



Le grand radiotélescope de Nançay

Pulsars et physique fondamentale

un DVD pour les scolaires et le grand public

Responsables scientifiques

Ismaël Cognard, LPCE, CNRS-Orléans

Gilles Theureau, GEPI, Observatoire de Paris et LPCE, CNRS-Orléans

Présentation générale

Inauguré en mai 1965 par le Général de Gaulle, le grand radiotélescope de Nançay fêtera bientôt ses 40 ans de fonctionnement. Cet anniversaire coïncide avec l'Année Mondiale de la Physique 2005 et pour cette double occasion nous proposons un grand projet pédagogique autour de l'instrument et d'un de ses programmes phares: "l'observation et la chronométrie des pulsars". Le Grand Radiotélescope de Nançay (NRT), installé en pleine Sologne, est un instrument à vocation scientifique internationale. Sa dernière rénovation date de l'année 2000 ; elle a été possible grâce à un co-financement de l'Observatoire de Paris, du CNRS et de la Région Centre et a permis ainsi à l'instrument de conserver sa place au niveau mondial. L'étude des pulsars a, quant à elle, donné lieu à un grand nombre de découvertes (deux prix Nobel) et constitue un des domaines de prédilection pour tester les théories de la gravitation. Les pulsars sont observés régulièrement à Nançay depuis 1988, et en constituent une des activités de pointe pour l'avenir du radiotélescope.

Le projet pédagogique global consiste en un ensemble d'opérations en collaboration avec le Rectorat de l'académie d'Orléans-Tours, le CRDP d'Orléans et l'association Centre Sciences. Il comprend :

- des visites pour les scolaires du site du NRT en association avec le musée Ciel Ouvert,
- des conférences dans les lycées et collèges,
- la réalisation de deux films : un court métrage destiné au grand public montrant l'envers du décor de l'instrument ("comment ça marche ?") et un long métrage constitué d'une conférence didactisée sur l'instrument, l'étude des pulsars et la physique fondamentale (distribuée sous forme de DVD)
- la réalisation d'un livret pour l'enseignant accompagnant le DVD, où l'on propose des activités pédagogiques autour des thèmes évoqués

Le projet de films est une coproduction entre le CRDP d'Orléans-Tours et l'Observatoire de Paris et la Société Française de Physique. Les films seront distribués en particulier, pour le court métrage, à chaque visite de Nançay, et pour le DVD, par le réseau de l'Education Nationale (CRDP et CNDP) notamment aux 450 établissements collèges ou lycées de la Région Centre. Un "bonus" sous forme de clip pourra par ailleurs être diffusé en "streaming" via le site de l'Observatoire, associé à des vues 360° de la Station.



La réalisation : les synopsis

Le projet de DVD-rom s'articule autour de six modules :

1- Le radiotélescope de Nançay : comment ça marche ? – environ 15 mn

- *généralités* : le choix du site, sa construction et son inauguration (40^{ème} anniversaire), la radioastronomie et la place de Nançay au niveau mondial...
- *l'outil* : particularité, trajet des photons sur les miroirs et mouvements de la mécanique de suivi, chariot focal, cornets récepteurs, laboratoire...
- *les instruments de mesure* : types de mesures, calculateurs, spectrographes
- *les grands programmes scientifiques traités à Nançay* : pulsars, galaxies, étoiles à enveloppe, comètes.

Ce module est destiné au grand public et aux scolaires. Il pourra être utilisé lors de présentation du radiotélescope (introduction d'une conférence ou d'un colloque, visites, utilisation en classe...) Le DVD propose plusieurs langues ou sous-titres.

2- L'étude des pulsars et la physique fondamentale – environ 40 mn

- *Introduction* : découverte des pulsars, grands programmes internationaux
- *Astrophysique*: évolution stellaire, étoiles à neutrons, structure Galactique
- *Pulsars et Temps* : chronométrie, effet doppler, échelle de distances et échelle de temps
- *Pulsars et Gravitation 1*) : pulsars doubles et gravitation en champ fort
- *Pulsars et Gravitation 2*) : l'univers primordial et le fond d'ondes gravitationnelles

Ce module se destine à un public plus exigeant. Une structure en chapitres permet de pointer l'élément recherché par l'enseignant.

3- Bonus teasing – 2 mn

Il s'agit d'une présentation du radiotélescope de Nançay de manière très dynamique sur fond musical afin d'attirer le spectateur lors de salons, de faire patienter le visiteur avant une visite, ou être mis en "streaming" sur un site web.

4- Bonus "Histoire du grand radiotélescope" -- 30 mn

Il s'agit d'une interview filmée d'un des pionniers de la radioastronomie française, Jean-Louis Steinberg, où celui-ci nous raconte, sur un fond d'images d'archive, le projet de construction du grand radiotélescope à Nançay

5- Un plan interactif du site du grand radiotélescope, accompagné d'un ensemble de vues 360°

6- Un livret pédagogique d'accompagnement (format pdf)

Ce livret propose des approfondissements et compléments de cours, ainsi que des activités et exercices associés à chaque chapitre de la partie pulsar.

