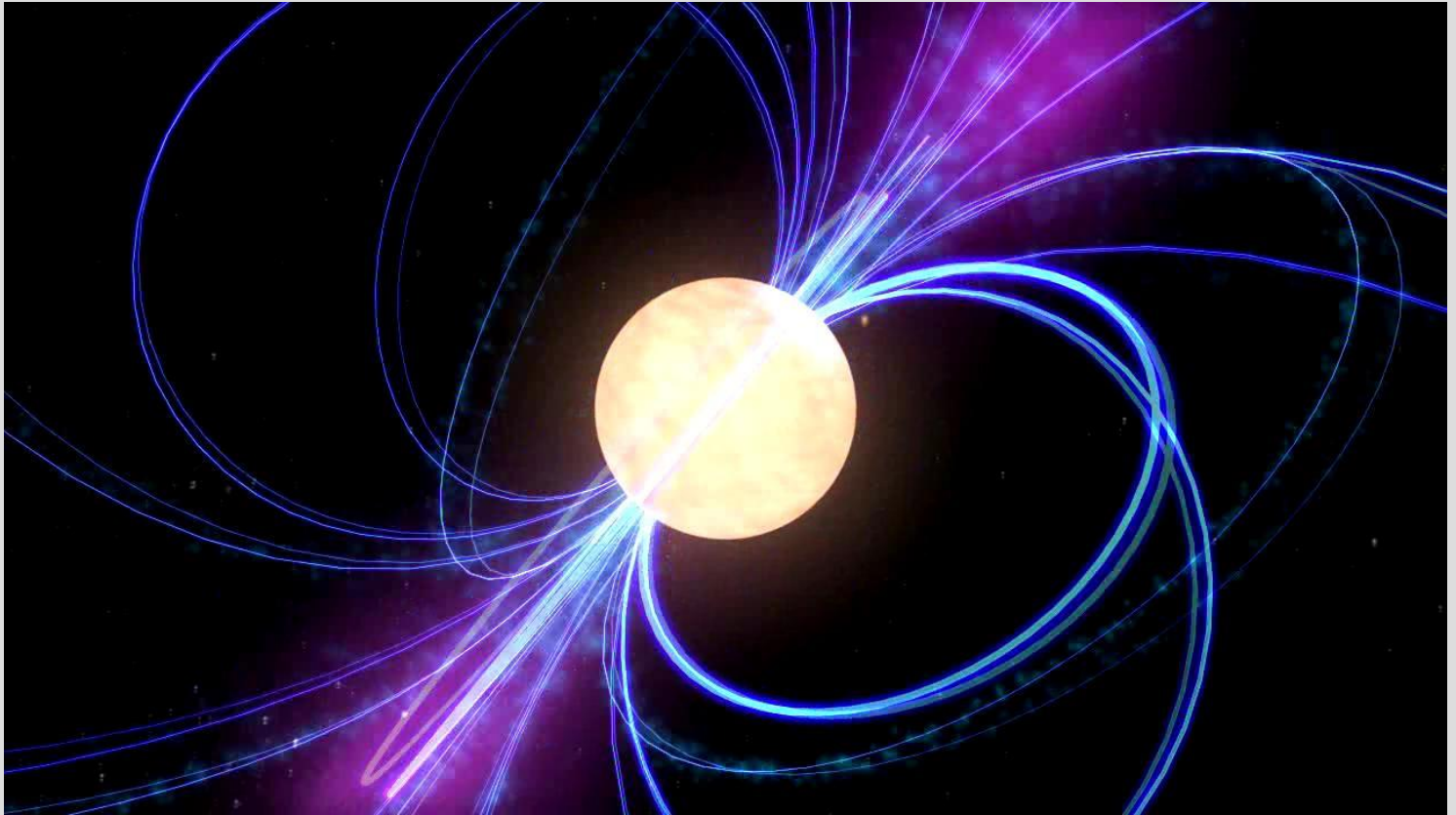


Etoiles à Neutrons



Astronomie - Club Randonneurs des Etoiles
rev.2 - 2025 - Alain LIGAIRE



Intro

Cet exposé fait partie d'une trilogie :

- 1) **“ Evolution finale des étoiles “**
- 2) **“ Les étoiles à neutrons “**
- 3) **“Les trous noirs “**

Références

- Sites de la NASA et de l'ESA
- Livre, ' Le destin de l'Univers - Trous noirs et énergie sombre ' , de Jean-Pierre Luminet édition Folio, 2006. Chapitre 7 - Pulsars
- Document 'Les étoiles à neutrons' – Fabrice Mottez – Observatoire de Paris – 2007
- Documents CEA Saclay, CNRS



J-P Luminet



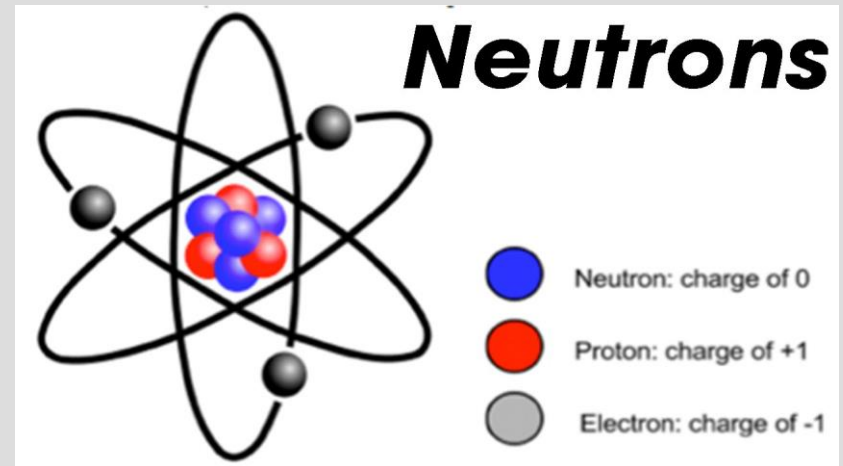
F. Mottez



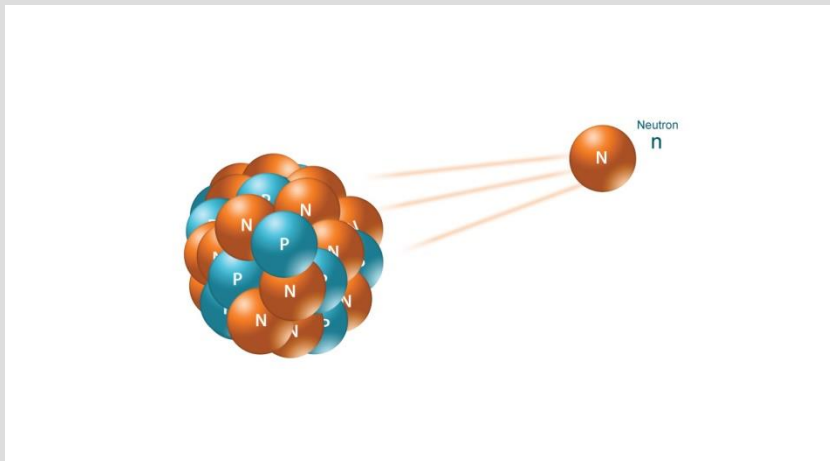
Sommaire ‘ Etoiles à neutrons ’

- Historique en 5 points (*la danse des prix Nobel*)
- Formation & structure des étoiles à neutrons
- Des étoiles à neutrons aux pulsars et aux magnétars
- Observations
 - Les radiotélescopes
 - Pulsar nébuleuse du crabe
 - Magnétar SGR 1806-20
 - Magnétar SGR 1830-0645 vu de l'ISS (animation NICER NASA)
 - Sursaut gamma GRB 221009A – la fin d'une étoile massive

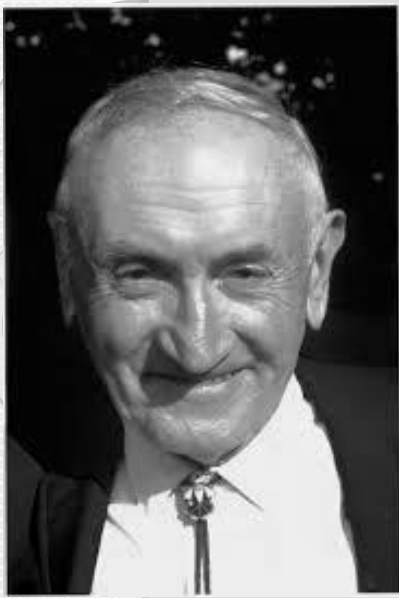
Historique - I



Le neutron est découvert en laboratoire, université de Cambridge, en 1932 par James Chadwick (prix Nobel en 1935)

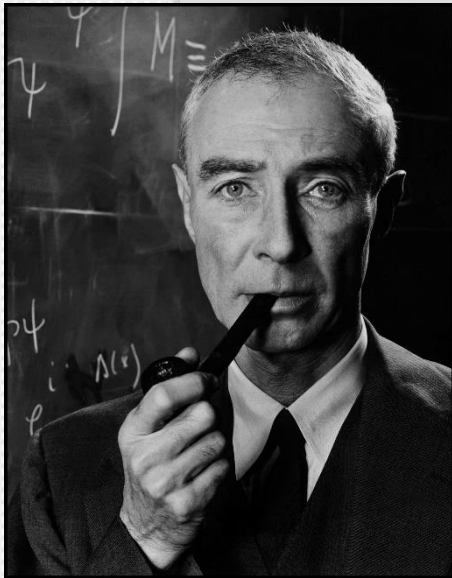


Historique - II



Fritz Zwicky

En 1934, Walter Baade et Fritz Zwicky s'inspirant des naines blanches qui supportent leur propre poids grâce à la pression de leurs électrons dégénérés, avancèrent l'idée que les neutrons pouvaient exercer une pression dégénérée encore plus forte capable de supporter un cadavre stellaire plus massif (étoiles à neutrons).



Robert Oppenheimer

En 1939, Robert Oppenheimer et George Volkoff élaborèrent une véritable théorie des étoiles à neutrons .

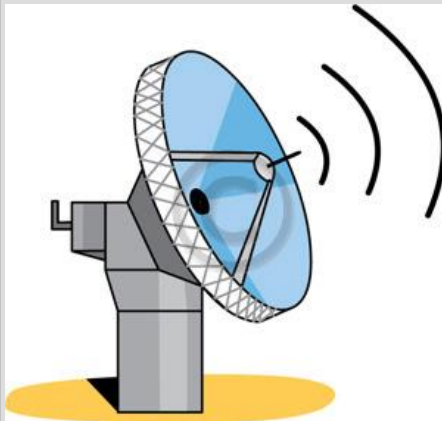
.....Mais toutes ces prédictions sont ignorées de la communauté scientifique

Historique – III

Le facteur déclenchant !



En 1967, Jocelyn Bell, jeune étudiante dans le laboratoire d'Anthony Hewish à Cambridge, est chargée de mettre au point des antennes radio capables de mesurer la scintillation de radiosources lointaines. Elle détecte un signal périodique d'une grande régularité en provenance de la constellation du Petit Renard. Le 1^{er} pulsar, baptisé PSR 1919+21 était découvert. Son maître de thèse recevra le prix Nobel de physique en 1974



D'autres pulsars seront découverts. La nature de ces astres émetteurs n'est pas immédiatement établie !

La presse mondiale réagit avec un courant 'OVNI et hommes verts !'



Historique - IV

En 1968, découverte d'un pulsar PSR B0531+21 au sein de la nébuleuse du Crabe M1 et d'un autre pulsar PSR B033-45 dans la nébuleuse des Voiles : => ***l'hypothèse de Baade et Zwicky est réactivée.***

Deux astrophysiciens , Franco Pacini et Thomas Gold , expliquent le phénomène des pulsars :

« **Etoiles à neutrons magnétisée et en rotation rapide** »

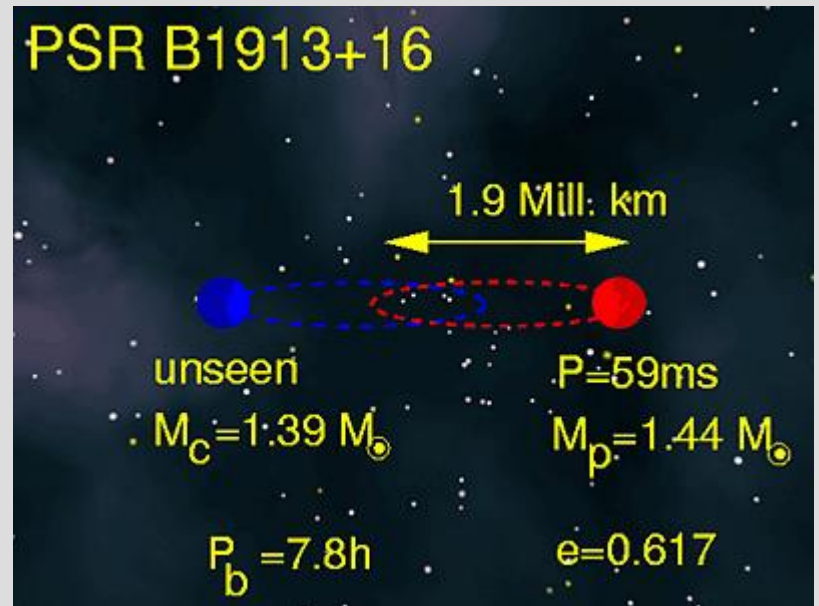
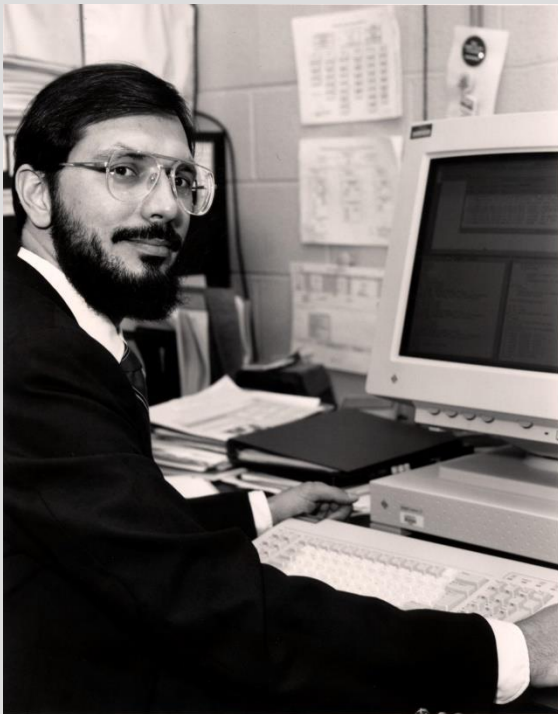
Nébuleuse du Crabe (Messier M1).

