effectuent le filtrage des signaux numérisés, calculent des spectres de fréquence, les stockent sur disques en temps réel. D'autres applications procèdent aux opérations de mise en forme en vue de présenter les résultats en graphiques et images.

Les différentes étapes à suivre lors des observations se résument ainsi :

- orientation de l'antenne vers la radiosource que l'on veut observer et, si elle est ponctuelle, en utilisant ses coordonnées. L'antenne sur sa monture équatoriale peut être commandée à



3. Remontage du moteur après rénovation.



4. Représentation de 1440 analyses de fréquence sur 24 heures du signal de l'hydrogène galactique

distance, en temps réel ou en différé ;

- suivi de la cible en compensant la rotation de la Terre ;
- réception du signal (antenne, préamplificateurs, câbles coaxiaux, récepteur SDR) ;
- filtrage puis numérisation du signal, calcul du spectre de fréquence, suppression des artefacts au moyen de logiciels adéquats ;
- stockage sur disques des mesures accumulées ;
- présentation des résultats sous forme de graphiques et dessins.

Détail amusant, le radiotélescope est actuellement commandé par un nano-ordinateur de la taille d'une carte de crédit (Raspberry Pi) et les récepteurs SDR tiennent dans la main !

Les observations faites avec le radiotélescope de La Villette

Actuellement, le radiotélescope situé à proximité de la Géode, au sud de la Cité des sciences et de l'industrie, est à l'écoute permanente de signaux en provenance de notre Galaxie, la Voie lactée. Il a été conçu pour recevoir la fréquence de 1 420,4 MHz (longueur d'onde de 21 cm) provenant de l'hydrogène atomique

neutre omniprésent dans l'espace interstellaire [4]. Il peut aussi capter des signaux provenant de sources radio extragalactiques, comme certaines galaxies et même des pulsars. Ces derniers sont des étoiles à neutrons qui tournent rapidement sur elles-mêmes en émettant un faisceau d'ondes radio détectable lorsqu'il est dirigé vers la Terre. Le radiotélescope peut également être orienté vers le Soleil (fig. 5).

En pratique, si l'on ouvre un récepteur radio connecté à l'antenne du radiotélescope de La Villette, on n'entend que du bruit. L'explication est simple : les signaux radio envoyés par la Voie lactée et par les radiosources sont essentiellement du bruit qui ressemble au souffle d'un récepteur radio quand on se trouve en dehors de la fréquence d'une station. Tous ces « bruits », qui sont d'origines diverses, peuvent être analysés et nettoyés grâce à des procédés de filtrage et de calculs numériques spécifiques.

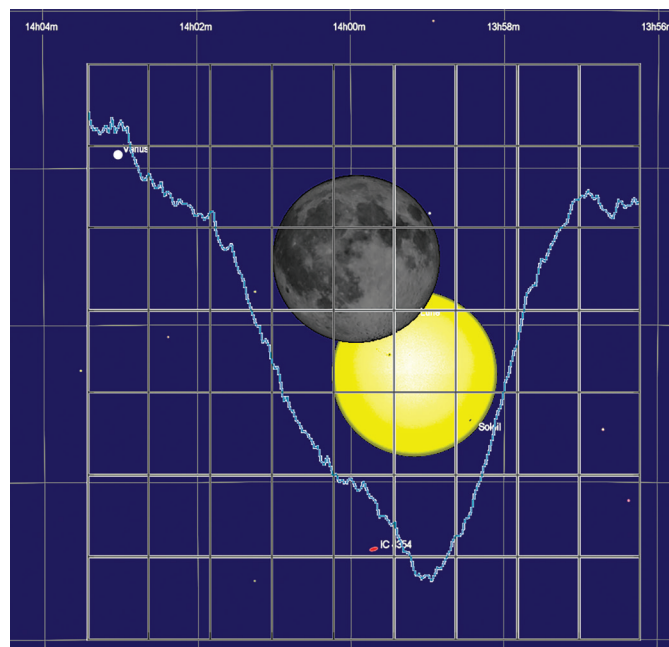
Dans le mode le plus simple d'utilisation, le radiotélescope est immobile et on profite de la rotation de la Terre pour explorer la portion du ciel qui le surplombe. Ainsi, lorsqu'il est dirigé vers le zénith, la Voie lactée passe dans l'axe de visée du radiotélescope deux fois par jour. La réception dans une gamme de fréquences de 6 MHz centrée sur la raie spectrale de l'hydrogène neutre H1 à 1 420,4 MHz est permanente 24 h/24. Deux fois par jour, au moment où l'axe de visée est dans la direction du plan galactique, le signal H1 se renforce car la densité des atomes d'hydrogène interstellaire augmente fortement, ce qui est représenté par deux taches de couleur chaude sur le document de la figure 4 qui présente un ensemble de spectres de fréquence calculés sur 24 heures (spectrogramme dynamique).

