

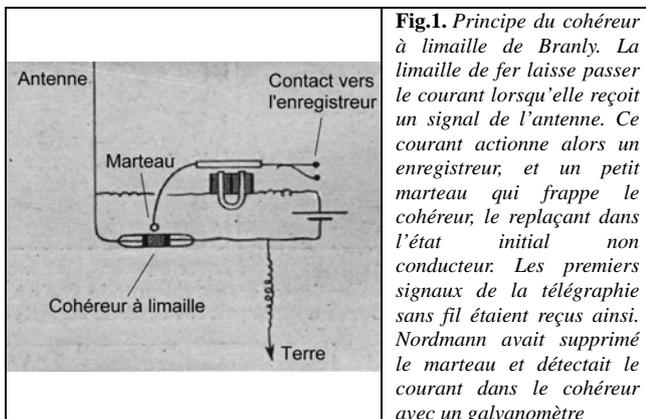
Histoire de la radioastronomie en France : 1901-1980

James Lequeux, astronome émérite de l'Observatoire de Paris

À la mémoire de Jean-François Denisse (1915-2014), fondateur de la radioastronomie française, qui fut mon directeur de thèse.

Un précurseur : Charles Nordmann (1881-1940)

Les ondes radio ont été découvertes en 1888 par Heinrich Hertz (1857-1894) qui les produisait en faisant éclater un arc électrique. Ceci a donné à l'astronome français Henri Deslandres (1853-1948) l'idée que le Soleil, dont il pensait que l'activité était d'origine électrique, pourrait émettre des ondes radio. Il en parla probablement à un jeune astronome de l'observatoire de Meudon, Charles Nordmann, qui décida de tenter une détection des ondes radio solaires. À cet effet, il installa au dessus du glacier des Bossons, près de Chamonix, un fil conducteur de 175 m de long faisant antenne, porté par des poteaux de bois et relié à une variante du seul détecteur d'ondes radio alors disponible, le cohéreur à limaille de Branly. Il s'agissait d'un tube de verre rempli de limaille de fer, connecté d'un côté à l'antenne et de l'autre au sol et soumis à une différence de potentiel créée par une pile (figure 1).



Les grains de fer sont normalement couverts d'une très mince couche d'oxyde isolant, et le détecteur ne laisse pas passer le courant. Cependant, le passage d'une onde radio provenant de l'antenne produit une destruction de l'oxyde au niveau des interfaces entre les grains, et le détecteur devient conducteur. Pour le remettre dans son état initial, il suffit de le frapper d'un coup sec, ce qui déplace les grains si bien que le courant ne passe plus.

Nordmann, aidé d'un ingénieur électricien nommé Habercorn, fit l'expérience le 19 septembre 1901, sans

succès. Son échec tient à plusieurs causes : l'antenne était surtout sensible aux ondes hectométriques qui sont arrêtées par l'ionosphère terrestre, et le Soleil était dans un minimum d'activité.

S'il avait fait l'expérience pendant une période de maximum d'activité et capté l'émission radio intense d'un sursaut solaire, elle aurait peut-être réussi. Quoi qu'il en soit, Nordmann resta persuadé que le Soleil devait émettre des ondes radio, et ce fut même l'objet de sa thèse de doctorat. Des essais faits indépendamment en Allemagne et en Angleterre avec des détecteurs encore moins sensibles ne donnèrent pas plus de résultats.

La naissance de la radioastronomie en France

Les choses en restèrent là jusqu'à ce que Karl Jansky (1905-1950), un ingénieur des Bell Telephone Laboratories dans le New Jersey, découvre par hasard en 1933 l'émission radio de la Voie lactée. Celle-ci fut cartographiée pour la première fois par un autre ingénieur radio, Grote Reber (1911-2002), qui avait construit dans son jardin une antenne parabolique de 9 m de diamètre. Bien que ces observations aient été publiées dans des revues connues et aient même fait la une du New York Times, les astronomes n'y prêtèrent aucune attention, à l'exception du seul Jesse Greenstein (1909-2002), un astronome du California Institute of Technology. En 1942, un troisième ingénieur radio, James Stanley Hey (1909-2000), découvrait par hasard en Angleterre qu'un radar pointé vers le Soleil était fortement perturbé par une émission radio venant de l'astre. Cette découverte, mise à profit par la Royal Air Force pour échapper aux radars allemands pendant ses attaques, est restée secrète jusqu'à la fin de la guerre.