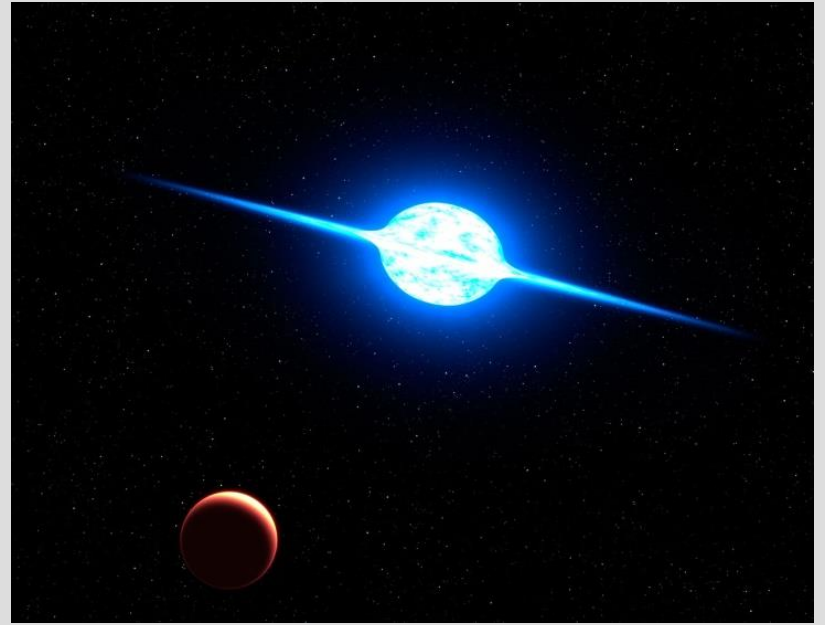
Cette image est la combinaison de données optiques de Hubble (en rouge) et de rayons X de Chandra (en bleu).



Historique - V

- En 1974, les radioastronomes Hulse et Taylor (USA) découvrent le pulsar binaire PSR B1913+16, qui est constitué d'un couple d'étoiles à neutrons (dont un pulsar).
- Ils utilisent ce 1er pulsar binaire pour faire des vérifications très précises de la relativité générale prédites par Einstein.
- Hulse et Taylor recevront le prix Nobel de physique en 1993.



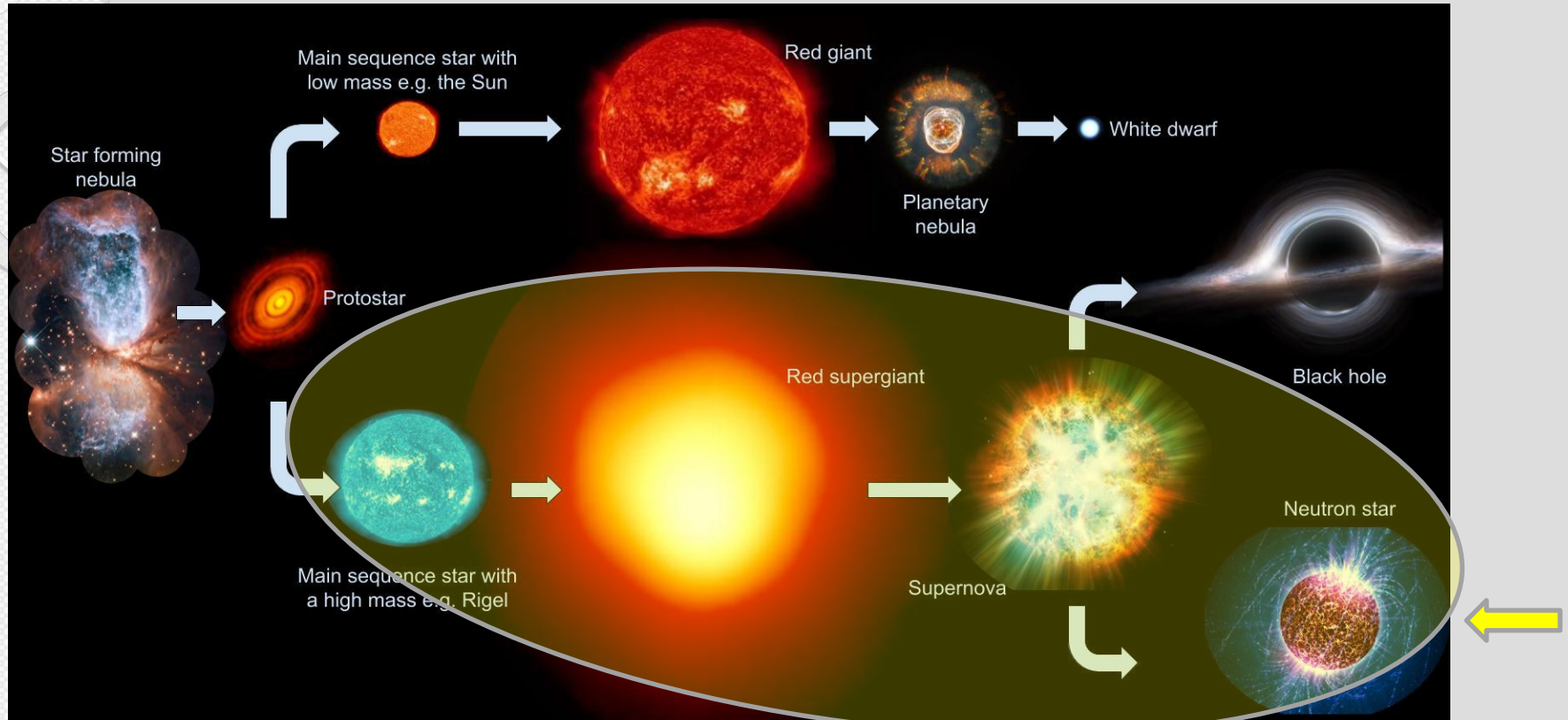


EVOLUTION STELLAIRE



**LA FORMATION DES ÉTOILES À
NEUTRONS**

Cycle de vie des étoiles



L'effondrement gravitationnel des étoiles les plus massives ($> 8 M_{\odot}$) conduit sous certaines conditions à la formation des étoiles à neutrons via le cycle :
Étoile massive - Géante rouge – Supernova - Étoile à neutrons

Examinons la dernière séquence : Supernova $\Rightarrow$ étoile à neutrons

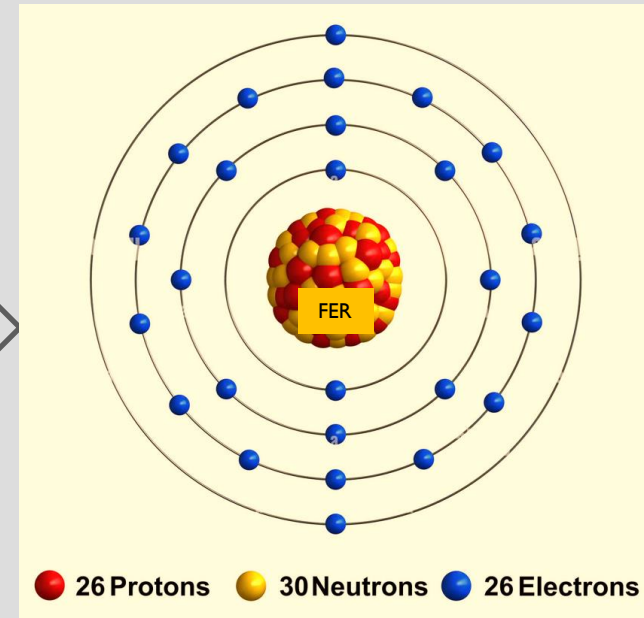
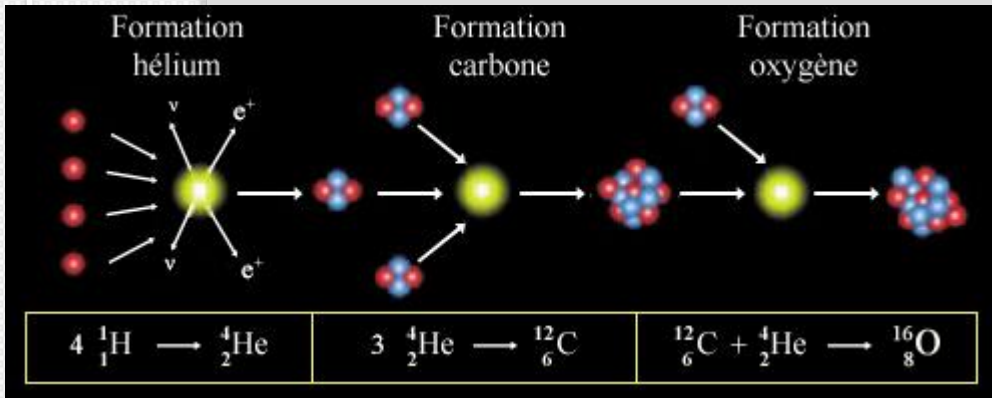
Supernova => étoiles à neutrons

Rappel : Une **supernova** est l'ensemble des phénomènes liés à l'explosion d'une étoile massive en fin de vie, qui s'accompagne d'une augmentation brève mais colossale de sa luminosité

Les étoiles à neutrons sont les résidus centraux des supernovas de type II et Ib/c (*supernovae dites à effondrement de cœur*).



Supernova => étoiles à neutrons



- La phase ultime de la vie d'une étoile massive commence après que son cœur de fer et de nickel s'est construit par phases successives de réactions de fusion nucléaire.
- Lorsque la masse critique dite de Chandrasekhar de ce cœur (env. 1,4 masse solaire) est atteinte, l'équilibre gravité – pression (*) est rompu. Le cœur se contracte et s'effondre sur lui-même.
- Une phase de neutronisation commence : les électrons des atomes de fer sont capturés par les protons transformant le cœur en une étoile à neutrons de 10-20 km de diamètre

(*) nota : il s'agit de la 'pression de dégénérescence des électrons', l'agitation thermique à cette phase est devenue insuffisante pour compenser la gravité.

Gravitation : Equilibre et effondrement

Objet	Gravité équilibrée par	Densité
Etoiles séquence principale Ex. : Soleil	Réactions thermonucléaires (fusion de l'hydrogène en hélium)	Moyenne : 1400 kg/m ³ Cœur : 150 000 kg/m ³
Naines blanches (<i>masse maxi</i> : 1,4 M_s)	Pression de dégénérescence Des électrons (1)	1 million de tonne / m ³ Soit 1 tonne / cm ³
Etoiles à neutrons (<i>masse maxi</i> < 3 M_s)	Interaction forte (2)	Cœur : 10 ¹⁴ tonnes/m ³ soit 100 millions de tonnes dans un dé à coudre

Rappel . Densité de l'eau sur terre : 1000 kg/m³.

(1) La matière est un plasma de noyaux sans liaisons et d'électrons. Les électrons y sont confinés dans un volume réduit selon la théorie quantique et résiste à toute compression extérieure supplémentaire en exerçant une pression interne colossale appelée 'pression de dégénérescence des électrons'.

2) C'est une force qui assure la cohésion des nucléons (ici les protons), elle agit à très courte portée, à l'échelle du noyau. Elle est répulsive lorsque les nucléons sont trop proches et attractive pour les distances plus grandes, de l'ordre de 1 femtomètre . Elle s'effondre lorsque la distance est de qq fm (env. 5 fm)

Structure interne :

la croisière des scientifiques s'amuse !

The Core of a Neutron Star

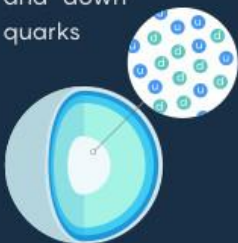
A neutron star's core is so dense that physicists aren't sure what happens inside. Researchers can't recreate the conditions in the lab, and even the theory of nuclear matter is of limited help. Here are some of the main ideas.

