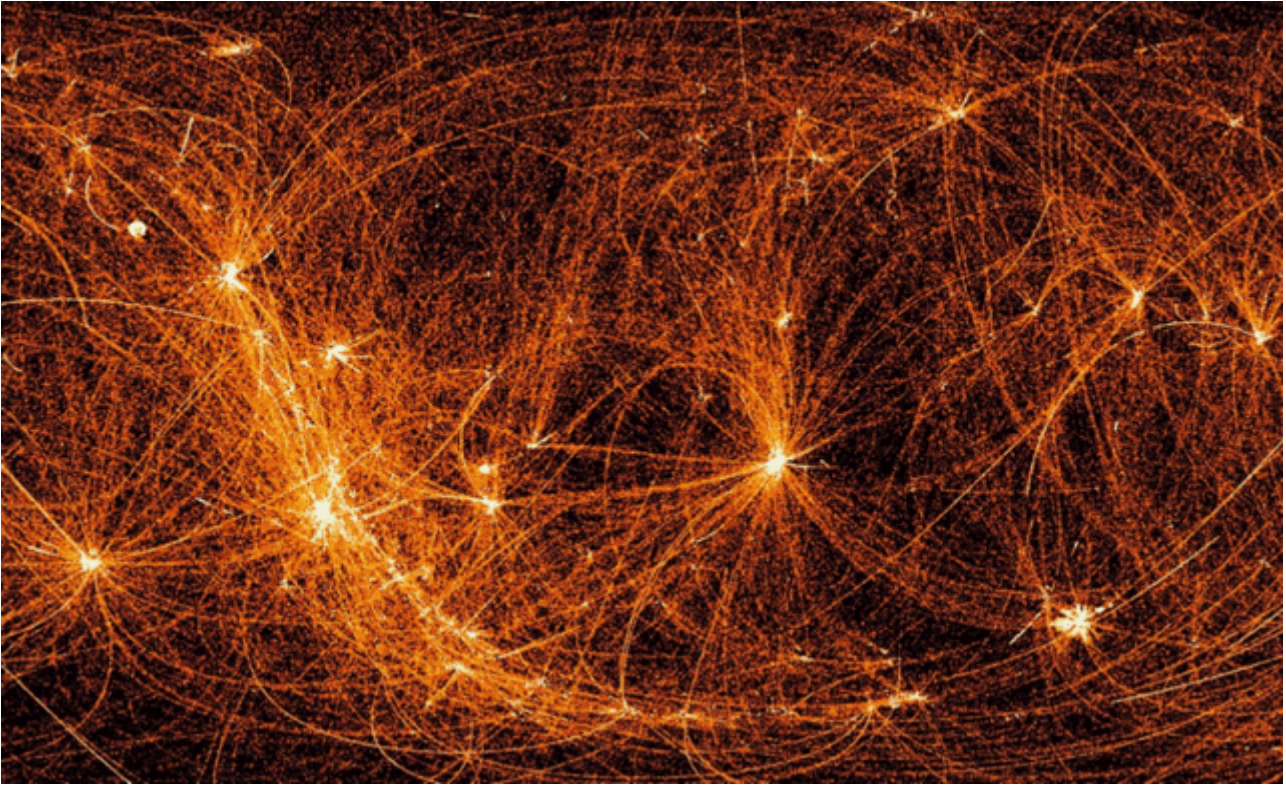


# La danse des pulsars

écrit par Professeur Tetenlair | 21 juillet 2021



*La photo ci-dessus montre les différentes trajectoires des pulsars à haute énergie dans le ciel, qui émettent des rayons X et que Nicer a captées après 22 mois d'observation et diffusées le 30/05/2019. NASA*

***La danse  
des  
pulsars***

Bon, soyons clairs ! Cet article est un peu technique. Je sais que cette rubrique doit rester simple car elle a une vocation de vulgarisation. Mais des fois...on y arrive pas toujours...comme

aujourd'hui !

Pour comprendre cette extraordinaire photos, il faut que quelques notions simples soient précisées.