Pour l'observation d'une radiosource ponctuelle, une bonne méthode consiste à exploiter le fait que, compte tenu du mouvement de rotation de la Terre (0,25°/min), la radiosource visée traverse le lobe de réception de l'antenne. Cette méthode présente l'avantage de laisser le télescope immobile : c'est la Terre qui fait le travail... Le graphique résultant prend la forme d'une courbe en cloche qui correspond à l'angle d'ouverture de l'antenne (1,49° parcouru en 7,77 minutes) avec un maximum en rapport avec la densité de flux de la radiosource (fig. 6).

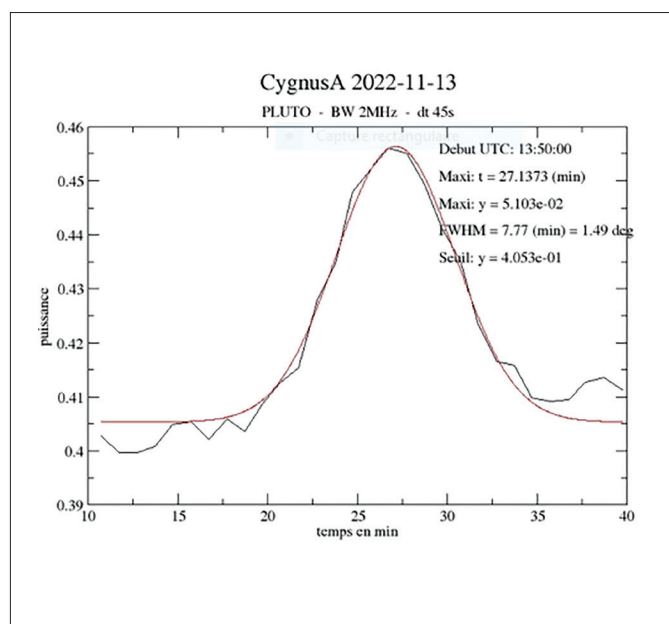
Jusqu'à présent, la réception des signaux de trois pulsars, dont les flux sont de plusieurs ordres de grandeur plus faibles que les autres radiosources, a été possible avec des temps d'observation de plusieurs heures et en utilisant des astuces de détection fondées sur le fait que l'on connaît leurs coordonnées et la périodicité des signaux.

Que le radiotélescope soit figé ou en mouvement, en tâche de fond ou pas, les spectres des signaux sont calculés en permanence, filtrés, normalisés et affichés sous forme d'images colorées à côté de graphiques montrant les positions angulaires RA (ascension droite) et DEC (déclinaison). Ces images sont disponibles en temps réel sur le site de l'association Dimension Parabole.

[<http://f4klo.ampr.org/tempsreel.php/>]



5. Observation du signal radio lors de l'éclipse de Soleil du 25 octobre 2022



6. Intensité du signal lors du transit de la radiosource Cygnus A.

1. Christian Paillart signale un article paru dans *Ciel et Espace* n° 202, en novembre-décembre 1984 décrivant le radiotélescope alors encore installé à Nançay.
2. Le compartiment émission de la source de l'antenne est utilisé pour effectuer des transmissions par des radioamateurs vers la Lune. C'est ainsi que l'on a pu mesurer la distance Terre-Lune avec le temps aller-retour de l'écho des signaux radio.
3. Un document à consulter : [https://www.youtube.com/watch?v=z5W3_tolYIA].
4. L'hydrogène, omniprésent dans l'espace interstellaire, représente 90 % des atomes de l'Univers. Lors d'un changement de niveau d'énergie, l'atome d'hydrogène peut émettre un signal qui se caractérise par une raie spectrale dont l'intensité et la fréquence (1 420,4 MHz) très précise en permettent l'identification.