TRADITIONAL VIEW OF A NEUTRON STAR



QUARK CORE

Nucleons break apart into "up" and "down" quarks



HYPERON CORE

Nucleons made with "strange" quarks



KAON CORE

Two-quark particles with a single strange quark

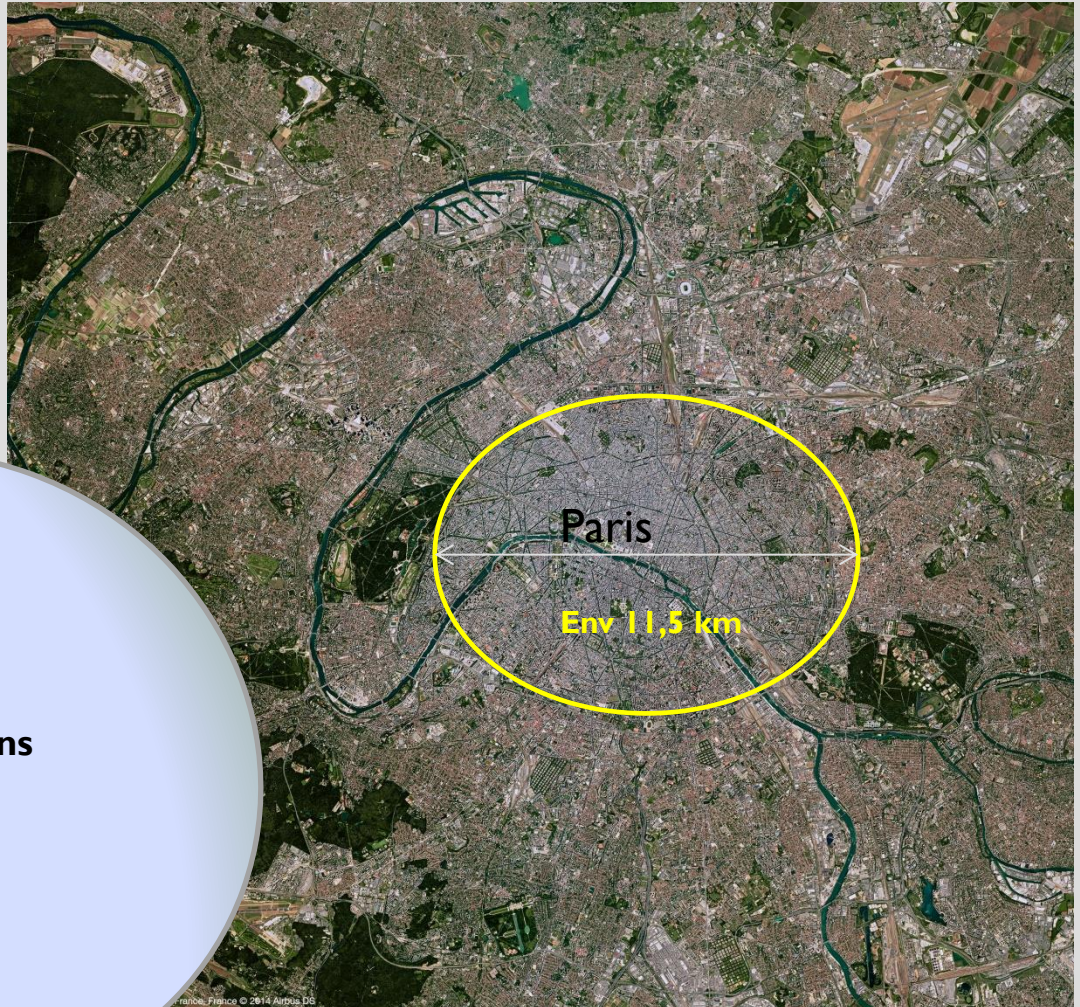
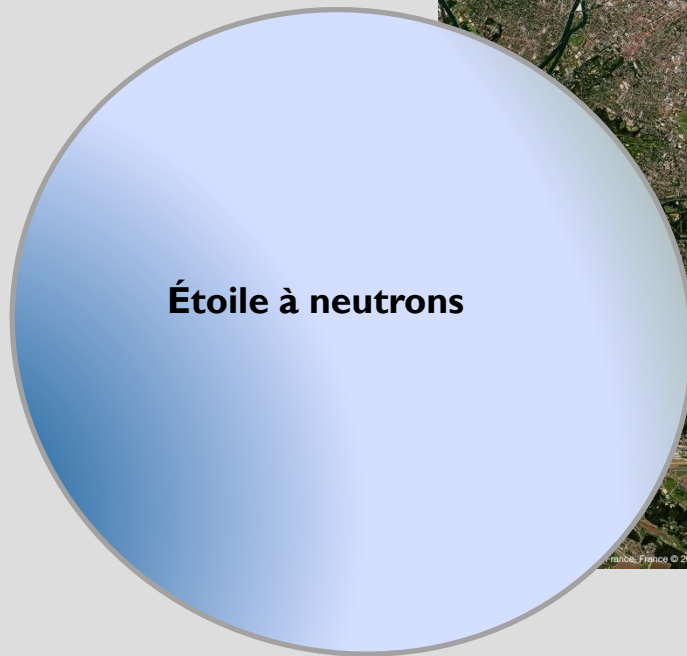


La composition interne fait l'objet de spéculations de la part des physiciens. En particulier la structure du noyau central (inner core) est inconnue car ces conditions extrêmes ne peuvent être précisément reproduites en laboratoire
(plusieurs scénarios en compétition)

Dimension d'une étoile à neutrons – Illustration

Une étoile à neutrons est l'objet le plus dense que les astronomes peuvent observer directement : environ 1,5 fois la masse du soleil dans une sphère de 20 km.

*Comparaison avec Paris
intra muros*

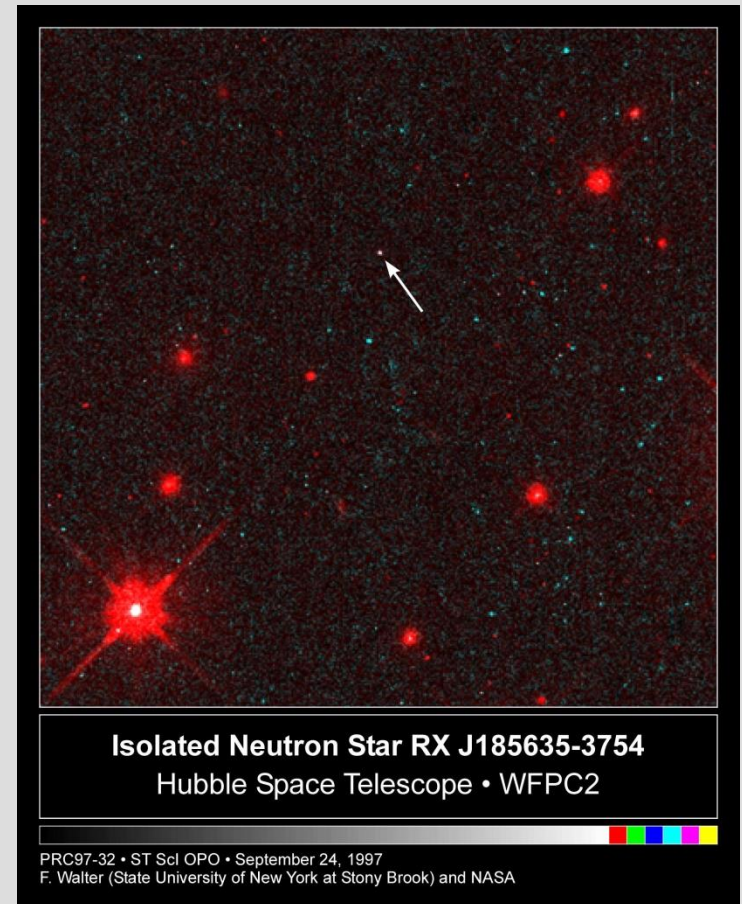


Détection des étoiles à neutrons

Du fait de leur petite taille et malgré leur température élevée, une étoile à neutrons isolée sans émission pulsée est nettement difficile à détecter par un télescope optique

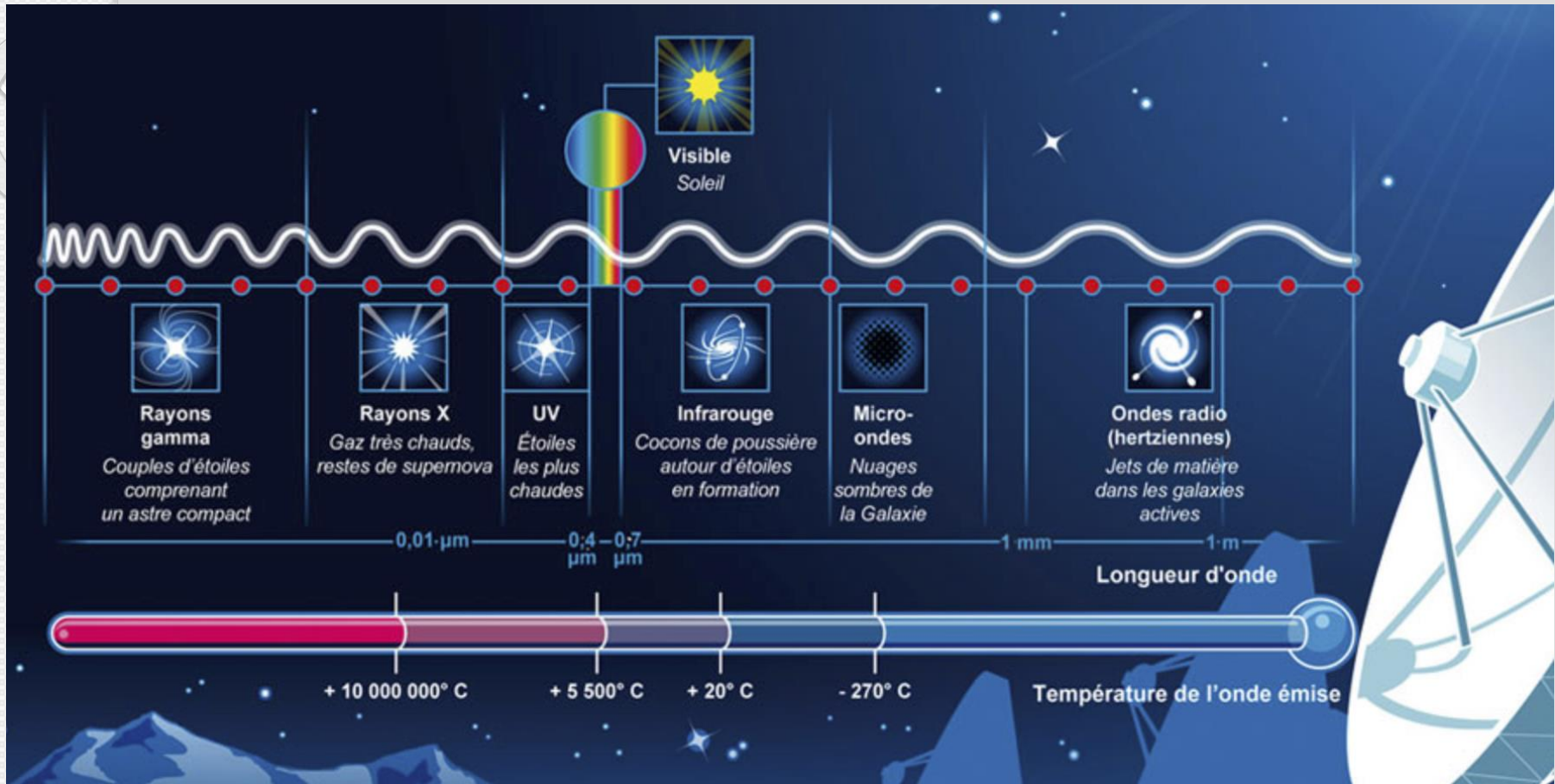
Une exception ! : RX J1856.5-3754

RX J1856.5-3754, une étoile à neutrons isolée proche du Système solaire (env. 400 al de la Terre), dont l'émission de surface est vue par le télescope spatial Hubble. Découverte en 1992, définie en 1996. Localisée initialement par son rayonnement X. Il est montré que sa température de surface est 434 000° C et son rayon 14 km



Détection des étoiles à neutrons

rappel gamme des ondes électromagnétiques



Graphique CEA

- Ondes radio : domaine des radiotélescopes
- Visible – infrarouge : télescopes optiques ex. Hubble, JWST
- Rayons X : satellite ex. Chandra, XMM Newton
- => on associe de plus en plus diverses techniques d'observation pour caractériser un objet

Gamme ondes électromagnétiques



On a une idée :

- De la lumière visible
- Des ondes radios
- Des rayons X



Mais un peu moins des rayons gamma ! => Illustration

Rayons gamma – illustration : contrôle de soudure



Rayons gamma : illustration
Contrôle de soudure sur pipeline / Turquie 1975



Gammagraphie – matériel contrôle soudure



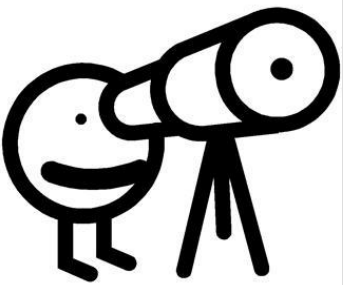
Photos catalogue IPSI - 2025

Source utilisée isotope
radioactif Iridium 192
200 à 600 keV



www.ipsifrance.com

Le rayonnement gamma est composée de photons de haute énergie. Il est émis lors de la désintégration de noyaux atomiques d'un corps radioactif.



Principales configurations de détection des étoiles à neutron :

- Phénomène de **pulsation_radio**: **les pulsars**. Sur environ 3700 étoiles à neutrons détectées, plus de 90% l'ont été sous forme de Pulsar (*avec un radiotélescope comme Jocelyn Bell !*)
- Appartenance à un **système binaire**
 - => l'accrétion de gaz de l'étoile massive voisine provoque l'émission de **rayons X et gamma**
- Cas des **magnétars** : existence d'un champ magnétique hyperpuissant avec phénomènes d'émission de rayon x ou gamma
 - « **Soft gamma repeaters** » (SGR) :
 - Ou « **anomalous X-ray pulsar** » (AXP)

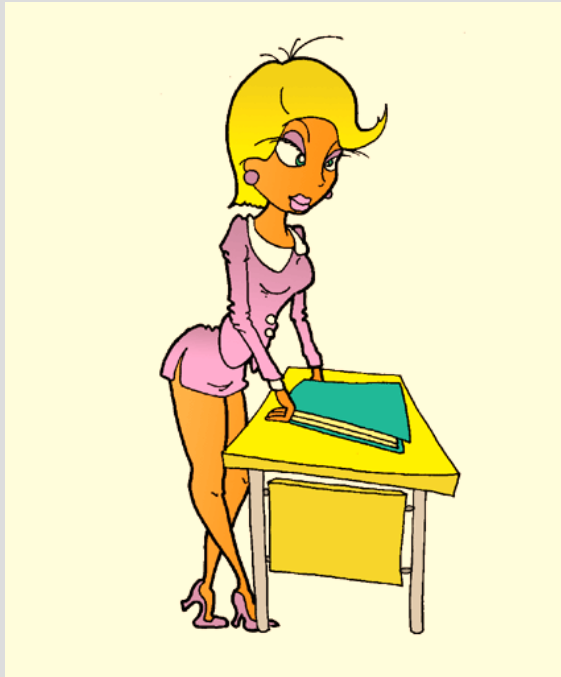
Au 04/01/2025 nombre 3748 pulsars enregistrés . Essentiellement dans La Voie Lactée. Voir catalogue ATNF : <https://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/>



QU'EST CE QU'UN PULSAR ?



Pour commencer, d'où provient la rotation très élevée des étoiles à neutrons ?