### Qu'est-ce qu'une étoile ?

Outre un point lumineux visible la nuit dans le ciel, une étoile est un corps céleste au sein duquel ont lieu des réactions dites de fusions nucléaires. Ce sont ces réactions qui libèrent de l'énergie sous forme de [photons](#), et donc de lumière. Tu te doutes bien, ma frangine, qu'il s'agit là d'une énorme quantité d'énergie.

Une étoile, c'est une boule de gaz très chaude : plusieurs millions de degrés au centre (température qui est suffisante pour déclencher les réactions nucléaires), et plusieurs milliers de degrés en surface.

Dans une étoile, l'équilibre est obtenu entre deux forces opposées : la pesanteur précipite la matière vers le centre alors que la pression repousse cette matière.

Il existe de nombreux types d'étoiles, mais on va la jouer simple, on va pas détailler ici.

### Comment naît une étoile ?

Les étoiles naissent à l'intérieur de [nébuleuses](#), nuages de gaz et de poussière, qui peuvent être obscures ou brillantes. Ces [nébuleuses](#) sont réparties dans l'espace interstellaire des [galaxies](#). Leur matière se condense sous l'effet de la gravité.

Lorsqu'un nuage s'effondre sur lui-même sous l'effet de sa propre [gravité](#), la matière se contracte et forme un ou plusieurs noyaux. Chaque noyau, sous l'action de la compression, devient de plus en plus chaud. À partir de 10 millions de degrés commencent des réactions de fusion nucléaire. Se dégage alors une telle énergie que l'étoile

naissante cesse de se contracter, atteint un état d'équilibre stationnaire et se met à briller.

La formation des étoiles est un processus long qui dépend de la masse de l'étoile, un million d'années pour une grosse étoile à un milliard d'années pour une petite. Ce processus est aussi intéressant puisqu'il s'inscrit dans la continuité. Les vieilles étoiles fournissent la matière et l'élément déclenchant en explosant. L'univers assure ainsi sa pérennité en créant sans arrêt de nouvelles étoiles pour remplacer les mourantes.

### **Comment vit une étoile ?**

Dans les premiers stades de sa vie, l'étoile brûle l'hydrogène qui la compose au départ en le transformant en hélium. Plus sa masse est importante, plus la combustion est rapide. Elle va trouver un équilibre entre la [gravité](#) qui la comprime et la fusion de son cœur qui ne demande qu'à exploser. Notre [soleil](#) est un bel exemple d'étoile à l'âge adulte. Elle dure environ dix milliards d'années pour une étoile de la masse du soleil.

### **Comment meurt une étoile ?**

La durée de vie des étoiles est limitée. Durant leurs vies, elles transforment tout leur hydrogène en hélium, puis quand l'hydrogène est épuisé, c'est au tour de l'hélium de se consumer. Ceci dure plusieurs milliards d'années. Arrivé à ce stade, le noyau de l'étoile s'effondre (effondrement [gravitationnel](#)) sur lui-même en s'échauffant et l'atmosphère qui l'entoure se dilate en refroidissant. L'étoile grossit progressivement alors pour devenir, ce que les astronomes appellent, une géante rouge qui peut atteindre de cinquante à cent fois sa taille d'origine.

Selon leur masse initiale, elles mourront ensuite discrètement en naines blanches ou de façon spectaculaire en supernova ; dans ce second cas leur agonie peut même les

conduire au stade de trous noirs. Ton humble serviteur a consacré un article complet sur Résistance Républicaine concernant les supernovas que tu peux lire (ou relire) en [cliquant ici](#).

### ▪ **Naines blanche et naine noire**

Une naine blanche est l'astre le moins massif résultant de l'effondrement [gravitationnel](#). C'est le coeur d'une étoile géante rouge qui a épuisé son carburant stellaire, et s'est rétréci sous l'effet de la gravité alors que son atmosphère, très instable, se dilue dans l'espace. Ainsi, l'effondrement gravitationnel est stoppé par une pression interne des atomes mêmes de l'étoile, qui sont tassés au maximum ; c'est la pression de dégénérescence. À ce moment, les électrons dégénérés exercent une pression qui peut être suffisante pour stopper la gravité, mais seulement si le coeur a une petite masse. La naine blanche continue alors à briller, mais aucune réaction thermonucléaire ne sévit en son coeur : c'est une **étoile morte**, que seule sa chaleur maintient visible. Lorsqu'elle s'est refroidie, elle devient une masse compacte de matière très difficile à détecter. Elle est alors maintenue en équilibre par la pression de dégénérescence, parfois éternellement.

