

HISTOIRE

Le grand radiotélescope de Nançay a 50 ans

Gilles Theureau, Astronome, Observatoire de Paris et Université d'Orléans

L'auteur nous présente les premiers pas de ce radiotélescope et sa mise à jour instrumentale permanente qui contribue toujours à une recherche de pointe, en particulier sur les pulsars.

La station de radioastronomie de Nançay prend naissance en 1953 sur un terrain de 150 ha que vient d'acquérir l'École normale supérieure. Plusieurs très grands instruments vont y être construits, couvrant les différents domaines de longueur d'onde radio utilisables pour l'astrophysique, de quelques centimètres (3,5 GHz) à quelques dizaines de mètres (10 MHz). Les rayonnements radio des astres étant très faibles, c'est la grande taille des antennes qui permet d'atteindre la sensibilité suffisante pour sonder l'Univers jusqu'aux échelles cosmologiques, qui se mesurent en centaines de millions d'années de lumière. Celui que l'on appelle le grand radiotélescope de Nançay a été inauguré il y a 50 ans, le 15 mai 1965, par le général De Gaulle, après cinq années de construction. C'est à l'époque la plus grande antenne au monde entièrement dédiée à l'astronomie, équivalent d'une

parabole de 94 m, devant le Lovell Telescope (76 m, Manchester, Royaume-Uni, inauguré en 1957) et le radiotélescope de Parkes (64 m, Australie, inauguré en 1961). Avec ses 7 000 m² de surface collectrice et ses dimensions imposantes (300 m × 35 m pour le miroir sphérique principal, 200 m × 40 m et 400 tonnes pour le déflecteur mobile), l'instrument de Nançay reste aujourd'hui le quatrième plus grand télescope d'une seule pièce. Si ses poutrelles et pylônes sont d'origine et défient encore le temps, l'élément central, constitué des récepteurs et analyseurs du signal, a été constamment mise à jour et amélioré pour rester scientifiquement compétitif et aborder de nouveaux domaines de l'astrophysique et de la cosmologie (figure 1).

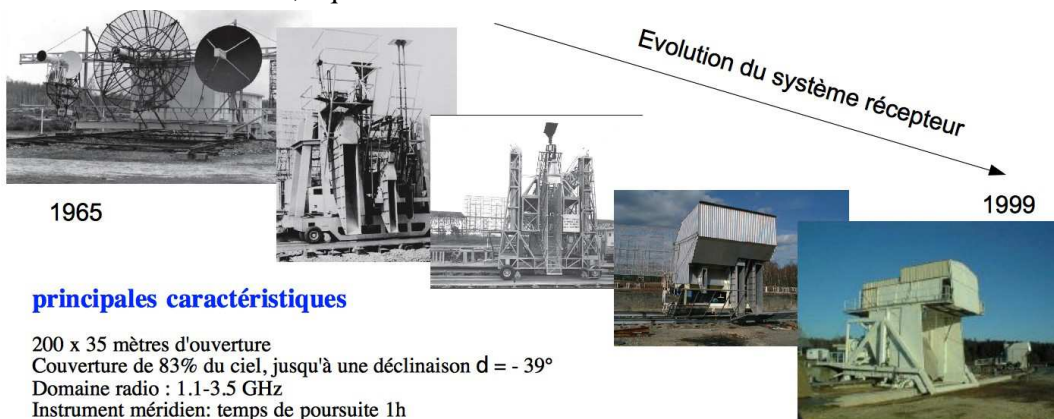


Fig.1. Principales caractéristiques du grand radiotélescope décimétrique de Nançay. En bas une photographie aérienne des structures des miroirs. Le miroir de droite est inclinable pour pointer en altitude, le miroir de gauche est fixe, avec la forme d'une portion de sphère pour concentrer le rayonnement collecté vers le foyer mobile au centre. Le foyer et ses instruments récepteurs se déplacent le long d'une voie est-ouest de 80 mètres, permettant le suivi d'une source astronomique pendant une heure de part et d'autre de son passage au méridien. (Copyright Observatoire de Paris).

Le grand radiotélescope opère dans la bande décimétrique, entre 1 et 3,5 GHz, un domaine de fréquence où l'on recueille l'émission diffuse d'un des principaux constituants de l'Univers, carburant essentiel des étoiles et traceur des plus grandes structures, depuis les galaxies jusqu'aux dimensions cosmologiques : l'hydrogène.