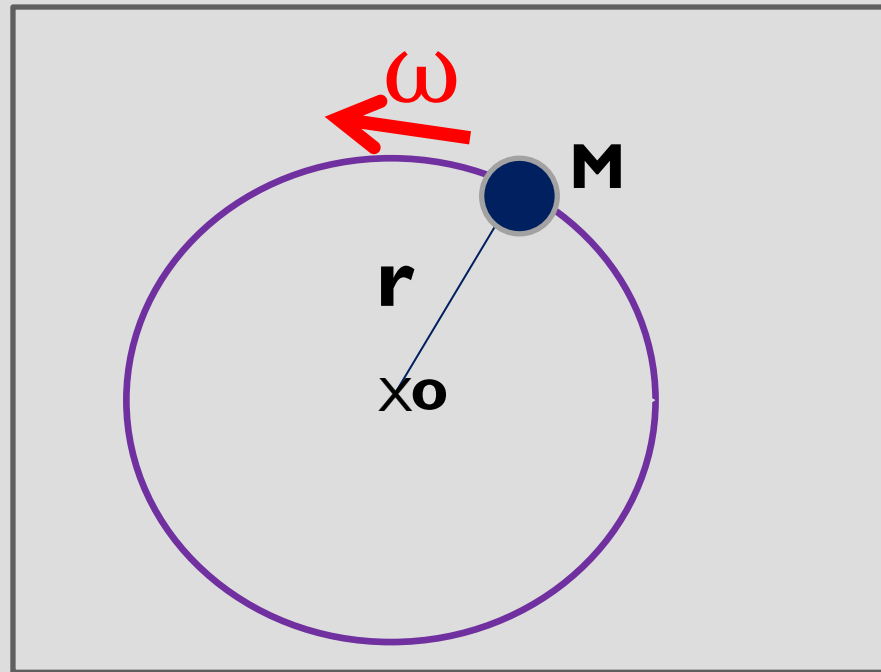
Explications...

=> De la conservation du moment cinétique

Dans le cas simple d'une masse ponctuelle M en rotation autour d'un point fixe à la vitesse angulaire ω , le moment cinétique est :

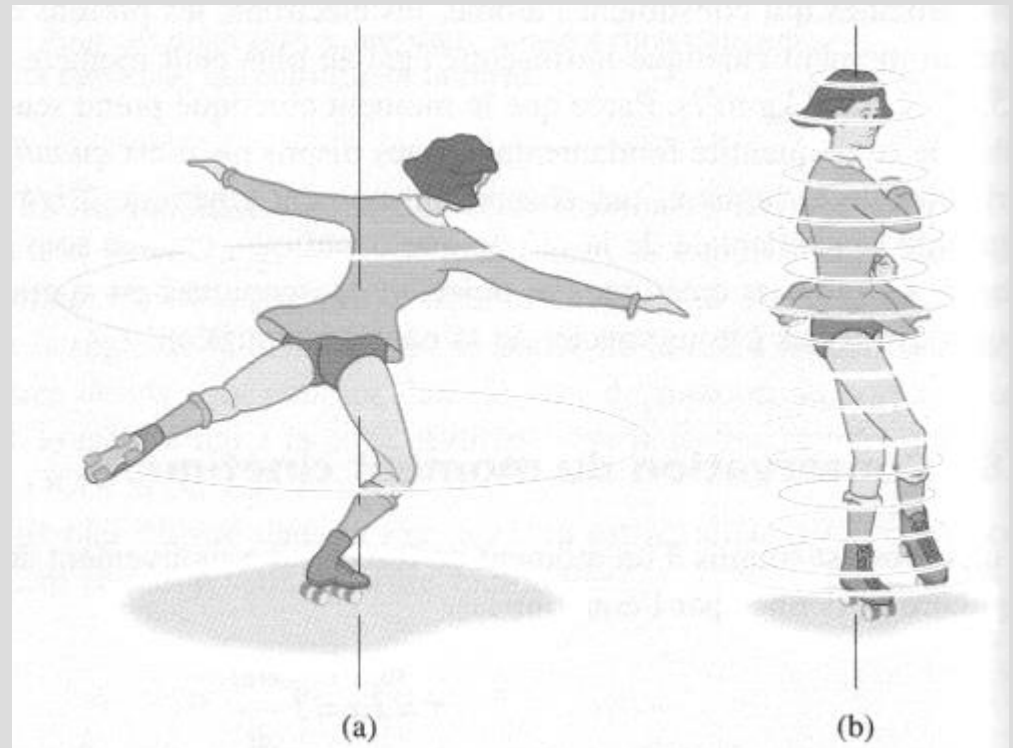
$$L = M \cdot r^2 \cdot \omega$$

La conservation du moment cinétique L implique donc :
si r diminue => ω augmente

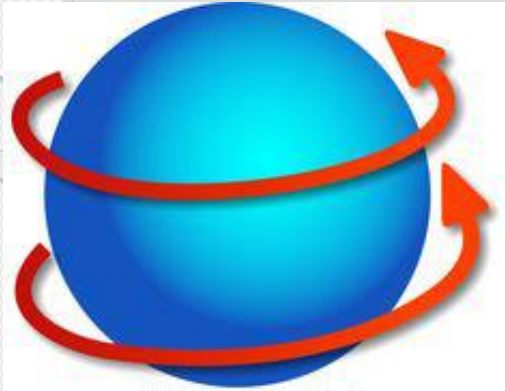


Conservation du moment cinétique

Illustration : une patineuse artistique accélère sa rotation en ramenant ses bras le long de son corps (r diminue ; ω augmente)



Conservation du moment cinétique



En appliquant la loi de conservation du moment cinétique, on déduit qu'une étoile à neutrons, résultat de l'effondrement du cœur d'une étoile massive déjà en rotation, acquiert au cours de sa contraction une vitesse de rotation extrêmement élevée.

Etoile	Vitesse de rotation	
Soleil	25 jours	En rotation différentielle selon latitude
Naine blanche	Quelques minutes	
Etoiles à neutrons	Peut tourner en moins d'une seconde	En rotation rigide

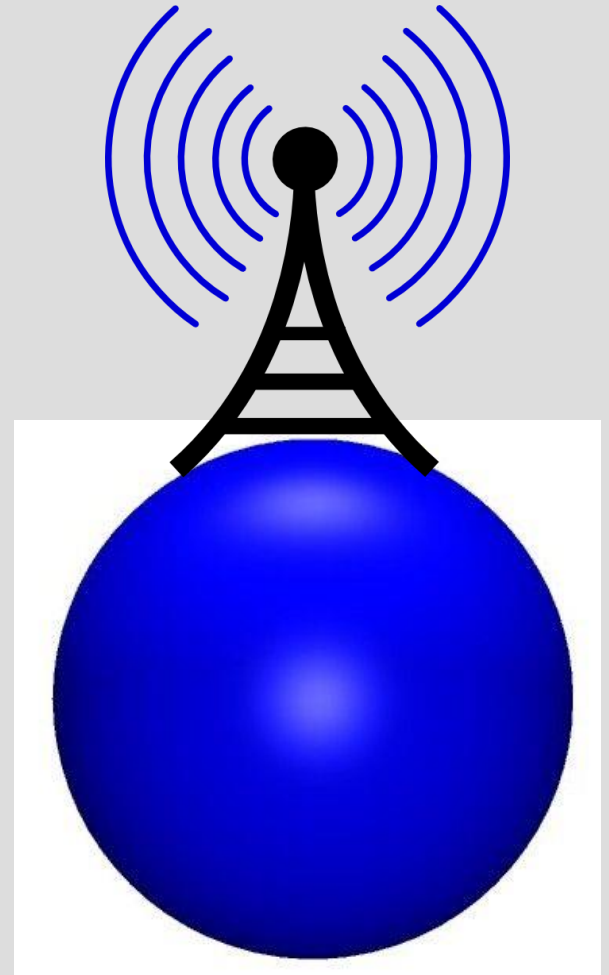
Le champ magnétique d'une étoile à neutrons est aussi très concentré.

Objet

Induction magnétique en Gauss

Autour de la Terre	0,5
Petit aimant métallique	2000 à 4000
IRM	10 000
Autour du Soleil	1000 (taches solaires 1500-4000)
Etoile à neutrons	1000 à 10 000 milliards (10^{12} à 10^{13} Gauss)

- On a les éléments pour comprendre les pulsars !

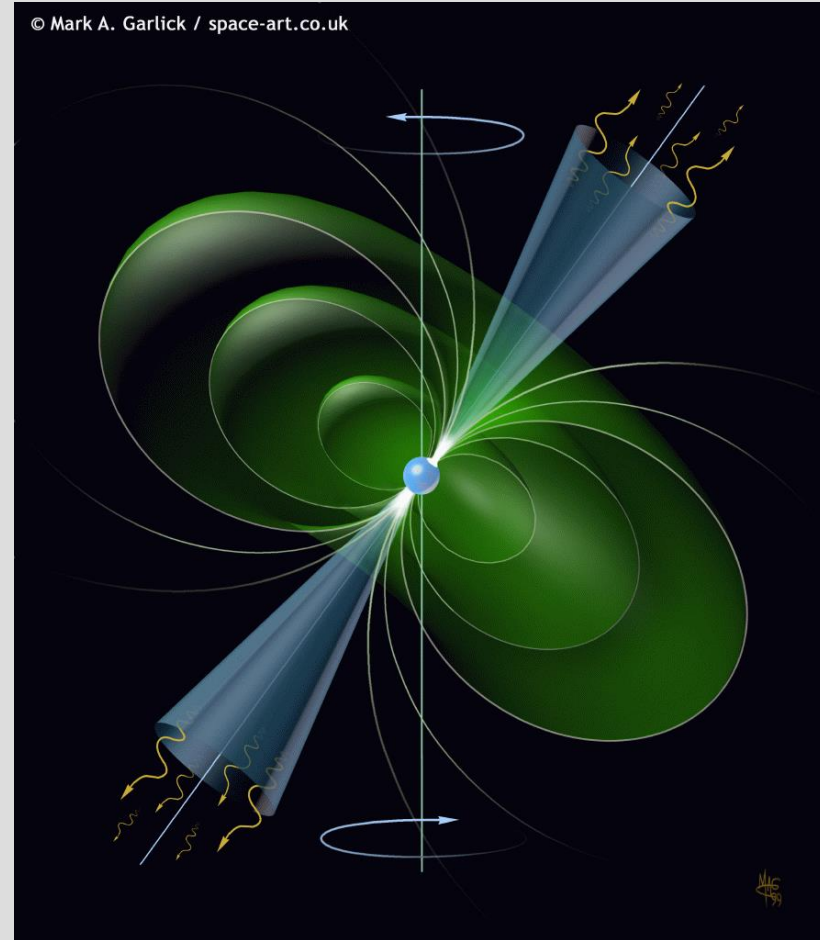


Pulsar - principe

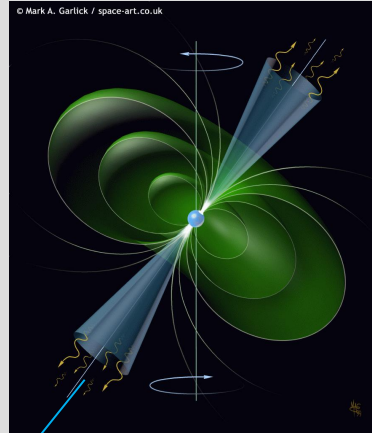
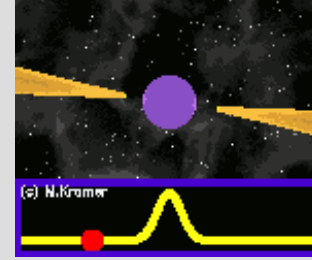
Les pulsars sont des étoiles à neutrons fortement magnétisées.

Ses lignes de champs magnétiques canalisent les particules électrisées le long de son axe permettant l'émission d'un faisceau d'ondes radio qui tourne en même temps que l'étoile.

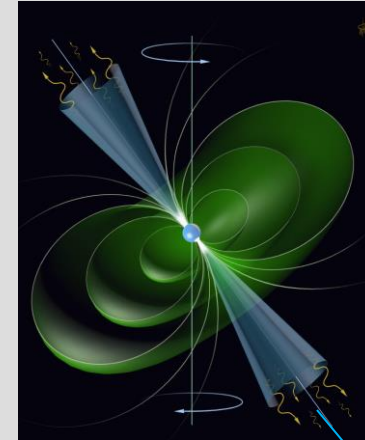
A chaque tour, une pulsation est reçue sur terre au moment où le faisceau balaie la ligne de visée du radiotélescope. Cet effet de phare est obtenu par le non alignement de l'axe de rotation et l'axe magnétique.



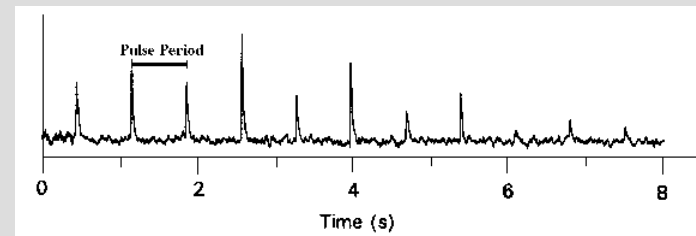
Effet « phare » des pulsars



A : la Terre reçoit le signal (= un pulse)



B : la Terre ne reçoit plus le signal

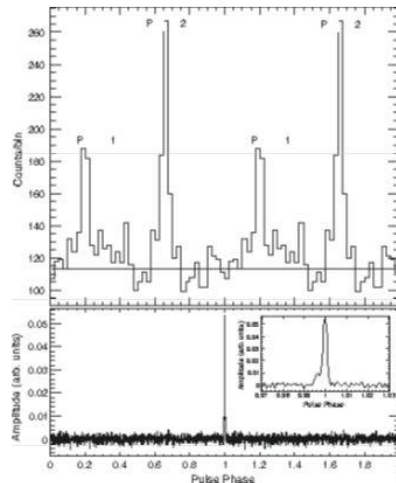


Pulsars

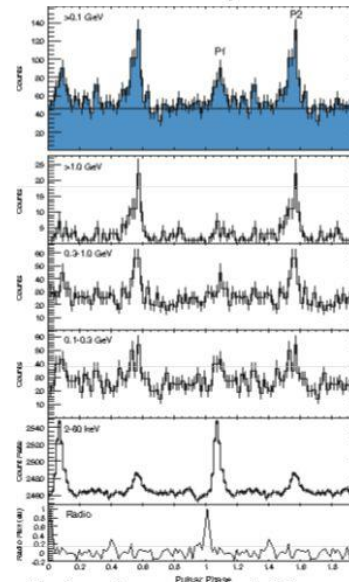


Etudes multi λ

- Des études multi longueur d'onde sont menées pour certains pulsars



Pulsar jeune PSR J1028-5918
Associé à la source EGRET 3EG J1017-5817



Pulsar jeune très faible en
radio dans le SNR 3C58

Une pulsation comprend un paquet d'ondes . Par traitement informatique, les radioastronomes y sélectionnent les longueurs d'ondes les plus pertinentes en fonction du pulsar et du radiotélescope.