Parfois le noyau refroidit jusqu'à s'éteindre et mourir. On parle alors de naine noire

### ▪ **Etoiles à neutrons, appelées [pulsars](#)**

Les étoiles les plus massives explosent : leur noyau se contracte brutalement, le reste de l'étoile est expulsé dans l'espace. Il s'agit d'une explosion appelée [supernova](#), très brillante. Une fois l'explosion terminée, le noyau continue à se concentrer et devient une étoile à neutrons, appelé aussi pulsar. Les noyaux les plus massifs deviennent sans doute tellement denses que la gravitation absorbe tout, y compris la lumière : des trous noirs.

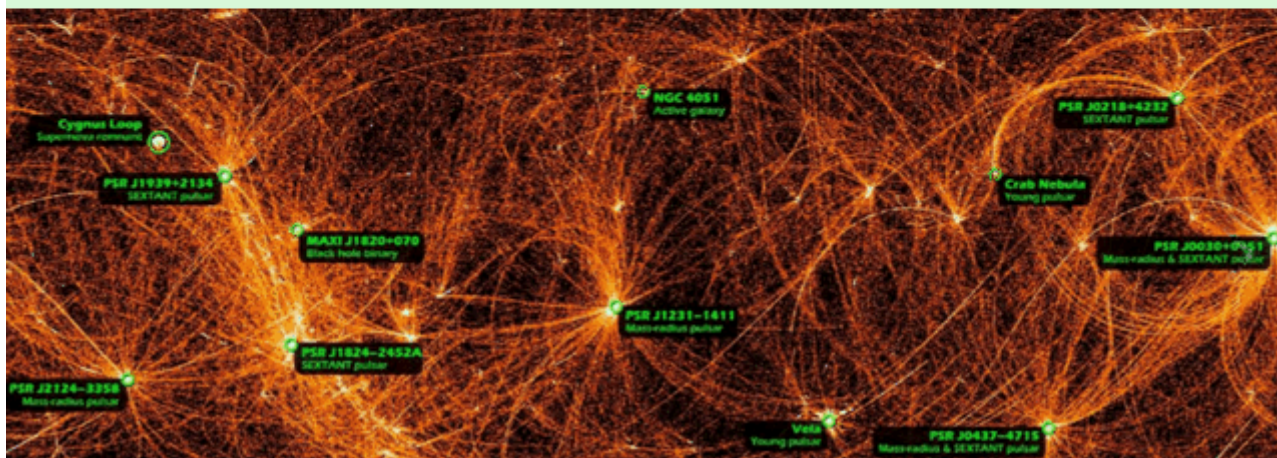
## **Précisions supplémentaires : étoile à neutrons (pour les passionnés !)**

*Pour des étoiles dont la masse est supérieure à  $\sim 8$  masses solaires, on assiste à la formation, durant la Séquence Principale, d'éléments plus lourds par fusion nucléaire. Ces étoiles empruntent un chemin évolutif légèrement différent des étoiles plus légères, celui des supergéantes rouges.*

*Lorsque la pression de dégénérescence, force qui maintenait les naines blanches en équilibre, est insuffisante pour contenir l'effondrement gravitationnel de l'étoile, les atomes eux-mêmes, déjà poussés à leur limite, n'en peuvent plus : ils cèdent. Il se produit alors un phénomène tout à fait extraordinaire : les électrons, ne pouvant résister à une telle pression, pénètrent à l'intérieur des atomes, et s'annulent en rencontrant les protons, créant ainsi un paquet de neutrons. Tous ces atomes, après un tel procédé de neutronisation, se sont transformés en une mer de neutrons. Bien vite, la gravité reprend le dessus et comprime ceux-ci jusqu'à leur limite : il se passe alors un phénomène de dégénérescence, similaire à celui des électrons. À leur tour, les neutrons exercent une pression, et peuvent être en mesure de contraindre la force de gravité, tant que la masse de l'étoile est inférieure à une certaine masse limite. Plusieurs phénomènes intéressants se produisent alors.*