Le physicien français Yves Rocard (1903-1992), très actif dans la Résistance et qui avait pu se rendre en Angleterre à cette époque, était cependant au courant car il y avait travaillé au radar. Nommé directeur du Laboratoire de physique de l'École normale supérieure (ENS) en 1945, à l'issue de la guerre, il créa en 1946-7 le premier groupe de radioastronomie avec un jeune physicien qui venait d'arriver, Jean-François Denisse (1915-2014), bientôt rejoint par d'autres jeunes gens, parmi lesquels je citerai Émile-Jacques Blum (1923-

2009) et Jean-Louis Steinberg. Aucun n'avait de formation en astronomie. Ils utilisèrent un ancien projecteur américain de défense contre avions de 1,5 m de diamètre (figure 2), pour détecter l'émission du Soleil à 3 cm de longueur d'onde (une première), puis une antenne de 3 m de diamètre, un ancien radar allemand. En parallèle, Marius Laffineur (1904-1987), un ingénieur radio, créait en 1946 à l'Institut d'Astrophysique un groupe qui ne comptait jamais que deux personnes : ce groupe collabora un temps avec le groupe de l'ENS, réalisa des observations solaires puis construisit à l'Observatoire de Haute-Provence un radiotélescope assez important, terminé en 1959, qui ne produisit malheureusement guère de résultats intéressants. Il disparut vers 1967.

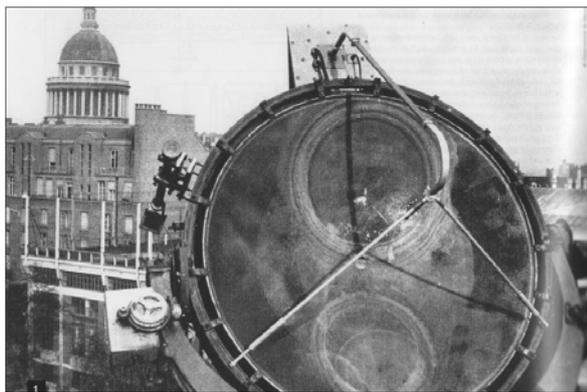


Fig.2. Projecteur utilisé comme radiotélescope, sur la terrasse du Laboratoire de physique de l'ENS, rue Lhomond à Paris. On voit au fond la coupole du Panthéon. Remarquer le cornet focal et le guide d'ondes qui transmet le signal reçu au récepteur situé à l'arrière, non visible.

Bien entendu, la France n'était pas le seul pays à se lancer dans la radioastronomie. Tous les pays développés le firent, car ils possédaient des ingénieurs radio qui se trouvaient quelque peu désœuvrés à l'issue de la Guerre. C'est ainsi que l'on comptait au début des années 1950 2 groupes importants de radioastronomie en Angleterre, 3 en Australie, au moins 5 aux USA, 3 en URSS, et 1 en Allemagne, au Canada, au Japon et aux Pays-Bas. Tous ces groupes se développèrent en dehors des instances astronomiques traditionnelles, et présentaient plus souvent leurs résultats aux congrès de l'Union Radio Scientifique Internationale (URSI) qu'à ceux organisés par l'Union Astronomique Internationale (UAI).

La radioastronomie débutante se heurtait à une grande difficulté : le manque de résolution angulaire. En effet, le pouvoir de résolution d'un télescope ou d'un radiotélescope est de l'ordre de λ/d radian, où λ est la longueur d'onde et d son diamètre. Si une petite lunette de 10 cm de diamètre suffit pour atteindre une résolution de 1 seconde de degré, il faudrait un radiotélescope de 40 km de diamètre pour obtenir ce résultat à 20 cm de longueur d'onde ! Une façon de contourner cette difficulté est d'utiliser l'occultation de la source d'ondes radio par la Lune, à condition

évidemment que ce phénomène survienne. C'est ce qu'a fait à quatre reprises le groupe français en observant des éclipses de Soleil, notamment l'éclipse annulaire du 1^{er} septembre 1951 à Markala, actuellement au Mali. Le résultat est qu'en ondes métriques le Soleil est nettement plus gros que le disque visible, et aplati (figure 3) : le rayonnement radio vient de la couronne solaire. Ce fut le début d'une collaboration avec les astronomes spécialistes du Soleil, qui s'est révélée par la suite fort fructueuse.