Est-ce-que toutes les étoiles à neutron sont des pulsars ?

NON

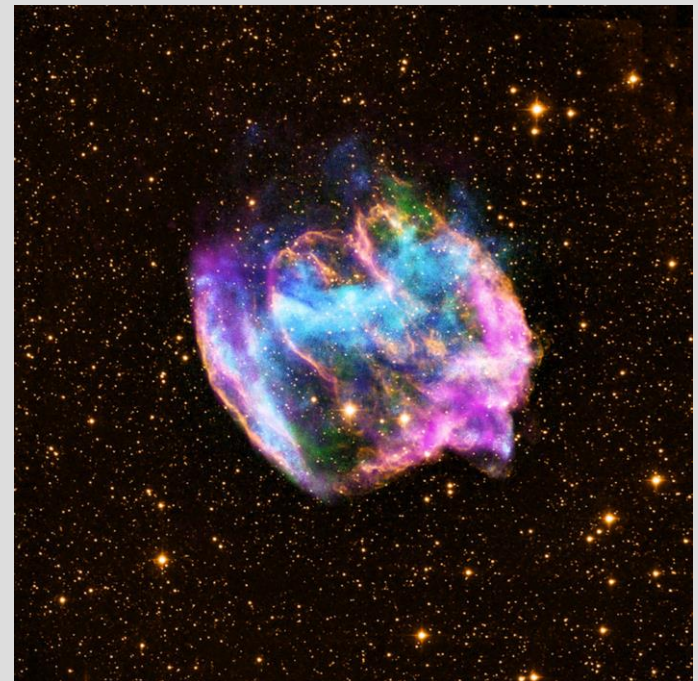
Toutes les étoiles à neutrons ne sont pas des pulsars :

- Le phénomène d'émission pulsée n'est pas ou plus activée (source simple de rayons x par ex.)
- La pulsation existe mais ne peut être détectée (le faisceau n'est pas orienté vers la terre)

Est-ce qu'un pulsar est détecté systématiquement parmi les restes d'une supernova ?

Non pas toujours :

- L'étoile à neutrons s'est déplacée dans une direction différente (l'explosion n'est pas sphérique, effet « recul de fusil »)
- Le temps de vie des restes de supernova (le nuages de gaz rémanent) est plus court que celui du pulsar



De l'usage des pulsars

Horloge : Les pulsars millisecondes anciens, donc stabilisés en rotation tel que PSR 1937+21 qui ne ralentit que d'un milliardième de seconde par siècle, sont plus précis que les meilleures horloges à césium utilisées sur Terre.

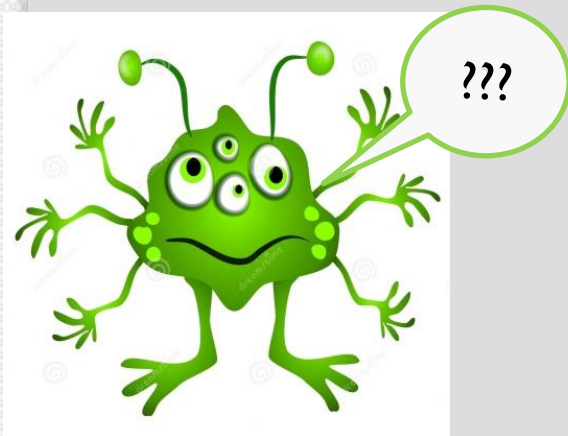
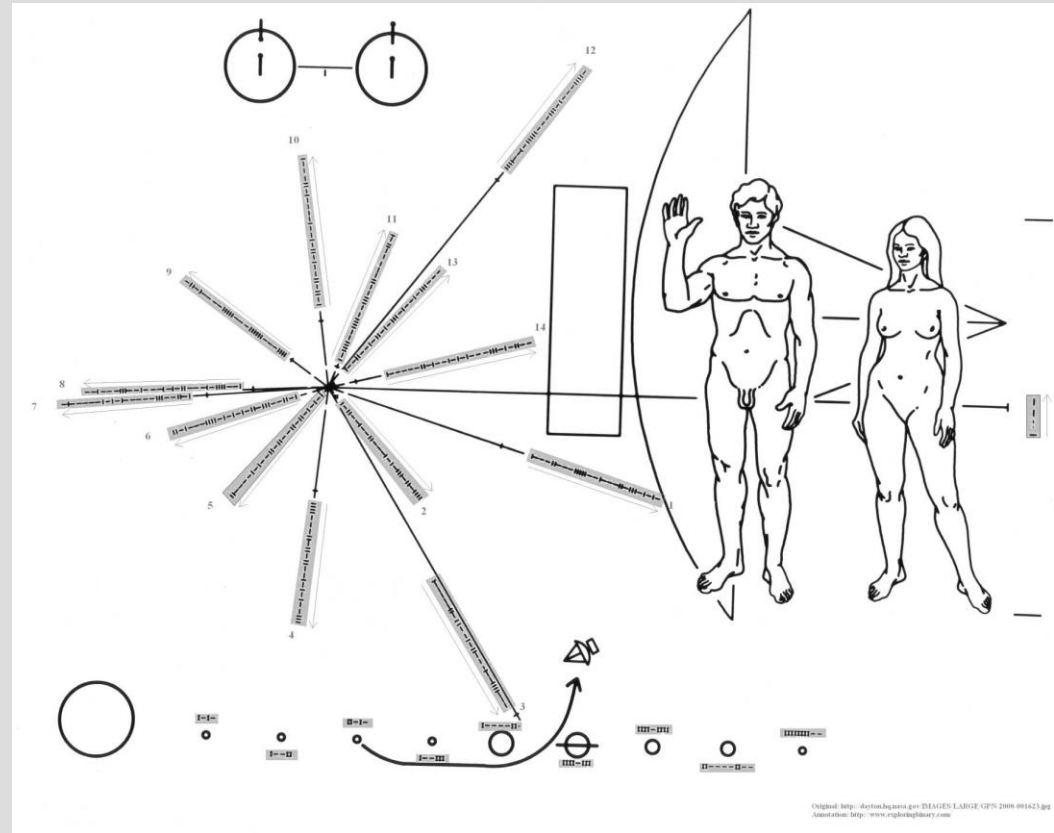
Balise : la chronométrie d'un pulsar permet de mesurer sa distance par rapport à la Terre avec grande précision. On établit des référentiels pour mesurer de proche en proche d'autres distances (comme un géomètre)

Mesure : les perturbations ou variations de ces signaux très précis permettent des calculs en astrophysique par ex. la masse de planètes ou des étoiles, etc.

Pulsars : balises spatiales !

Plaque embarquée sur les sondes Pioneer 10 (1972) et 11 (1973) au cas où des extraterrestres trouveraient ces engins :

Les positions du Soleil et de la Terre ont été positionnées par rapport à 14 pulsars dont les fréquences et les taux de ralentissement ont été indiqués.



Etoiles à neutrons : les **magnétars** (SGR et AXP)

Ici le champ magnétique intense va exercer des forces énormes sur sa croûte solide qui finit par se rompre . L'étoile laisse échapper des émissions de particules à haute énergie à intervalles plus ou moins réguliers.

Ce phénomène est appelé SGR : Soft Gamma Repeaters.

La plus violente explosion gamma détectée à ce jour l'a été le 27/12/2004 dans la constellation du Sagittaire et baptisée SGR 1806-20. Détails ci-après

Les ondes magnétiques et les particules entraînées par le champ pompent l'énergie de rotation de l'étoile. En quelque milliers d'années celles-ci ralentit jusqu'à une vitesse d'un tour toutes les 5 ou 10s.

Ces magnétars émettent alors des rayons X avec une période régulière : ce sont des AXP (anomalous X-ray pulsars)

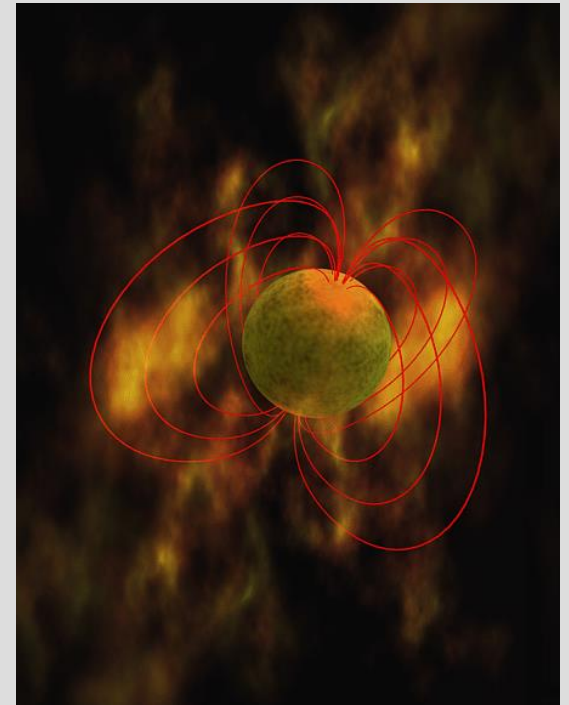


Image d'artiste montrant le jaillissement des lignes de champ magnétique

Observations des pulsars

Les radiotélescopes



« Instrument destiné à capter le rayonnement radioélectrique des astres. Il comporte essentiellement une ou plusieurs antennes chargées de collecter les ondes radio et des dispositifs de réception et d'analyse des signaux collectés » - Encyclopédie Larousse

Radiotélescopes



ASKAP - Australie

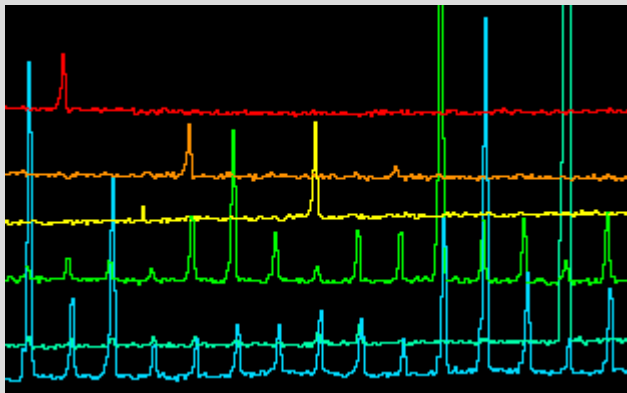
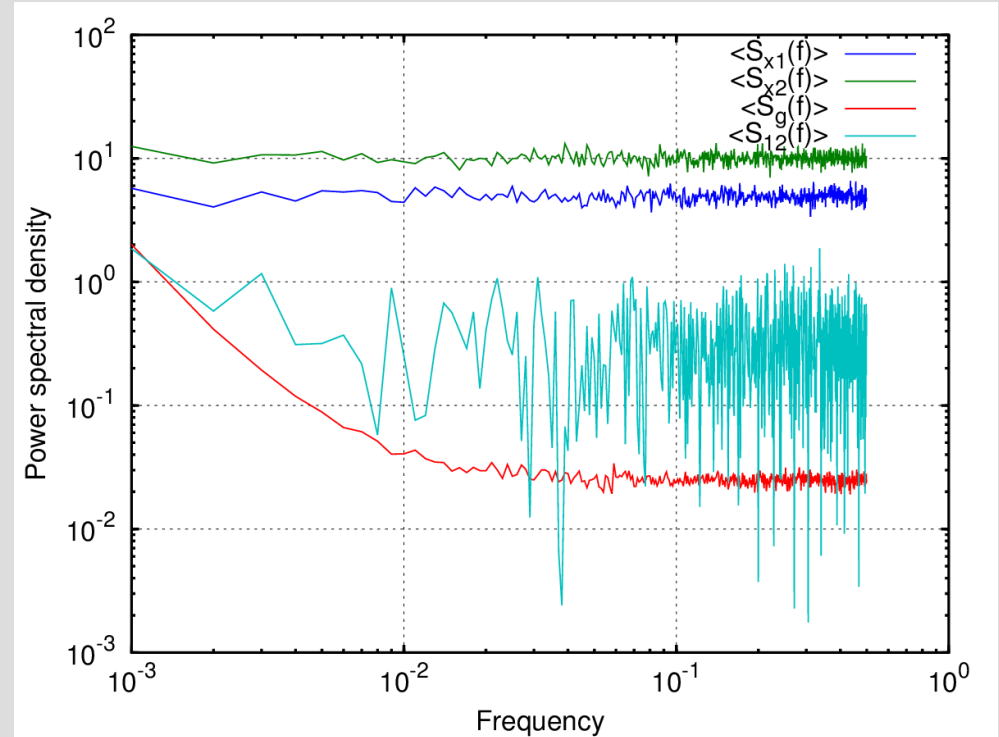
FAST - Chine (diam 500m) . Le + grand du monde
mis en service le 25 septembre 2016



Radiotélescope décimétrique de Nancay (1965) –
Miroir plan équivalent 200 m- France



Radiotélescopes



Rappel : on analyse des signaux radio et non des images comme sur les télescopes optiques

Radiotélescopes – suite

- **RADIOASTRONOMES AMATEURS
ET DÉTECTION DE PULSARS !**

EXEMPLES DE RÉALISATION

En France : Jean-Jacques Maintoux



**Devant l'antenne de la station
de radioastronomie de
l'association AAV/ARRL ,à
Orsay dédiée au 21 cm,**

J-J Maintoux accompagné de deux étudiantes
et de leurs tuteurs , le 25 février 2012.

*Voir article du Magazine ' L'Astronomie Janvier 2017 N° 101 : radioastronomie
d'amateur – Détection de pulsars - Longueur d'onde 21 cm*

En radioastronomie, le principal travail est le traitement électronique des données captées pour obtenir un rapport signal/bruit souhaité pour la détection de l'objet recherché . Les radioastronomes amateurs peuvent détecter des pulsars existants mais pas en découvrir de nouveaux. Ils ont besoin de la connaissance du signal pour le « filtrer » du bruit de fond.

Radioamateurs et pulsars



L'association de J-J Maintoux utilise une antenne parabolique de 3,3 m

En Allemagne :Astropeiler Stockert Group



L'association utilise une
antenne de 25 m.

