

ETOILES A NEUTRONS ET PULSARS  
LA DECOUVERTE DES PULSARS

Jusqu'en 1967, une étoile à neutrons était un objet purement théorique qui allait recevoir une éclatante confirmation avec la découverte des pulsars. A la fin de 1967 une étudiante de 3ème cycle, Jocelyn Bell, découvrit une anomalie dans les enregistrements d'un nouveau radiotélescope destiné à l'étude de la *scintillation* de certaines radiogalaxies.

L'atmosphère terrestre est en mouvement permanent et comporte des fluctuations constantes, notamment de densité. Ces fluctuations de densité engendrent des fluctuations d'indice de réfraction qui sont la cause essentielle de la scintillation apparente des étoiles. Dans le vide, au-delà de notre atmosphère, les étoiles ne scintillent pas. Cependant le milieu interstellaire contient de vastes nuages de particules ionisées dont la densité fluctue également. Il en résulte non pas une scintillation du rayonnement visible de l'étoile, mais du rayonnement émis dans le domaine radio. Une radiosource de taille suffisamment petite semble alors scintiller à ces longueurs d'onde. On peut objecter que le milieu interstellaire est quasiment vide et qu'il ne saurait donc y avoir de telles fluctuations. Il faut toutefois se souvenir que les distances parcourues par le rayonnement provenant d'étoiles sont infiniment plus grandes que celles effectuées dans l'atmosphère de sorte que, même si la densité est plus faible, le rayonnement interagit avec un nombre appréciable d'ions, de molécules et d'électrons et la scintillation a bien lieu.

Parmi ces milieux ionisés (qu'on appelle des "plasmas") interstellaires, il en est un qui entoure le Soleil et qu'on appelle le "vent solaire". Il est donc particulièrement important de l'étudier et l'on s'attend, entre autre, à ce que le phénomène de scintillation (pour les ondes radio) soit négligeable la nuit. Or, c'est précisément la nuit et aux mêmes heures qu'étaient enregistrés des signaux semblant provenir d'un point déterminé de l'espace.

Toutefois, le phénomène était si étrange qu'avant de conclure à l'existence d'une radiosource d'un type nouveau, il était nécessaire d'éliminer toutes les sources possibles d'interférences parasites dues à des causes tout à fait terrestres et normales tels que des circuits d'allumage mal isolés de véhicules passant à proximité, des lignes téléphoniques, des radars ou plus simplement des interférences dans l'appareillage électrique utilisé. Une à une toutes les causes "terrestres" possibles étaient éliminées par l'équipe de A. Hewish: le phénomène insolite remarqué par J. Bell était bien dû à une radiosource d'un type nouveau.

A priori, les émissions périodiques du premier pulsar découvert étaient si étonnantes qu'un moment A. Hewish et ses collaborateurs ont pu penser faute d'autres explications qu'il s'agissait là de signaux envoyés dans l'espace par une civilisation d'extra-terrestre. *"Ceci montrait que la source était de dimensions planétaires et la possibilité que ces signaux puissent provenir d'une civilisation extra-terrestre ne pouvait plus être ignorée"* (A. Hewish). Néanmoins le groupe de Cambridge vérifia rapidement que cette source radio ne possédait pas de mouvement orbital de type planétaire: il est en effet difficile d'imaginer des extra-terrestres habitant une étoile, siège de violentes réactions nucléaires, et seule une planète peut contenir la Vie. En outre, d'autres radiosources analogues étaient découvertes rapidement et cette séduisante hypothèse était abandonnée... sauf à titre de plaisanterie à usage interne puisque les premiers pulsars furent baptisés LGM1, LGM2, ...: LGM pour "Little Green Men" = "Petits Hommes Verts". Malheureusement le manque de prudence du groupe de Cambridge fit que l'"information" filtra à l'extérieur et que la presse à sensation annonça la découverte d'extra-terrestres à grand renforts d'hypothèses et de commentaires fantaisistes.

Ce que l'on observe.