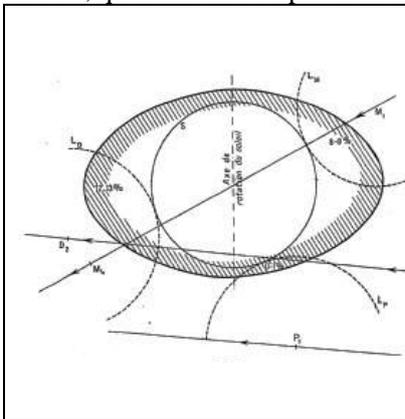


Fig.3. Forme du Soleil radio en ondes métriques, résultant d'observations pendant deux éclipses. La position de la Lune est indiquée au moment où elle tangente le disque optique du Soleil (cercle central, ainsi que son trajet par rapport au Soleil. La forme du Soleil radio est l'ovale hachuré.

Les limitations de cette méthode sont évidentes. Aussi de nombreux groupes de radioastronomie ont développé des interféromètres formés de plusieurs antennes connectées électriquement. La résolution angulaire est alors λ/D radian, où D est la distance entre les antennes les plus éloignées. En France, on a eu la chance de bénéficier des compétences de Jacques Arzac (1929-2014), issu de l'école d'optique française qui avait développé la théorie de la formation des images par les instruments d'optique. Il a construit en 1952 un interféromètre solaire qui comportait 2, antennes fonctionnant à 3 cm de longueur d'onde, porté à 4 antennes en 1955. Il était installé à Marcoussis, au sud de Paris, où se trouvait un laboratoire de la Marine nationale (Rocard était amiral de réserve). Ce devait être le premier d'une longue série.

Les antennes Würzburg et la création de la station de Nançay

Les Allemands ont construit pendant la deuxième guerre mondiale environ 600 radars géants du type Riese-Würzburg, ainsi nommés car ils étaient fabriqués dans cette ville ; ils comportaient une antenne parabolique de 7,5 m de diamètre, d'excellente qualité. En 1949, Yves Rocard en a récupéré trois qui ont été utilisés comme radiotélescopes. L'un d'eux fut dévolu à Laffineur, qui l'a monté à l'Observatoire de Meudon et l'a utilisé pour des observations du Soleil. Il a été transporté en 1962 à l'Observatoire de Bordeaux. Les deux autres ont été installés à Marcoussis, au sud de Paris, où se trouvait un laboratoire de la Marine nationale. Seul l'un d'eux a été utilisé pour des observations du Soleil, puis pour faire avec plusieurs

collègues une carte de la Voie lactée radio, à 30 cm de longueur d'onde (ce fut mon travail de diplôme d'études supérieures en 1954-1955). La résolution était meilleure que celle de la carte de Reber, et on y voit nettement des sources discrètes d'onde radio. Nous ignorions à l'époque l'origine du rayonnement radio de la Voie lactée et de ses sources, car nous ne savions pas que l'astronome soviétique Iosif Shklovskii (1916-1985) avait suggéré en 1949 que le mécanisme synchrotron (l'émission d'électrons de très haute énergie dans un champ magnétique) pouvait rendre compte de l'émission de certaines radiosources, mécanisme étendu en 1950 à la Voie lactée dans son ensemble par l'allemand Karl Otto Kiepenheuer (1910-1975) : aucun d'entre nous n'avait de connaissances en astronomie, et nous n'étions guère au courant de la littérature spécialisée.

En 1953, Rocard voulait de la place dans son laboratoire pour de nouvelles activités, et André Danjon (1890-1967), qui dirigeait l'Observatoire de Paris et en fait toute l'astronomie française, accueillit à Meudon le groupe de radioastronomie et créa avec

l'ENS une station de radioastronomie dans un lieu à l'abri des parasites industriels, déjà gênants à l'époque. Ce fut la station de Nançay, près de Vierzon dans le Cher, dont le terrain acheté en 1954 appartient toujours à l'ENS, et les installations au CNRS et à l'Enseignement supérieur. On y transporta progressivement les instruments de l'ENS et de Marcoussis et on en construisit d'autres, dont un grand interféromètre pour l'étude du Soleil, mis en service en 1956 (figure 4). Quant aux deux würzburgs de Marcoussis, ils y furent aussi transportés en 1955, montés en équatorial et rendus déplaçables sur une longue voie ferrée, de façon à en faire un interféromètre à deux antennes mobiles (figure 5).