Observations : 4 exemples

A) PULSAR NÉBULEUSE DU CRABE PARMI LES PULSARS LES PLUS CÉLÈBRES

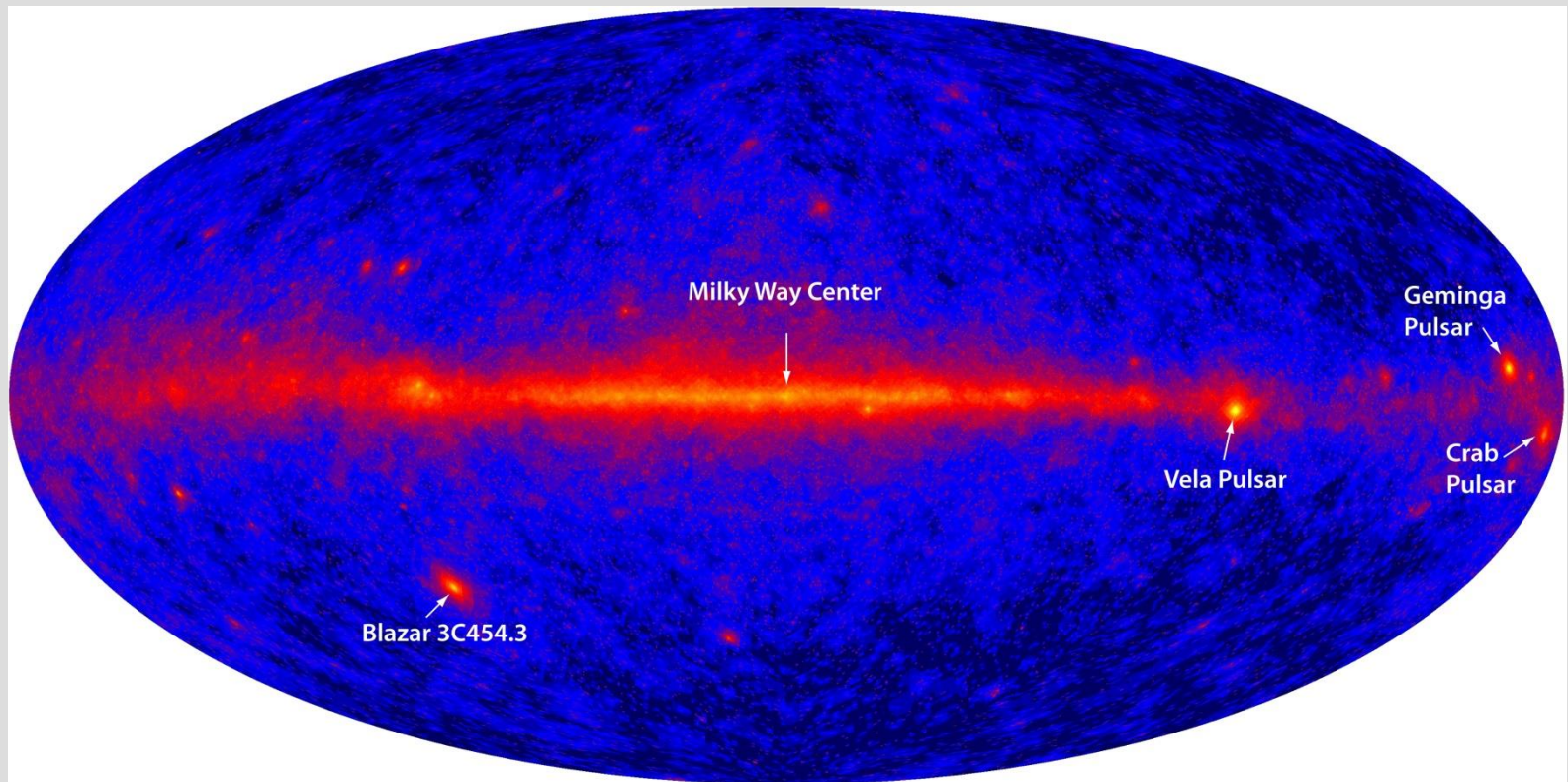
B) MAGNÉTAR SGR 1806-20 LA PLUS VIOLENTE ÉRUPTION DE RAYONS GAMMA
D'UN MAGNÉTAR DÉTECTÉE DANS NOTRE GALAXIE

C) MAGNÉTAR SGR 1830 UNE SURACTIVITÉ DE RAYONS X CAPTÉE PAR NICER SUR L'ISS

D) GRB 221009A 'BOAT' LA PLUS GRANDE ÉRUPTION DE RAYONS GAMMA DE TOUS LES TEMPS

PROVENANT D'UN TROU NOIR D'UNE LOINTAINE GALAXIE

A) Position de la Nébuleuse du Crabe MI



A) Nébuleuse du Crabe - M1

- La **nébuleuse du Crabe**, premier objet du catalogue Messier, située dans la constellation du Taureau, est le reste de l'explosion d'une étoile massive en supernova observée par des astronomes chinois de juillet 1054 à avril 1056
- C'est le premier objet astronomique à avoir été associé à une explosion historique de supernova => *ce qui permet de connaître l'âge de son pulsar avec précision !*



A) La nébuleuse du Crabe M1

En optique, image Hubble en
rouge, + en rayons X, image
Chandra en bleu



A) Pulsar de la Nébuleuse du Crabe

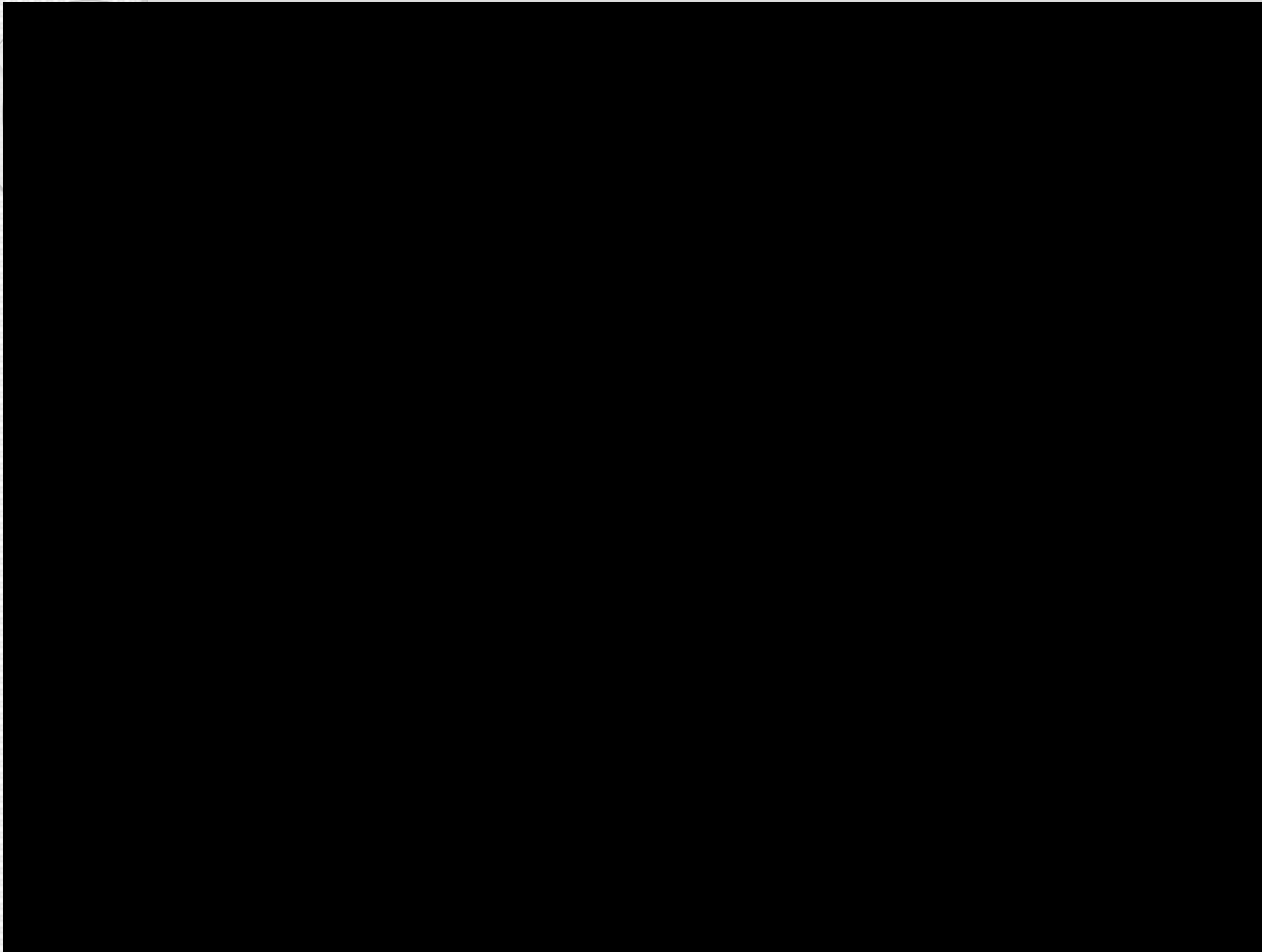
La nébuleuse contient en son centre un pulsar (PSR B0531+21) qui tourne sur lui-même environ trente fois par seconde.

- Il s'agit d'un des pulsars les plus énergétiques connus. Il a été découvert en 1968 depuis l'observatoire de Green Bank aux USA.

- C'est l'un des pulsars les plus étudiés, il émet dans les domaines radio, rayon x, rayons gamma, optique et ultra-violet .



B) Magnétar SGR 1806-20

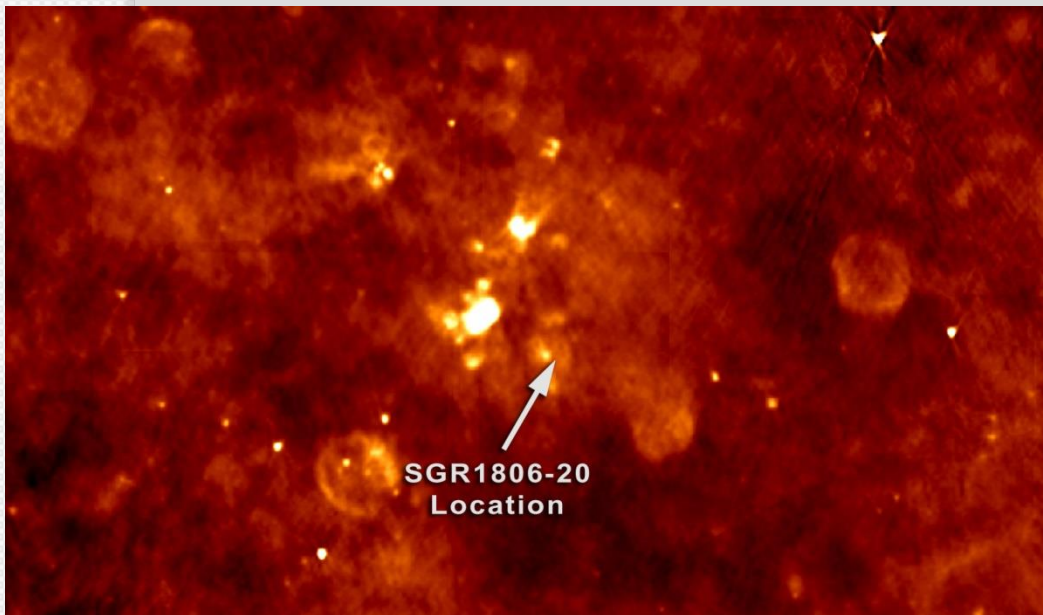
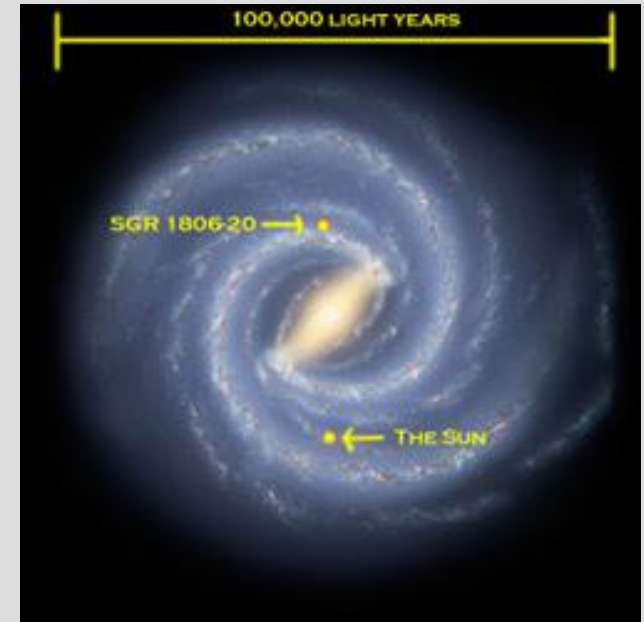
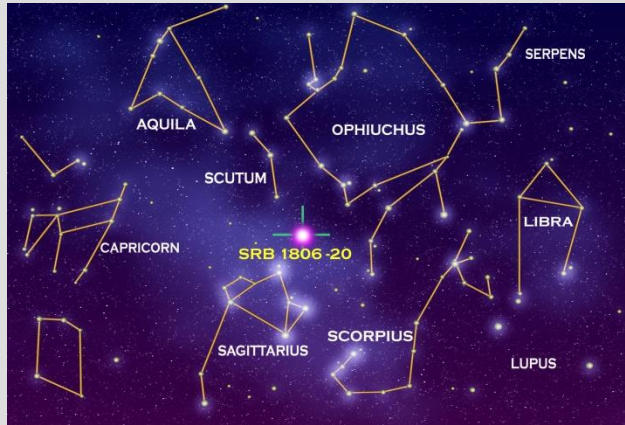


A ce jour, la plus violente explosion gamma d'un magnétar a été détectée le 27 décembre 2004 dans la constellation du Sagittaire et baptisée SGR 1806-20.

Le diamètre de cette étoile à neutrons est estimé à 24 km

Animation montrant le front de rayonnement gamma en expansion.

B) Magnétar SGR 1806-20 – Eruption rayons gamma



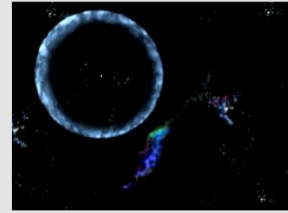
Ce magnétar avait été découvert en 1979. Rotation 7,5 t/s.

Distance 42 000 al.

