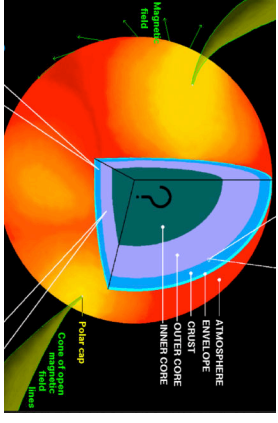


De l'extérieur vers l'intérieur, on trouve une « atmosphère » chaude dont la température est d'environ un million de degrés ; puis une enveloppe plus froide ; puis, une croûte cristalline de noyaux de fer ; ensuite un noyau extérieur fait de neutrons, de protons et d'électrons à l'état solide ; et enfin le noyau interne composé des mêmes particules mais à l'état liquide et des quarks, ces particules fondamentales dont sont composés les protons et les neutrons.

8



Anatomie d'une étoile à neutrons représentée par Dany Page (Univ. de Mexico)

Lorsque le noyau d'une étoile a été converti en fer, les réactions nucléaires gravitationnelles se produisent en quelques secondes. L'attraction de la gravité tasse les atomes les uns contre les autres. Les électrons fusionnent avec les protons, et il en résulte une sphère de neutrons très dense. L'étoile à neutrons dans la nébuleuse du Crabe est plus massive que le Soleil mais son diamètre n'est que de 20 km environ. Un échantillon d'étoile à neutrons, gros comme un morceau de sucre pèserait sur Terre autant que la population humaine toute entière. Aux densités extrêmes des étoiles à neutrons, les processus physiques ne sont pas les mêmes qu'ailleurs dans l'Univers. C'est la physique théorique qui permet de comprendre la structure interne d'une étoile à neutrons.

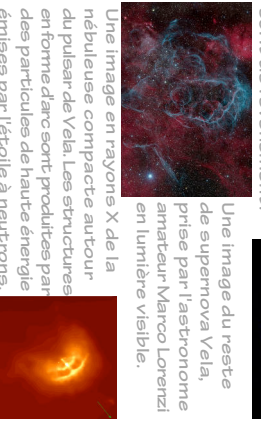
### Les étoiles à neutrons

### Autres « Crabes » dans l'Univers

Compte tenu du nombre d'étoiles mortes dans la Voie lactée, celle-ci devrait contenir des milliards d'étoiles à neutrons. Mais la plupart sont vieilles et froides et donc indétectables. Même les étoiles à neutrons chaudes ne peuvent être détectées que lorsque le faisceau de leur pulsar est dirigé vers la Terre ou lorsqu'elles se trouvent dans un système binaire. Dans ce dernier cas, des rayons X sont souvent émis par le gaz chaud tombant sur la surface de l'étoile à neutrons. À l'heure actuelle, près de 3.000 étoiles à neutrons sont connues dans la Voie Lactée. La plupart ont été détectées comme pulsars radio. La page ci-contre montre certaines d'entre elles.

13

12



Une image de Cas A en rayons X. La lumière de l'explosion stellaire a dû atteindre la Terre il y a environ 300 ans, mais il n'y a aucun téleimage écrit de l'événement. Une image du reste de supernova Vela, prise par l'astronome amateur Marco Lorenzi en lumière visible.

\* Voir page 4

5

Le Crabe et l'étoile invitée

Au début des années 1920, les astronomes réalisèrent que la position de la Nébuleuse du Crabe coïncidait avec celle de l'« étoile invitée » vue par les astronomes chinois en 1054.

Ils remarquèrent aussi que sa taille angulaire augmentait avec le temps et que le spectre de ses filaments indiquait qu'ils se déplaçaient à une vitesse de 1 500 kilomètres par seconde\*. Ceci les amena à conclure que la nébuleuse était née et avait commencé son expansion environ 1 000 ans plus tôt.

En 1928, Edwin Hubble suggéra que la Nébuleuse du Crabe était un reste de l'étoile dont l'explosion avait été vue en 1054. Mais comme la physique de l'explosion n'était pas encore comprise, l'idée ne fut pas acceptée tout de suite.