*Cette image de tout le ciel montre 22 mois de données en rayons X enregistrées par Nicer. Certaines sources sont des étoiles à neutrons, d'autres des trous noirs (black hole). Les lignes que l'on voit proviennent du fait que Nicer effectue des mouvements périodiques pour se pointer vers des sources X bien précises, ce qui laisse les traces de ces mouvements © NasalNicer*



Maintenant que tu as lu ce qui précède, voici l'explication de la photo de la NASA (ci-dessus)

La photo a été prise à l'aide de l'appareil nommé "Neutron Star Interior Composition Explorer" (Nicer), très sensible aux rayons X. C'est grâce à ces rayons X (invisibles à l'œil nu) de ces « vestiges d'étoiles » que sont les [pulsars](#) que cette photo a pu être constituée. Nicer est situé à bord de la Station Spatiale Internationale (ISS), la photo a été capturée sur une période de 22 mois.

Cette photo montre des étoiles à neutron qui sont donc, comme vu ci-dessus, les vestiges d'une étoile après son explosion. Les étoiles à neutron, autrement appelées pulsars, émettent une lumière très visible en tournant sur elles-mêmes. Cette lumière est ensuite captée par Nicer (voir ci-dessus), donnant le rendu visible sur l'image publiée par la NASA.

L'image nous permet d'observer les différentes trajectoires des particules à haute énergie dans le ciel, qui émettent des

rayons X et que Nicer a donc pu capter après 22 mois d'observation.

Tout va bien, mon cousin, tu suis ?

### **Comment Nicer a-t-il fait pour capter tout ça ?**

Chaque jour, perché à l'extérieur de la Station spatiale internationale, Nicer capte différentes sources de rayons X en faisant le tour de la Terre. Ces mouvements d'une source à l'autre forment des arcs lumineux. Les points qui se démarquent particulièrement sont ceux que Nicer observe avec le plus de fréquence ou sur lesquels il a passé plus de temps. Le rayonnement intense capté par l'instrument de la Nasa est celui émis par les vestiges d'une ancienne étoile qui a explosé, les étoiles à neutrons.

L'étoile à neutrons est donc une étoile dont le cœur s'est effondré, une étoile morte, un objet très dense (la masse du Soleil pour quelques kilomètres de diamètre, plusieurs centaines de tonnes pour une cuillère à café). Le spectroscope Nicer est chargé, depuis 2017, d'étudier l'intérieur de ces étoiles à neutrons afin de mesurer leur diamètre avec une précision d'environ 5 %. Certaines de ces étoiles à neutrons, appelées donc pulsars, émettent une pulsation en tournant très vite sur elles-mêmes et émettent un faisceau capté aujourd'hui par Nicer.