C'est grâce aux observations faites avec cet instrument que j'ai soutenu en 1962 ma thèse de doctorat, commencée en 1959 à mon retour d'un long service militaire qui m'avait cependant laissé le temps d'écrire avec Jean-Louis Steinberg un petit traité de radioastronomie qui, traduit en anglais et en russe, fut utilisé par la plupart des jeunes radioastronomes de l'époque.

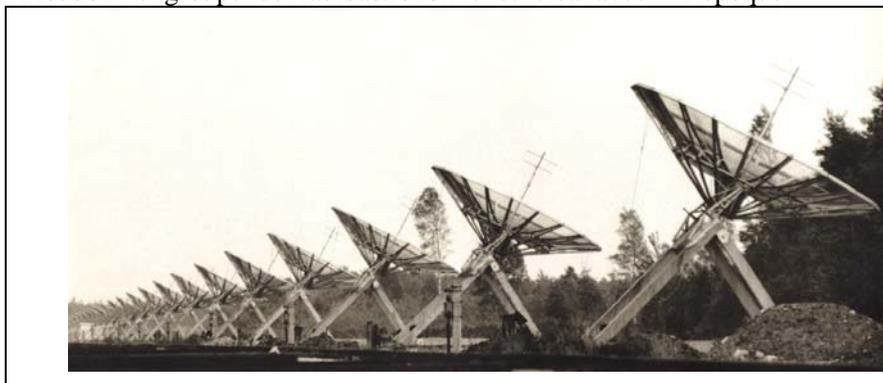


Fig.4. Le grand radio-héliographe de Nançay, état en avril 1957. Il comportait 32 antennes de 5 m de diamètre espacées de 50 m dans la direction est-ouest, auxquelles se sont ajoutées en 1960 8 antennes de 10 m dans la direction nord-sud. Cet instrument profondément modifié est utilisé aujourd'hui pour obtenir des images instantanées du Soleil radio.



Fig.5. Les deux antennes de l'interféromètre à base variable de Nançay. Ce sont des antennes de radar Würzburg placées sur une monture équatoriale, dont l'axe de rotation est parallèle à celui de la Terre, ce qui permet de suivre le mouvement diurne des sources avec un seul mouvement lent.

L'interféromètre à deux antennes fut le premier instrument non solaire de Nançay. Il permit de cartographier 15 radiosources galactiques et 25 extragalactiques, dont la structure double que certaines présentent fut découverte. Mais il dut être abandonné en 1963 face à la concurrence d'interféromètres étrangers plus sensibles

Le grand radiotélescope

Cependant, les radioastronomes français rêvaient dès 1953 d'un grand instrument pour étudier les galaxies dans la raie 21 cm de l'hydrogène atomique, découverte deux ans auparavant. Plusieurs grands radiotélescopes étaient en construction à l'étranger, et la période était favorable pour obtenir en France les fonds nécessaires. Deux concepts s'affrontaient : un interféromètre à deux antennes mobiles de l'ordre de 25 m de diamètre, un projet défendu par Steinberg, ou une antenne unique inspirée du radiotélescope de l'Ohio State University, défendue par Denisse. C'est ce dernier concept qui fut choisi en 1955 : l'interféromètre à deux würzburgs peut être compris comme un lot de consolation pour les tenants de l'interférométrie. Le financement du grand radiotélescope était acquis en 1957, et sa construction a commencé en 1959 ; en 1962, la première partie – 1/5 de l'instrument – était terminée, mais un important problème fut découvert : la compagnie responsable de la construction avait certes réalisé une bonne structure, mais elle était incapable d'en assurer le pointage vers les radiosources. Aussi quelques chercheurs, dont j'étais, ont dû d'atteler à une tâche à laquelle ils

n'étaient guère préparés avec l'aide de l'unique ingénieur du laboratoire. Finalement, l'instrument complet (figure 6) ne fut mis en service qu'en 1967, alors que nos homologues étrangers avaient déjà terminé leur grand instrument, en particulier les Australiens qui avaient réalisé dès 1961 le radiotélescope de 64 m de diamètre de Parkes, dont les performances étaient remarquables. Ceci eut des conséquences importantes :

- d'une part, Denisse, qui était devenu en 1963 directeur de l'Observatoire de Paris, créa en 1966 l'Institut National d'Astronomie et de Géophysique (INAG), dont le but premier était de réaliser les futurs grands projets dans de meilleures conditions ;

- d'autre part, certains chercheurs qui avaient sué sang et eau pour la réalisation du grand radiotélescope quittèrent temporairement ou définitivement le laboratoire (l'un d'eux, Michel Ginat, disparut en 1968 dans un accident de montagne), et d'autres se tournèrent vers de nouveaux projets.