Pulsars et étoiles à neutrons

Etoiles à neutrons

Les étoiles à neutrons sont les restes de l'explosion d'une grosse étoile (au moins 10 fois notre Soleil). En effet, à la fin de sa vie, une grosse étoile voit les réactions nucléaires transformant l'hydrogène en hélium s'emballer et finir par une explosion. Pendant cette explosion appelée supernovae, la périphérie de l'étoile se disperse dans l'espace interstellaire alors que, par contre coup, le coeur est comprimé. Il reste alors une étoile si compacte (10 à 20km de diamètre pour 1.4 fois la masse de notre Soleil) que seules les particules élémentaires appelées neutrons peuvent y subsister. L'étoile à neutrons dotée d'un champ magnétique (comme un aimant) produit alors deux faisceaux d'ondes radio qui balaient l'espace à la façon d'un phare au bord de la mer. Si la Terre est convenablement située, une impulsion radio (un "bip") est perçue à chaque tour de l'étoile. Il est d'ailleurs relativement facile de transformer le radiotélescope utilisé pour observer le pulsar en un poste de radio standard et lui faire rendre un son audible "bip – bip - bip".

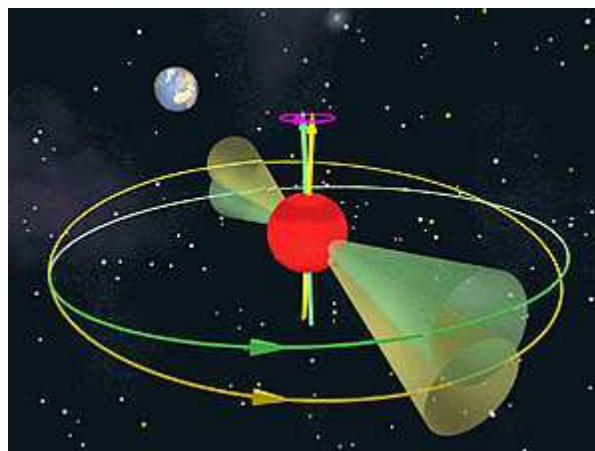
Découverte des pulsars

Le premier pulsar a été découvert en 1967 par une étudiante anglaise Jocelyn Bell avec un radiotélescope à Cambridge. Confirmation d'une prédiction de physique fondamentale faite dans les années 1930, le prix Nobel de physique a été décerné en 1974 à son directeur de recherche A.Hewish. Rapidement de nombreux autres pulsars seront trouvés et ce sont maintenant plus de 1500 d'entre eux qui sont localisés dans notre Galaxie. Un radiotélescope est utilisé pour déterminer le plus précisément possible les heures d'arrivée des bips radio : c'est la chronométrie des pulsars. L'analyse d'une succession de telles mesures permet de multiples études...

Pulsars et gravitation

Si le pulsar est situé dans un système double (l'étoile à neutrons est en rotation autour d'une autre étoile), le mouvement orbital peut être étudié en grand détail. Si le système double est adéquat, il peut même servir à tester les différentes théories de la Gravitation (la Relativité Générale d'Einstein n'est pas la seule) en champ gravitationnel fort inaccessible dans les laboratoires terrestres. Notons qu'un autre prix Nobel de physique a été décerné en 1993 pour les études effectuées sur le pulsar binaire 1913+16 qui a permis les premiers tests de la Relativité Générale en démontrant l'existence des ondes gravitationnelles.

Par variation apparente de la distance entre le pulsar et la Terre, le passage d'une onde gravitationnelle peut en effet être détecté par la chronométrie de grande précision. Par exemple, les cosmologistes étudiant les premiers instants de l'Univers ont prédit qu'au moment du Big-Bang, l'Univers a émis de nombreuses ondes gravitationnelles qui doivent toujours errer à travers l'Univers actuel. C'est la détection d'un tel fond d'ondes gravitationnelles d'origine cosmologique qui est le but scientifique le plus ambitieux de tels programmes d'observation.



Mots clés :

- astrophysique
- théories de la Gravitation

Nancay et le Grand Radiotélescope

Historique

C'est en 1953 que l'Ecole Normale Supérieure acheta 150h de terrain à Nancay (Cher) pour y installer de grands interféromètres radio. Construit entre 1960 et 1965, le grand radiotélescope est dédié à l'observation des ondes centimétriques. Il est composé d'un ensemble de 10 panneaux constituant un miroir plan inclinable de 200m de long sur 40m de haut et d'un miroir fixe de 300m de long sur 35m de haut focalisant les ondes radio vers le récepteur. Mobile sur une voie ferrée Est-Ouest, celui-ci permet de suivre un astre en compensant la rotation de la Terre.

Contexte international

Ce radiotélescope, équivalent à une antenne parabolique de 100m, fait partie du club des 5 plus grands radiotélescopes au monde avec Arecibo (USA, 300m), Bonn (All, 100m), Green Bank (USA, 100m), Jodrell (GB, 76m).