Le 27 décembre 2004, durant 1/10s un très puissant flash de rayons gamma a traversé notre galaxie, a rebondi sur la lune et a éclairé la haute atmosphère terrestre

B) Magnétar SGR 1806-20 – explosion gamma 'Starquake'

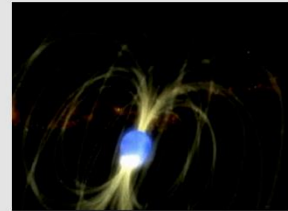
Scientists have detected a flash of light from across the Galaxy so powerful that it bounced off the Moon and lit up the Earth's upper atmosphere. The flash was brighter than anything ever detected from beyond our Solar System and lasted over a tenth of a second. NASA and European satellites and many radio telescopes detected the flash and its aftermath on December 27, 2004. Two science teams report about this event at a special press event today at NASA headquarters. A multitude of papers are planned for publication.



Image/animation above: Image 1: Artist conception of the December 27, 2004 gamma ray flare expanding from SGR 1806-20 and impacting Earth's atmosphere. Click on image to view animation (no audio). Credit: NASA

The scientists said the light came from a "giant flare" on the surface of an exotic neutron star, called a magnetar. The apparent magnitude was brighter than a full moon and all historical star explosions. The light was brightest in the gamma-ray energy range, far more energetic than visible light or X-rays and invisible to our eyes.

Such a close and powerful eruption raises the question of whether an even larger influx of gamma rays, disturbing the atmosphere, was responsible for one of the mass extinctions known to have occurred on Earth hundreds of millions of years ago. Also, if giant flares can be this powerful, then some gamma-ray bursts (thought to be very distant black-hole-forming star explosions) could actually be from neutron star eruptions in nearby galaxies.



Image/animation above: Image 2: An artist conception of the SGR 1806-20 magnetar including magnetic field lines. After the initial flash, smaller pulsations in the data suggest hot spots on the rotating magnetar's surface. The data also shows no change in the magnetar's rotation after the initial flash. Click on image to view animation (no audio). Credit: NASA

NASA's newly launched Swift satellite and the NSF-funded Very Large Array (VLA) were two of many observatories that observed the event, arising from neutron star SGR 1806-20, about 50,000 light years from Earth in the constellation Sagittarius.

"This might be a once-in-a-lifetime event for astronomers, as well as for the neutron star," said Dr. David Palmer of Los Alamos National Laboratory, lead author on a paper describing the Swift observation. "We know of only two other giant flares in the past 35 years, and this December event was one hundred times more powerful."

Doc NASA

Such a close and powerful eruption raises the question of whether an even larger influx of gamma rays, disturbing the atmosphere, was responsible for one of the mass extinctions known to have occurred on Earth hundreds of millions of years ago. Also, if giant flares can be this powerful, then some gamma-ray bursts (thought to be very distant black-hole-forming star explosions) could actually be from neutron star eruptions in nearby galaxies.



C) Magnétar 1830-0645 / explication vidéo NASA

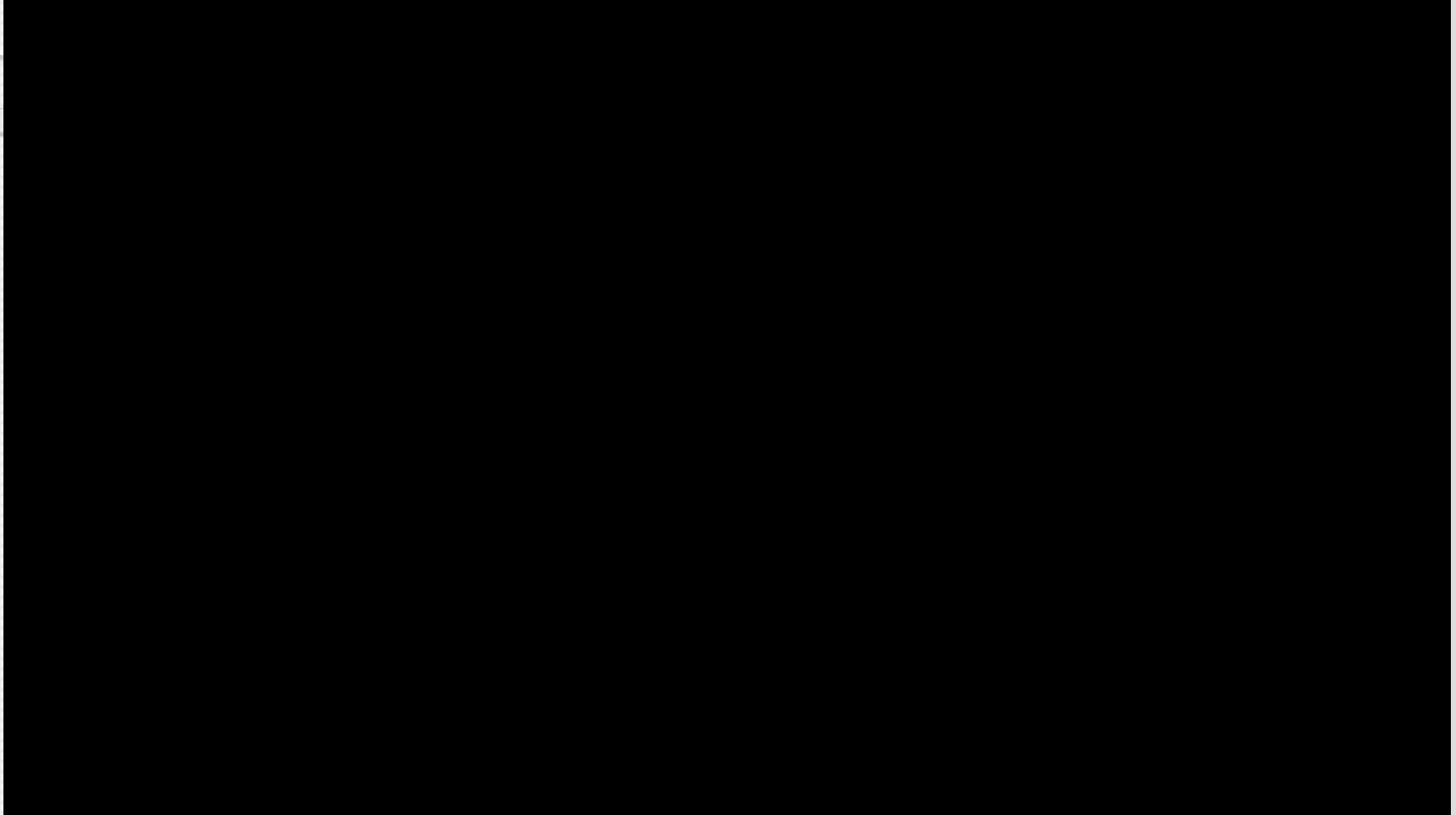
Octobre 2020, le magnétar 1830-0645 situé à 13 000 al devient brusquement plus lumineux en rayons X. Le télescope NICER monté sur l'ISS détecte une succession de 3 pics avec une période de 10,4s qui correspond à l'activité de 3 taches en surface de l'étoile à neutron.

Les scientifiques pensent que ces taches (spots) surviennent lors d'une brusque modification de la croute externe provoqué par une perturbation du champ magnétique .

Ce phénomène présente une relative analogie avec les taches solaires. Il démontre que la surface des étoiles à neutron est beaucoup moins 'rigide' qu'on ne le pensait auparavant



C) Magnétar SGR 1830-0645



D) GRB 221009A 'BOAT' – la fin d'une étoile super massive

- Le 9 octobre 2022 à 13h16 a eu lieu un sursaut gamma (GRB) exceptionnel.

L'événement :

Jean-Luc Atteia, astrophysicien, CNRS/CNES/Université Toulouse Paul Sabatier, extrait CNRS Le Journal 02/11/2022, extrait : « Il s'agit d'un sursaut gamma parmi les plus lumineux et les plus proches que nous ayons jamais observés, au point qu'il a saturé la majorité des détecteurs sur Terre et en orbite. Pendant plusieurs secondes, la luminosité de GRB 221009A a dépassé celle de mille millions de milliards de soleils. Heureusement qu'il était suffisamment loin ! Il provient en effet d'une galaxie de la constellation de la Flèche située à 1,9 milliards d'années-lumière de la Terre. »

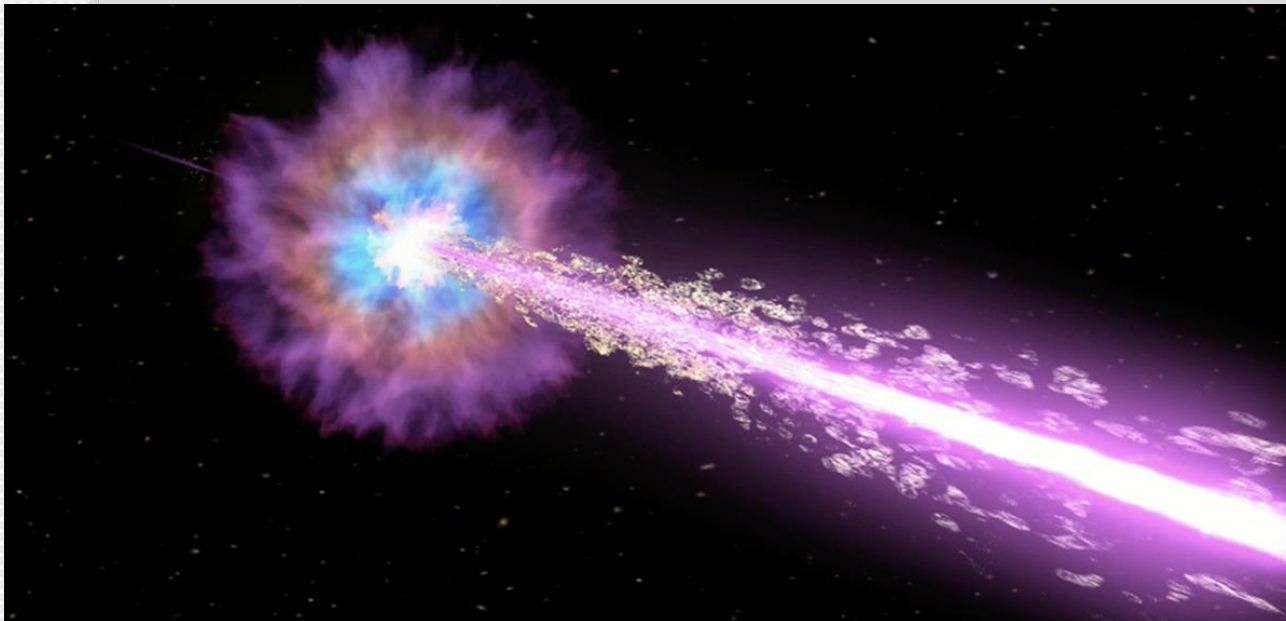


Image d'artiste NASA 2022

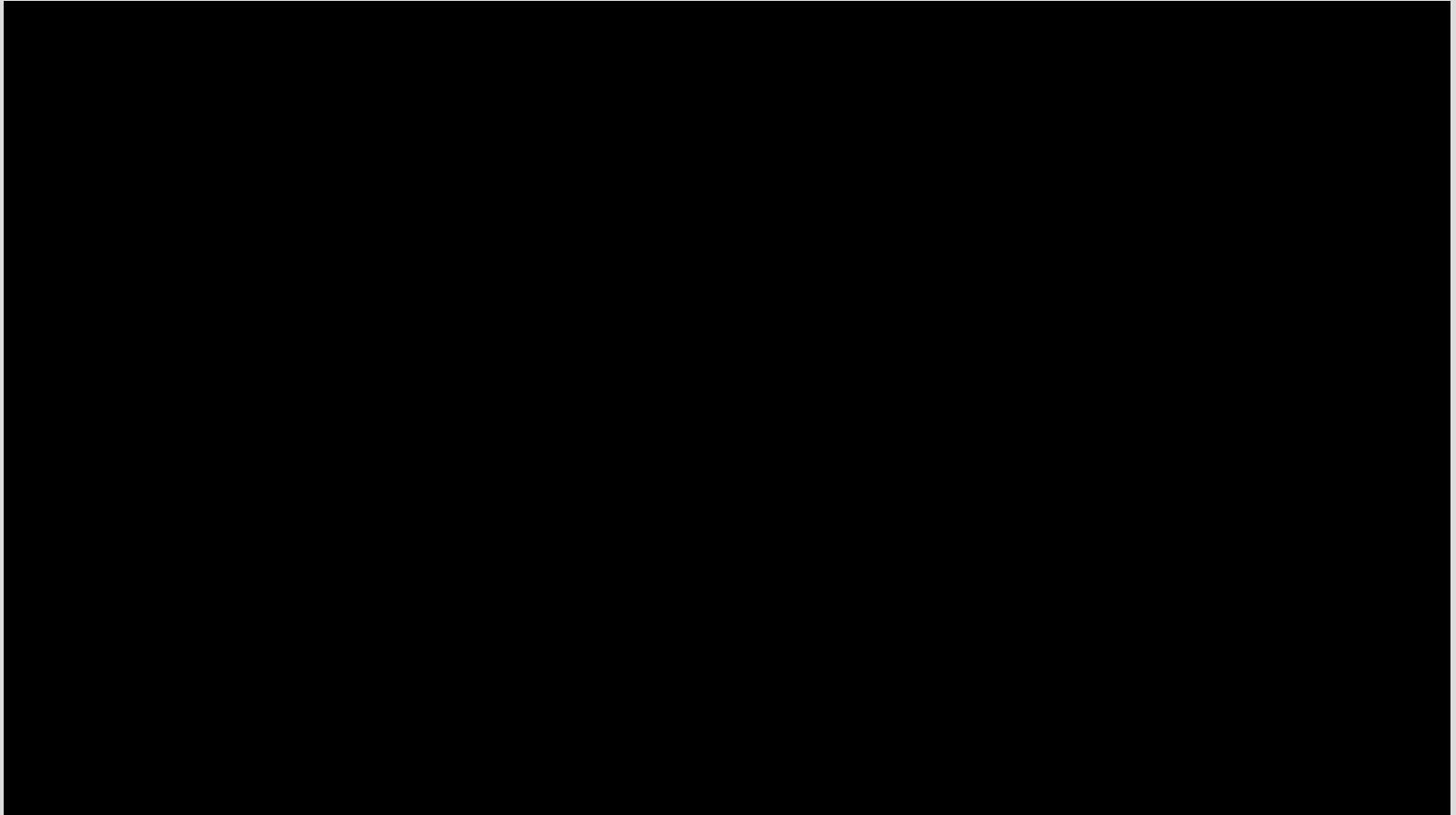
D) GRB 221009A 'BOAT' – la fin d'une étoile super massive

Mais que sont au juste les sursauts gamma ?