Ceci n'empêcha pas le grand radiotélescope d'assurer ses missions, en particulier l'étude de l'hydrogène interstellaire dans les galaxies par la raie à 21 cm de l'hydrogène.



Fig.6. Le grand radiotélescope de Nançay. Il comporte un miroir plan mobile autour d'un axe est-ouest, formé de dix éléments, mesurant 200 × 40 m. Il envoie les ondes radio de la source vers le miroir concave fixe de 300 m × 35 m, qui les concentre sur des antennes situées entre les deux miroirs. Ces antennes se déplacent sur un chariot de façon à suivre l'image de la source pendant environ 30 minutes de part et d'autre de son passage au méridien.

La création de l'IRAM

Après l'achèvement du grand radiotélescope, certains chercheurs, dont j'étais, regrettaient toujours l'interférométrie ; j'avais d'ailleurs passé l'année 1968 au California Institute of Technology, où j'avais utilisé un interféromètre à deux antennes de 27 m de diamètre dont l'équivalent aurait pu avoir été construit à Nançay. Et une vive concurrence pour l'observation de la raie à 21 cm était en train d'apparaître avec l'interféromètre de Westerbork en Hollande (1970) et le Very Large Array américain, dont une partie

fonctionnait déjà. En outre le radiotélescope de 100 m de diamètre d'Effelsberg en Allemagne était en construction, pour être mis en service en 1972. Devant cette compétition, une partie d'entre nous considéra que le grand radiotélescope serait un jour dépassé et qu'il fallait s'investir dans un nouveau projet, ce que refusaient les autres. Il en résulta une scission dans le groupe de radioastronomie, qui devait s'officialiser en 1980.

Le nouveau projet serait un interféromètre pour les ondes millimétriques. À dire vrai, les motivations scientifiques étaient au début assez vagues, mais elles se sont concrétisées avec la découverte en 1970 de nombreuses molécules interstellaires émettant en ondes millimétriques. Un petit interféromètre millimétrique prototype était en construction à l'Observatoire de Bordeaux depuis 1967, et fonctionnait en 1973 de façon très satisfaisante. Il fallait maintenant aux promoteurs – principalement Blum, Pierre Encrenaz et moi – faire accepter le projet aux autorités. Or les Allemands avaient de leur côté un projet de grande antenne en ondes millimétriques ; comme l'heure était à la collaboration franco-allemande, nous avons été priés de collaborer, ce qui avait d'ailleurs un sens car les deux instruments auraient été bien complémentaires. Après de nombreuses péripéties qu'il serait trop long de raconter ici, le projet commun a abouti en 1980 sous la forme de l'Institut de RadioAstronomie Millimétrique (IRAM), dont le siège est à Grenoble, avec un radiotélescope de 30 m en Espagne sur la Sierra Nevada près de Grenade, et un interféromètre à 4 antennes de 15 m de diamètre au plateau de Bure, près de Gap. L'Espagne s'est jointe au projet en 1990.

Et aujourd'hui ?

Finalement nous étions trop pessimistes : le grand radiotélescope, muni d'une antenne focale et de récepteurs très performants, est toujours en service ; son programme scientifique principal porte sur le chronométrage des pulsars. Les instruments de l'IRAM sont en plein essor : le radiotélescope de 30 m est le meilleur instrument de ce genre dans le monde, et l'interféromètre du plateau de Bure est le plus grand de l'hémisphère nord en ondes millimétriques, avec ses 7 antennes de 15 m dont on espère porter le nombre à 12 dans quelques années. Il aura alors 1/3 de la surface du géant mondial de l'hémisphère sud, le Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), ce qui est loin d'être négligeable. Ainsi le petit groupe créé en 1957 dispose aujourd'hui de moyens d'observations dont il n'aurait jamais rêvé au départ. ■