### **GPS de l'espace ?**

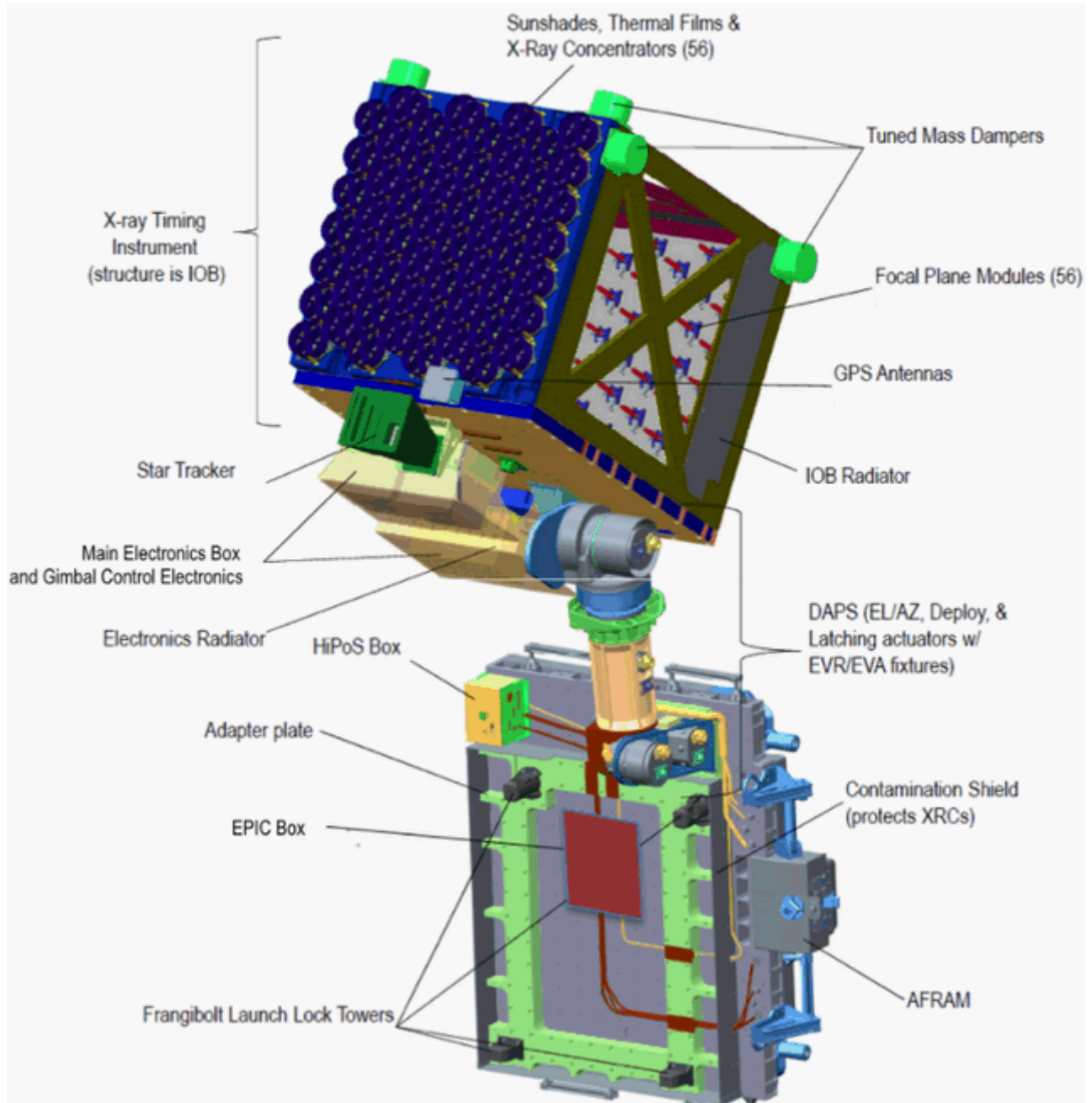
Enfin, Nicer possède un instrument baptisé Sextant pour Station Explorer for X-ray Timing and Navigation Technology qui permet d'identifier précisément en rayons X des pulsars connus. On sait que ces étoiles à neutrons pulsantes sont de véritables phares radio dans l'espace interstellaire. Ce sont aussi d'excellentes horloges très stables, et cela fait seulement quelques années que l'on est capable de construire des horloges atomiques plus stables que ces objets naturels. On peut donc s'en servir comme de