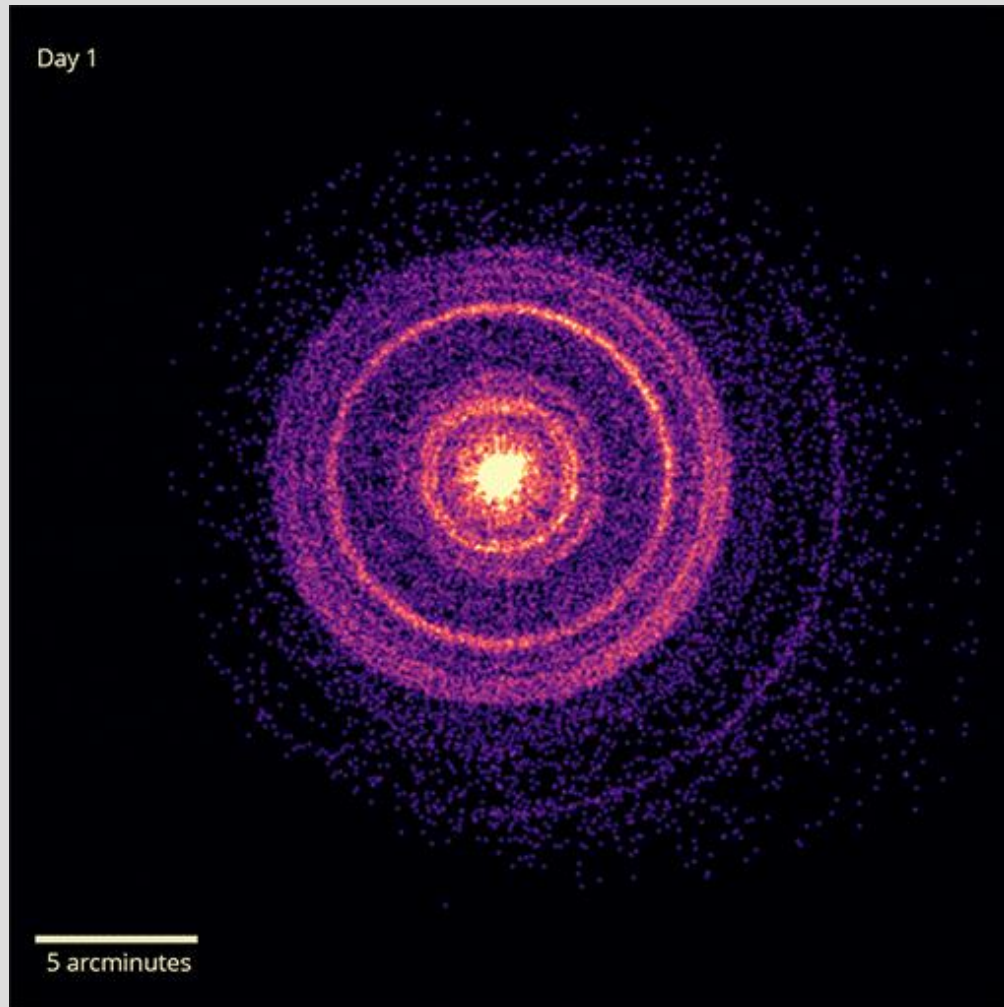
Les sursauts gamma longs comme GRB 22109A sont déclenchés lorsqu'une étoile très massive épuise tout son carburant. Un trou noir se forme et le cœur de l'étoile en rotation rapide tombe dedans. Une partie de l'énergie parvient cependant à s'échapper sous la forme de deux jets de matière et de rayons gamma : c'est ce qui donne les sursauts gamma.

D) GRB 221009A 'BOAT' – la fin d'une étoile super massive

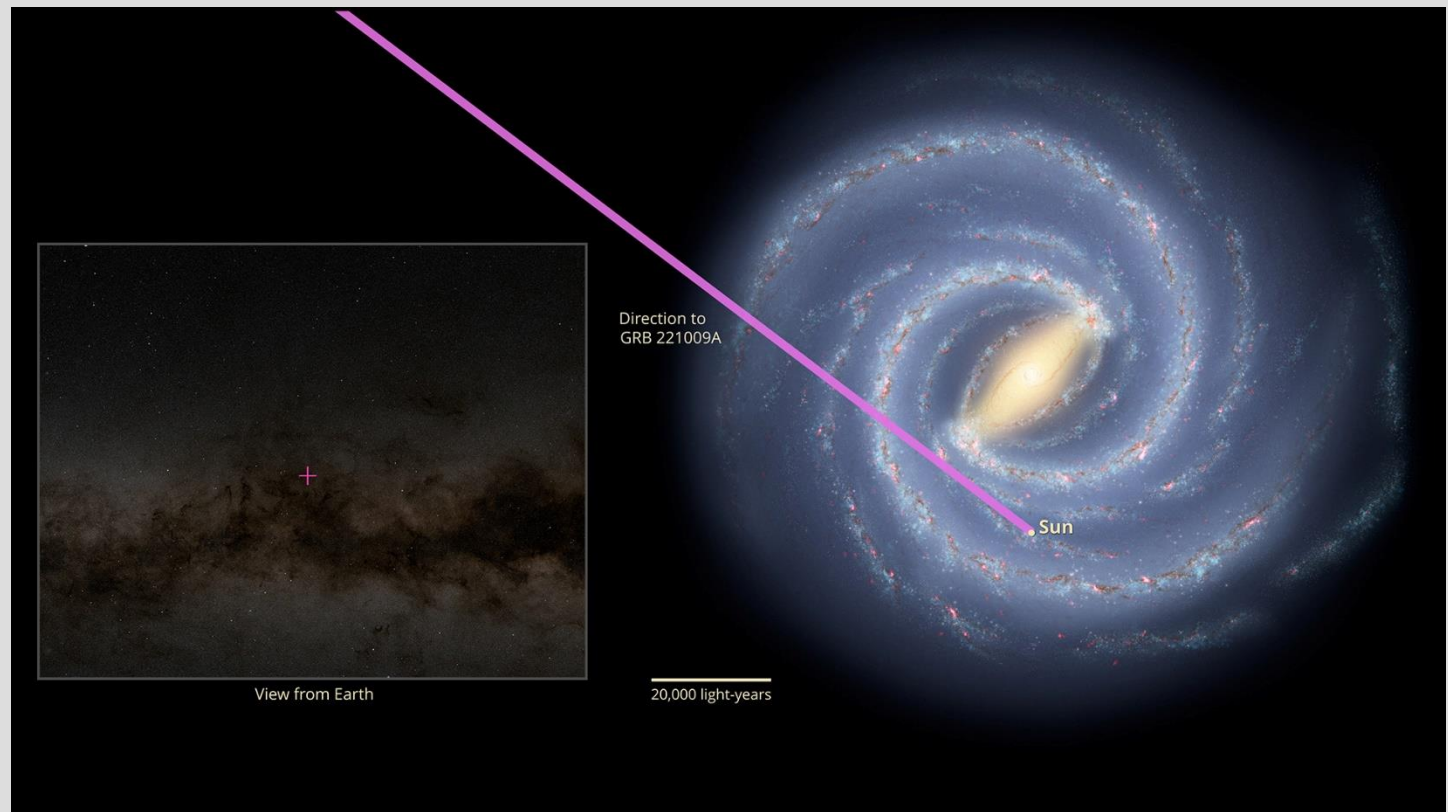
Animation NASA



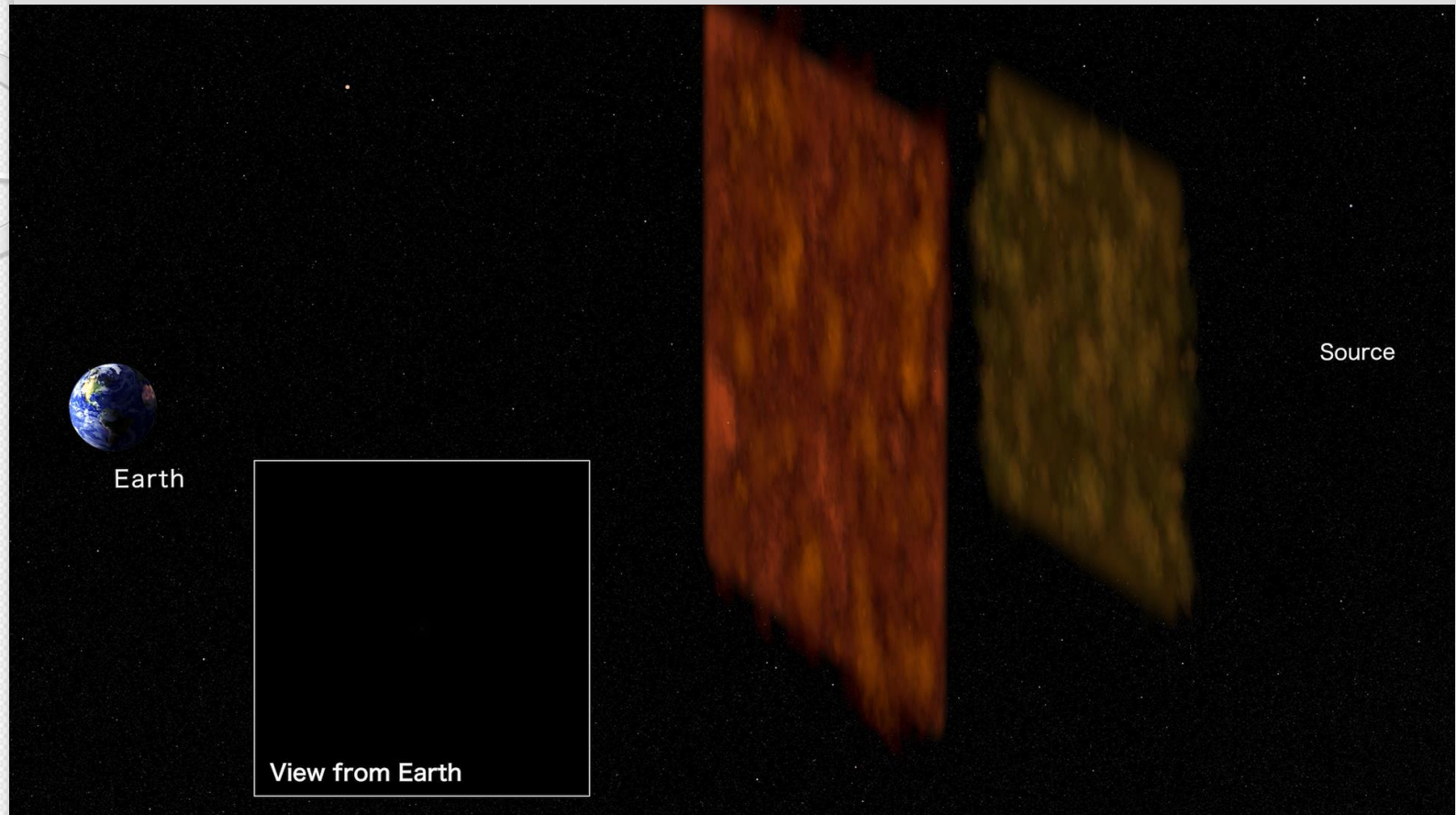
GRB vu par le
satellite Swift



D) GRB 221009A 'BOAT' – la fin d'une étoile super massive



D) GRB 221009A 'BOAT' – la fin d'une étoile super massive



Credits

Please give credit for this item to:
NASA's Goddard Space Flight Center. However, individual items should be credited as indicated above.

Science writer [Francis Reddy](#) (University of Maryland College Park)
Producer [Scott Wiessinger](#) (KBR Wyle Services, LLC)
Graphics [Francis Reddy](#) (University of Maryland College Park)
Animator [Scott Wiessinger](#) (KBR Wyle Services, LLC)
Scientists [Brad Cerko](#) (NASA/GSFC)
[Eric Burns](#) (Louisiana State University)

This page was originally published on Tuesday, March 28, 2023.
This page was last updated on Wednesday, May 3, 2023 at 11:43 AM EDT.

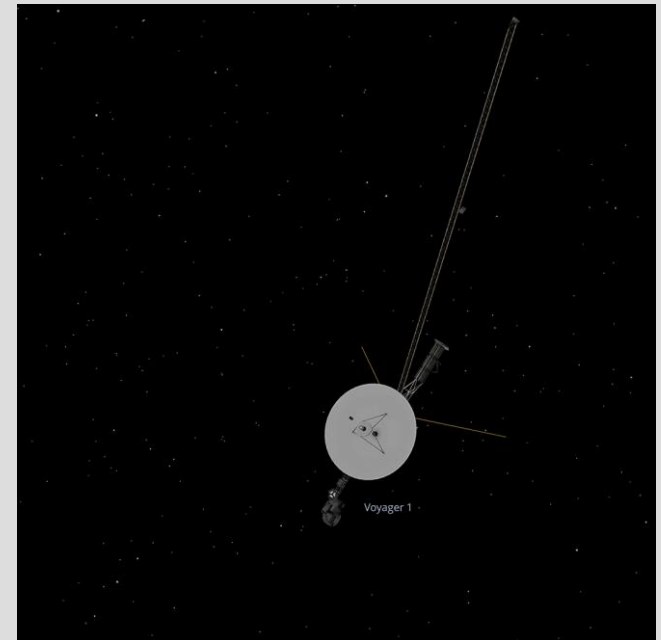
D) GRB 221009A 'BOAT – 9 octobre 2022'

Ce sursaut gamma a été visible par d'innombrables appareils, télescopes, détecteurs et équipes de recherche, ce qui fait que beaucoup de monde s'y est intéressé.

Et même des satellites affectés à d'autres missions !



Près de Mars , Mars Odyssey et Maven spacecraft ont détecté le GRB env. 3,9 mn après la Terre



Voyager I à 14,7 billions de km de la Terre a détecté le GRB le 8 octobre 2022



FIN