Ce gaz, le plus simple élément de la matière ordinaire, est constitué d'un proton et d'un électron, et possède la propriété d'émettre ou d'absorber la lumière à la longueur d'onde de 21 cm, dans le domaine des ondes radio à 1 420 MHz (figure 2).

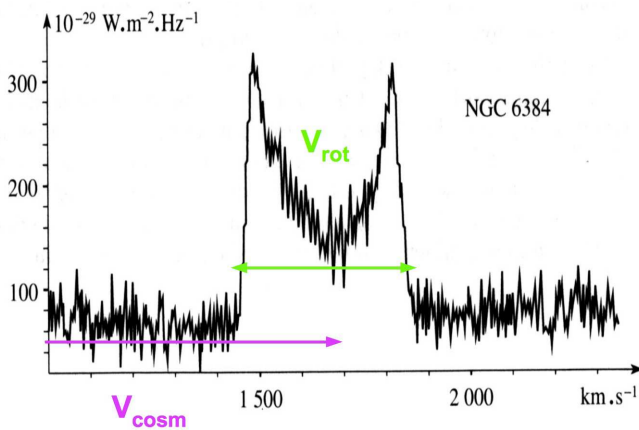


Fig.2. Spectre 21-cm (raie de l'hydrogène neutre ou raie HI) de la galaxie NGC 6384. La position de la raie en fréquence indique directement la vitesse de la galaxie par rapport à l'observatoire, ici une vitesse de fuite de 1660 km/s. La largeur de la raie observée donne une mesure de la vitesse de rotation projetée le long de la ligne de visée, donc à l'inclinaison près, cette mesure est un indicateur de la masse totale de galaxie, et donc de sa luminosité intrinsèque et de sa distance. (Copyright Observatoire de Paris) Distance (Mpc).

Il est partout, et sa cartographie à grande échelle a été un des premiers objectifs de l'instrument, collectant dans sa carrière des mesures pour plus de 12 000 galaxies lointaines, un record pour la discipline.

Ces observations ont permis la cartographie tridimensionnelle des grandes structures de notre univers local, notamment grâce aux travaux de trois astronomes bien connus des lecteurs des Cahiers Clairaut : Lucette Bottinelli, Lucienne Gouguenheim et Georges Paturol.

Leurs études ont permis les premières mesures de la constante d'expansion (la constante de Hubble H_0) et de la densité de matière (le paramètre de densité Ω_0) jusqu'aux échelles cosmologiques, à travers la mesure des distances et vitesses particulières des grandes galaxies spirales, jusqu'à plusieurs dizaines de millions de parsecs (Figure 3).

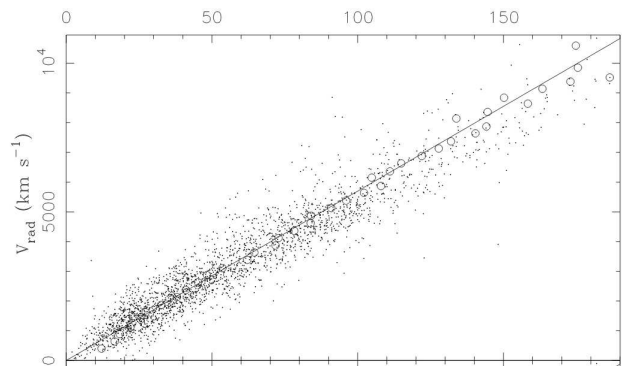


Fig.3. Diagramme de Hubble « vitesse-distance » montrant la linéarité de l'expansion jusqu'à 180 Mpc. Chaque point est une galaxie spirale dont la distance et la vitesse cosmologique ont été déduites de la mesure de la raie 21 cm de l'hydrogène. Les ronds sont les valeurs moyennes de la distance des galaxies par tranche de 250 km/s (extrait de l'article Theureau, G.; Rauzy, S.; Bottinelli, L.; Gouguenheim, L., 1997, A&A 340, 21). (Copyright Observatoire de Paris).