Ce qui caractérise avant tout les pulsars, c'est une émission radio pulsée d'une remarquable stabilité, de l'ordre de celle des meilleures horloges à quartz: les im-

pulsions observées se répètent avec une précision d'un cent millionième ! Ces périodes vont de 33 millisecondes pour le pulsar du Crabe (la plus courte période et le pulsar le plus récent) à 4,3 secondes. Ces impulsions possèdent des formes très diverses, aléatoires, d'une période à l'autre. Pour chaque pulsar, on peut obtenir une impulsion-type en effectuant une moyenne sur les impulsions successives de manière à éliminer le "bruit". Cette impulsion-type constitue en quelque sorte la "signature" d'un pulsar. Ces impulsions-type présentent une très grande diversité. Certaines possèdent une structure double.

Dans tous les cas ces profils moyens sont extrêmement stables. Si l'on augmente la résolution temporelle avec laquelle on analyse chacune des impulsions, on trouve une structure plus fine et quasi-périodique: ces micro-impulsions possèdent typiquement des échelles de temps de 10 à 100 microsecondes. Une autre caractéristique importante de ce rayonnement pulsé est son importante polarisation linéaire et, à un moindre degré, circulaire, ce qui indique la présence de champs magnétiques intenses.

Bien que les pulsars émettent surtout dans le domaine des longueurs d'ondes radio certains, comme le pulsar du Crabe, émettent également un rayonnement pulsé avec naturellement la même période que le rayonnement radio, dans les domaines visibles, X et gamma.

De manière générale, les spectres de ces rayonnements sont des lois de puissance qui comportent quelques fois deux branches (ce qui signifie que l'intensité du rayonnement émis est une puissance négative de la fréquence).

L'analyse détaillée des rayonnements des pulsars montre également le phénomène très important (voir plus loin) de l'accroissement au cours du temps de la période. Typiquement, pour un pulsar ayant une période d'une seconde, la variation de cette période pendant une seconde est de l'ordre de  $10^{-15}$  s (voir tableau ci-dessous).

Tableau B: périodes et ralentissement de quelques pulsars

Pulsar	période (en seconde)	accroissement de la période par seconde
CP 0834	1,2737631515	$(5,0 \pm 0,8) \times 10^{-15}$
CP 0950	0,2530650372	$(0,3 \pm 0,1) \times 10^{-15}$
CP 1133	1,1879109795	$(4,1 \pm 0,5) \times 10^{-15}$
CP 1919	1,337301109	$(1,1 \pm 0,5) \times 10^{-15}$
NP 0532 (Crabe)	0,03309114	$3,5 \times 10^{-13}$

Enfin, dernier phénomène important concernant les pulsars, on observe pour quelques uns d'entre eux (le Crabe, Vela, etc...) de brusques accélérations de la période pendant quelques jours puis un retour à la situation antérieure. Ces accélérations, totalement imprévisibles, sont très intéressantes dans la mesure où elles peuvent probablement fournir des indications sur l'intérieur des étoiles à neutrons.

Les pulsars, dont près de 400 ont été observés à l'heure actuelle, sont des objets galactiques dont on peut estimer les distances grâce aux mesures de dispersion des signaux émis aux diverses fréquences. Du fait de l'existence du plasma interstellaire, les grandes longueurs d'onde sont observées plus tard que les courtes et cette différence entre les temps d'arrivée dépend à la fois de la distance parcourue par le signal et de la densité d'électrons dans le plasma. Celle-ci peut être estimée et donc la distance à laquelle se trouve le pulsar observé. Dans certains cas, (le pulsar du Crabe par exemple) ces estimations peuvent être heureusement corroborées par des mesures indépendantes.

En général, on ne peut pas évaluer la masse d'un pulsar, sauf dans le cas où celui-ci fait partie d'un système binaire; autrement dit, lorsqu'il orbite autour d'une autre étoile. Dans ce cas, les caractéristiques de la trajectoire (période, longueur du grand axe) permettent de connaître la masse moyenne des objets du système et donc d'estimer la masse du pulsar (troisième loi de Kepler).

(... à suivre) Rémi Hakim