### Le Crabe et l'étoile invitée

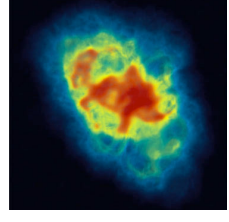
En 1054, l'astronome impérial Yang Weide vit une nouvelle étoile dans le ciel de Chine. Cette « étoile invitée », comme on disait, fut visible en plein jour pendant 23 jours et demeura détectable dans le ciel nocturne pendant plus de deux ans.

Cet événement est consigné dans de vieilles chroniques chinoises comme le Lidaï mingchen zouyi (à gauche). Le passage surligné concerne l'étoile invitée.

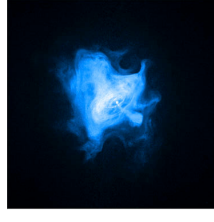
Cet événement a également été observé dans d'autres parties du monde, y compris le Japon, l'Europe et l'Arabie.

Ci-dessous : Comment les spectres révèlent les mouvements des sources astronomiques. Le décalage des raies spectrales est proportionnel à la vitesse de la source par rapport à l'observateur.

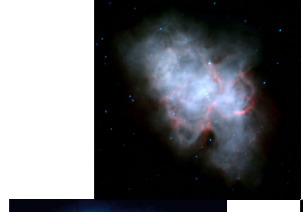
4



### Quiz



Réponses au verso



Toutes ces images représentent-elles la Nébuleuse du Crabe ?

### L'Univers dans ma poche



Grazyna Stasińska  
Observatoire de Paris

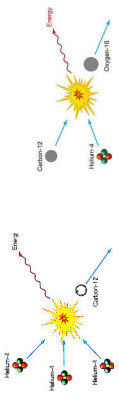
Cette nébuleuse fut découverte en 1731 par l'astronome amateur anglais John Bevis et redécouverte plus tard par l'astronome français Charles Messier, alors qu'il cherchait la comète de Halley, dont le retour dans le ciel était prévu pour 1758. Comme l'objet ne se déplaçait pas au cours du temps, ce ne pouvait pas être une comète. Messier lui attribua le numéro 1 dans son «catalogue de nébuleuses et d'étoiles», qui ne doivent pas être confondus avec des comètes.

Vers 1800, William Herschel observa plusieurs fois avec un grand télescope et conclut qu'il s'agissait d'un amas d'étoiles. Plus d'un siècle plus tard, les spectres de cet objet - qui permettraient aux astronomes d'analyser la nature de sa lumière - montrèrent que ce n'était pas un amas d'étoiles mais une vraie nébuleuse composée de gaz ionisé dilué.

### Découverte

La vie d'une étoile est une lutte constante entre deux forces opposées: la gravité provoque une contraction et la pression un rebondissement qui provoque une expansion.

Dans le cœur de l'étoile, qui est la zone la plus chaude, les noyaux atomiques se combinent en noyaux plus lourds. Ce processus libère de l'énergie et la pression augmente. Lorsque le carburant est épuisé, la gravité contracte le cœur dont la température monte, jusqu'à ce que de nouvelles réactions nucléaires puissent se produire.



Au début l'hydrogène se combine avec lui-même pour former de l'hélium, puis l'hélium se combine avec lui-même pour former du carbone, le carbone se combine avec l'hélium pour former de l'oxygène etc. Dans les étoiles massives, cela peut aller jusqu'à la formation du fer. Si le processus se poursuit jusqu'à ce que le cœur de l'étoile soit devenu du fer pur, les réactions ne peuvent plus se produire et le cœur rétrécit.



TUMIP Creative Commons



Pour en savoir plus sur cette collection et sur les thèmes présentés dans ce mini-livre tu peux visiter <https://www.tumip.org>

Les autres images de ce mini-livre proviennent du HST, VLA, Spitzer, ALMA, A. Loll (ASU)

Image de couverture: La nébuleuse du Crabe image obtenue avec le télescope spatial de Hubble. Crédits: NASA, ESA, J. Hester, and A. Loll (ASU)

Ce mini-livre a été écrit en 2018 par Grazyna Stasińska de l'Observatoire de Paris (France) et revu par Fabrice Mottez, Mikaela Oertel et Silvano Bonazzola (tous de l'Observatoire de Paris).