Depuis une dizaine d'années, grâce à une très large bande radio accessible instantanément, le grand radiotélescope s'est majoritairement tourné vers l'étude du rayonnement continu d'un des objets astrophysiques les plus curieux, les étoiles à neutrons, astres ultra compacts (un soleil compressé aux dimensions de la région parisienne) et à la rotation incroyablement rapide (plus de 700 tours par seconde), balayant le ciel de leur faisceau, comme les lentilles de multiples phares galactiques (figure 4).

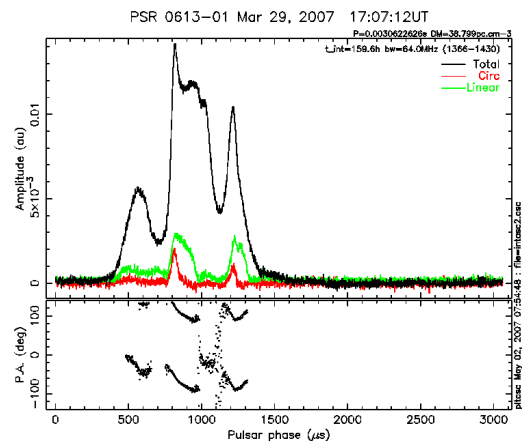


Fig.4. Profil du faisceau du pulsar PSRB0613-01 capté par le grand radiotélescope de Nançay. La figure représente le rayonnement mesuré lorsque le faisceau intercepte la Terre, à chaque tour de l'étoile à neutrons, toutes les 3 millisecondes. Les couleurs indiquent le taux de polarisation linéaire et circulaire du signal reçu. En bas, on voit la variation de l'angle de polarisation de l'onde le long du faisceau avec la phase rotationnelle du pulsar. (Copyright I.Cognard, Observatoire de Paris).

Ces objets, surnommés « pulsars », sont la clé de nombreuses questions de physique fondamentale, en relativité générale en particulier, comme celle de

l'existence d'ondes gravitationnelles. Pour le programme de chronométrie des pulsars (figure 5), l'instrument produit aujourd'hui les meilleures données européennes avec une extrême régularité et participe à un réseau d'observation mondial baptisé IPTA (International Pulsar Timing Array).

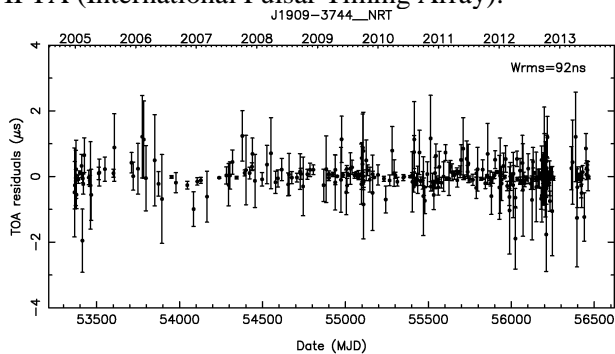


Fig.5. Variation relative des temps d'arrivée des pulsations du pulsar PSR J1909-3744 entre fin 2004 et début 2013. Le pulsar ne s'écarte pas de plus de 92 nanosecondes de la rotation parfaite, ce qui en fait une horloge naturelle extrêmement stable et un outil unique pour tester les théories de la gravitation. (Copyright I.Cognard, Observatoire de Paris).

Une première série de résultats publiée en 2015 montre que l'on n'est pas loin de détecter l'émission gravitationnelle (si elle existe comme le prédit la

Relativité Générale !) en provenance des couples de trous noirs supermassifs (~ milliards de masses solaires) réunis au cœur des galaxies au cours de leur processus d'évolution et de fusion.

Enfin, le grand radiotélescope apporte une contribution très importante à notre compréhension des comètes, notamment leur composition en eau, et sa flexibilité de programmation lui permet de pointer rapidement vers des phénomènes nouveaux, explosions de supernovae, suivi des mystérieux sursauts gamma, ou de suivre sur plusieurs années les variations de l'émission de la matière chutant sur certains trous noirs.

On y teste également de nouveaux récepteurs et on y élabore des techniques d'analyse du signal qui serviront à d'autres générations de radiotélescopes, comme NenuFAR, nouveau géant de Nançay dont la construction est en cours, avec ses milliers d'antennes basse fréquence (10-85 MHz) déployées sur une surface équivalente de 10 ha, ou comme le SKA (Square Kilometre Array), projet de radiotélescope mondial, qui sera construit dans les déserts australien et sud-africain à partir de 2020. ■