Il est doté d'un Comité d'experts international distribuant le temps d'observation en fonction de demandes provenant du monde entier. Les principaux domaines scientifiques abordés sont l'étude des mouvements et de la composition des galaxies, l'étude des pulsars, ainsi que celle des étoiles à enveloppes et des comètes.

Une rénovation a été menée à bien en 2000 (FORT), permettant de doubler la sensibilité de l'instrument en changeant l'ensemble du système récepteur. Des améliorations importantes ont également été apportées dans le traitement et l'analyse des signaux radio. Cet effort de développement a permis d'acquérir une expertise mondialement reconnue dans ces domaines et rendu possible l'implication de Nancay dans les projets de grands radiotélescopes du futur (projet SKA Square Kilometer Array 2020).

Chronométrie des pulsars

Un programme de suivi et de mesures précises de temps d'arrivée d'impulsions radio en provenance de pulsars (voir page 3) a été mis en place à partir de 1988. Au début tourné vers les pulsars rapides et lointains avec une instrumentation développée et construite à Nancay, le programme est maintenant capable d'observer tout type de pulsar rapide grâce à une instrumentation développée en collaboration avec l'équipe du Pr. D.C.Backer de University of California, Berkeley (comportant un ordinateur à 150 processeurs). Caractérisé par des observations récurrentes, le programme a deux grandes découvertes à son actif : la détection du passage d'un nuage interstellaire entre la Terre et le pulsar et la détection du premier changement brutal de vitesse de rotation d'un pulsar rapide (dit aussi recyclé).



Acteurs

Science

I.Cognard est chargé de recherche au Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (CNRS-Orléans-UnivOrléans) depuis 1996. Il est responsable du programme clé “pulsars” du Grand radiotélescope de Nançay et travaille sur le développement du nouvel analyseur numérique pour la chronométrie des pulsars en collaboration avec l'université de Californie à Berkeley.

G.Theureau est astronome adjoint à l'Observatoire de Paris et rattaché au Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (CNRS-Orléans) depuis 2000. Il est spécialiste de cosmologie observationnelle et responsable du programme clé d'observation des galaxies de l'univers local avec le Grand Radiotélescope de Nançay.

Nous sommes engagés depuis plusieurs années dans des opérations vis-à-vis du grand public, du personnel enseignant et des scolaires, en particulier dans l'académie d'Orléans-Tours en collaboration serrée avec M.Khairallah, chargé de mission auprès du Recteur pour la promotion de l'enseignement scientifique. L'année 2004, avec le passage de Vénus devant le Soleil le 8 juin, a été par exemple l'occasion d'une campagne de conférences et rencontres dans les établissements sous l'égide du Rectorat et de Centre Sciences.

Pédagogie

Un groupe d'enseignants et responsables pédagogiques se charge de la validation du livret d'accompagnement pour l'exploitation en classe des deux films :

Alain Goursaud, enseignant de Physique et Inspecteur Pédagogique Régional

Nicolas Montlivet, enseignant de Physique, Inspecteur d'Académie et Inspecteur Pédagogique Régional

Michel Khairallah, chargé de mission “Culture Scientifique et Technique” au rectorat d'Orléans-Tours

Joel Petit, enseignant de Physique, collège de Bracieux (41)

Daniel Verheylewegen, enseignant de Mathématiques, coll Jean Moulin de St Amand Montrond (18)

Christiane Sellier, enseignante de Physique, lycée Durzy à Villemandeur (45)

Marie-Christine Baurrier, enseignante de Physique, lycée Pothier à Orléans (45)

Mathieu Bauvais, enseignant de Physique, lycée de Bourges

L'unité de production audiovisuelle du CRDP (UPAV, **J-P.Letourneur**, **P.Lenain**) est spécialisée dans la réalisation de projets pédagogiques sur support vidéo ou multimédia. Plus de 200 films sont sortis de ses studios pour toutes les disciplines de l'enseignement.

Quelques exemples :

Datation au carbone 14, unité et diversité des êtres vivants, le code génétique, l'ADN, Mémoires de Loire, La météo de l'emploi sur France 3, Prague mémoire et métamorphoses, des étangs et des hommes, les métiers du cinéma, savoir lire, itinéraires d'un lecteur autonome, rotation et translation, les ressources documentaires informatisées, le débarquement, management environnemental, le tri sélectif, le compostage, transport et sécurité, l'unité pédagogique d'intégration, in situ...

Musique

La musique est réalisée et composée par **P.Sintès**.

P.Sintès est compositeur et enseignant en jazz et musiques actuelles au Conservatoire d'Orléans. Il dirige divers ateliers de musique improvisée et participe à la programmation du festival Off d'Orléans Jazz.

Discographie: Zig zag "Point de repère" (Night and Day, 1994)
 Zig zag "Bifurcations" (Night and Day, 1996)
 Nonnet "Quoi de neuf" (Real Studio, 2003)