Image obtenue en rayons gamma par le télescope Fermi



Image obtenue en rayons X par le télescope Chandra

Toutes ces images représentent la Nébuleuse du Crabe

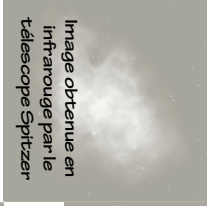


Image obtenue en infra-rouge par le télescope Spitzer

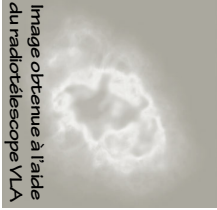
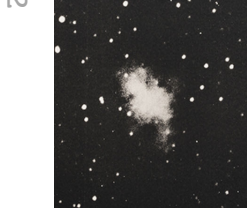


Image obtenue à l'aide du radiotélescope VLA



La photo ne ressemble pas beaucoup au dessin de Lord Rosse. Mais on peut déjà voir une certaine similitude avec l'image détaillée du télescope spatial Hubble montrée sur la couverture.



Le premier dessin de cet objet, par Lord Rosse en 1844, vu à travers son télescope de 90 cm de diamètre. Ce dessin a donné naissance au nom de «nébuleuse du Crabe» (bien qu'il évoque plutôt une punaise). Quoi qu'il en soit, le nom «Crabe» est encore utilisé aujourd'hui.

Ci-dessous: la première photo de la nébuleuse du Crabe, obtenue en 1892 par Isaac Roberts, ingénieur et astronome amateur gallois. La pose était de 3 heures avec un réflecteur de 50 cm de diamètre.

### Le pulsar du Crabe

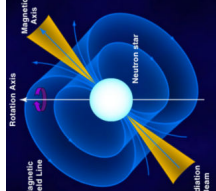
Dans les années 1960, les radio-astronomes observèrent d'étranges signaux radio pulsés dans le ciel. Ils démontrèrent que ces impulsions provenaient de sources astronomiques qu'ils pouvaient localiser. Ces sources radio furent nommées pulsars. Le pulsar du Crabe fut l'un des premiers à être découverts.

Cependant, on comprit rapidement que l'émission radio ne provenait pas d'un objet pulsant, mais plutôt d'une étoile à neutrons en rotation rapide, émettant un rayonnement dans deux étroites faisceaux. Ces faisceaux balayaient l'espace à mesure que l'étoile tourne, comme le feraient ceux d'un phare.

Pendant l'effondrement gravitationnel qui produit l'étoile à neutrons, la vitesse de rotation de l'étoile augmente considérablement parce que l'étoile se rétracte.



Ceci est dû au même phénomène que l'augmentation de la vitesse de rotation d'une patineuse quand elle replie ses bras le long de son corps.



Les étoiles à neutrons possèdent un champ magnétique très fort et leur rayonnement est émis dans de très étroites faisceaux provenant de leurs pôles magnétiques. Il n'est observé que quand un faisceau pointe vers la Terre.

A chaque fois que le faisceau balaye la Terre on observe un pic de rayonnement et l'objet semble pulser.

### Supernova

En 1934, Baade et Zwicky proposèrent que de telles explosions stellaires - appelées supernovae - pourraient se produire quand une étoile normale se transforme en une étoile de très petit rayon et de forte densité.

Mais la cause d'une telle transformation n'était toujours pas comprise à l'époque.

En 1957, les époux Burbidge avec Fowler et Hoyle publièrent un article décisif expliquant comment, dans les intérieurs très chauds des étoiles massives, les éléments chimiques se transforment peu à peu en éléments plus lourds, jusqu'à ce que le noyau soit entièrement composé de fer. Alors le noyau s'effondre et les couches externes explosent, éjectant les éléments nouvellement formés dans l'espace.