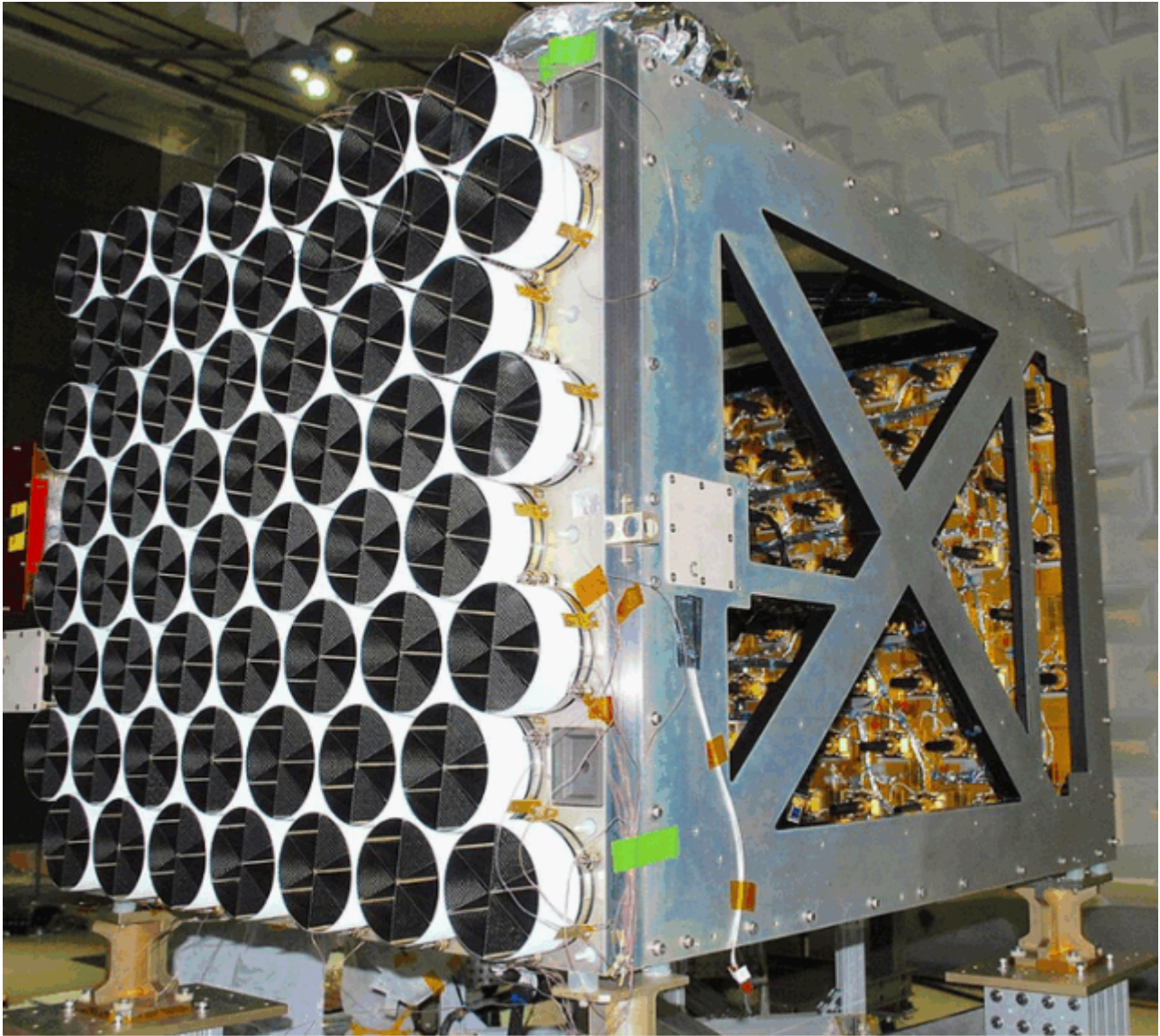
balises pour s'orienter dans l'espace et naviguer dans le Système solaire de façon autonome. Ainsi, Sextant permet de travailler à la réalisation d'une sorte de GPS avec les pulsars pour les futures missions interplanétaires.

De fait, dès les années 1970, on savait que l'on pouvait s'en servir pour se localiser dans la Voie lactée, c'est pourquoi la position de la Terre a été indiquée par rapport aux pulsars sur la fameuse plaque en or d'une des sondes Pioneer et sur le célèbre Golden Record des sondes Voyager.



Pour figurer le tout, je te présente Nicer :





*Nicer sans les couches d'isolants thermiques*

**C'EST PAS BEAU, TOUT ÇA ?**

Bon, la semaine prochaine, on replonge dans plus simple, c'est promis !!!

Bonne semaine

Bye bye

Professeur Têtenlair