

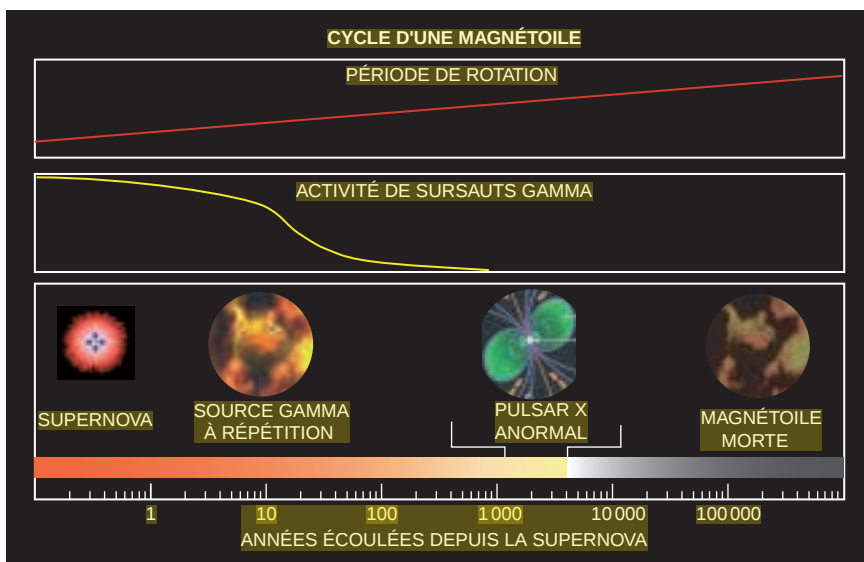
chargée accélérée). Ce mécanisme explique la majeure partie de l'activité observée, y compris les sursauts moins énergiques, mais pas les phénomènes plus rares de sursauts majeurs, tels que ceux du 5 mars 1979 et du 27 août 1998, car l'énergie libérée par ces tremblements de croûte superficiels n'est pas suffisante.

Un mécanisme plus global intervient alors. Les forces exercées à la surface de l'étoile à neutrons par le champ magnétique ne sont pas totalement éliminées par les craquements localisés de la croûte. Sur une période d'une centaine d'années, les contraintes résiduelles s'accumulent sur toute la surface de l'étoile, et un tremblement de croûte ne suffit pas à les réduire. À cette étape, un séisme stellaire d'une violence inouïe survient : l'ensemble de la croûte de l'étoile se fracture en profondeur, et l'énergie engendrée équivaut à celle d'un séisme de magnitude 22.

Suite à cet événement catastrophique, la surface de l'étoile se réaménage, des régions d'où partent des lignes de champ magnétique de polarités opposées sont entraînées avec la croûte vers de nouveaux sites. Lorsque des lignes de champ de polarités opposées se rencontrent, elles s'annihilent et libèrent l'énergie qu'elles renferment. Cette énergie peut être directement utilisée pour l'accélération d'électrons à de grandes énergies ; ceux-ci se désexcitent alors en émettant des rayons gamma de haute énergie dans un sursaut important. Certaines portions de la surface sont échauffées, peut-être jusqu'au point de fusion de la croûte de l'étoile à neutrons, essentiellement constituée de fer. Cette fusion crée des points chauds qui subsistent longtemps après le sursaut initial. Eux aussi se refroidissent en émettant des rayons gamma, et comme l'étoile tourne, les points chauds en rotation apparaissent et disparaissent : le rayonnement gamma apparaît sous forme d'une émission périodique.

Déplacement rapide et rotation lente

La force du modèle de magnétoile réside dans le fait que non seulement il explique la plupart des caractéristiques des sources gamma à répétition, mais qu'il prévoit aussi certaines caractéristiques vérifiables. Entre autres, il prévoit que les étoiles à neutrons à l'origine des sources gamma à répétition sont éjectés



7. UNE MAGNÉTOILE COMMENCE SA VIE en tant que supernova, une explosion d'étoile. Durant l'explosion, l'étoile à neutrons se transforme en une puissante source de rayonnement gamma à répétition. Cette phase dure 10 000 ans environ, après quoi, durant 40 000 ans environ, l'étoile à neutrons devient un pulsar X «anormal», une étoile à neutrons à la rotation particulièrement lente. Finalement, la magnétoile n'émet plus de rayonnement décelable et devient un objet sombre.

de leur lieu de naissance. Les astrophysiciens supputent que le fort champ magnétique des magnétoiles, 1 000 fois plus intense que celui des étoiles à neutrons ordinaires, focalise les neutrinos émis juste après l'explosion. Comme un tuyau d'arrosage qui part dans la direction opposée à celle du jet d'eau, par réaction, l'étoile à neutrons résultante est accélérée jusqu'à 1 000 kilomètres par seconde. Les observations confirment la mobilité des magnétoiles : on ne les observe pas au centre des vestiges de leur supernova, mais assez décentrées, voire très éloignées.

Autre caractéristique attendue : les magnétoiles perdraient leur énergie de rotation assez vite par émission d'ondes radio, car le freinage de la rotation est proportionnel au carré du champ magnétique et à l'inverse de la période. La vérification de cette prédiction n'était pas chose aisée, car l'allongement prévu n'est que de deux millisecondes par an. Grâce au satellite X de la NASA Rossi, Ch. Kouveliotou et ses collègues ont observé ce ralentissement.

Le modèle semble en mesure d'expliquer un autre mystère de l'astrophysique, celui des prétendus pulsars atypiques à rayons X. Ces derniers sont des étoiles à neutrons en rotation lente, sans compagnon apparent. Ils sont anormaux, dans le sens où ils sont plus lents que ce que l'on attendrait d'une étoile à neutrons isolée et que leur spectre X est plus mou. S'agit-il de vieilles magnétoiles ? La lenteur de leur

rotation corrobore cette idée, puisque la période de rotation des magnétoiles est supérieure à celle des étoiles à neutrons ordinaires.

Combien y a-t-il de magnétoiles ? Une supernova sur dix donnerait naissance à une magnétoile, c'est-à-dire environ une tous les mille ans (dans une galaxie comme la nôtre, il y a une nouvelle supernova par siècle). La raison n'en est pas très claire, mais cette fréquence est vraisemblablement liée aux détails de l'explosion. L'étoile à neutrons nouvellement formée commence son existence en rotation très rapide, ce qui engendre à l'intérieur de l'étoile un mécanisme qui multiplie son champ magnétique par un facteur compris entre 100 et 1 000. Pendant les 10 000 premières années de sa vie, la magnétoile est une source gamma à répétition, et connaît des périodes d'activité au cours desquelles elle émet soit une succession de sursauts courts et relativement faibles (à des intervalles de quelques années), soit un sursaut majeur (à peu près un par siècle). Elle évolue ensuite en un pulsar à rayons X anormal et reste observable sous cette forme pendant environ 40 000 ans environ. Après cette période, la magnétoile sombre dans l'inactivité et l'obscurité. Elle cesse d'évoluer et rentre dans les rangs des milliards d'objets sombres de notre Galaxie (voir la figure 6).

Si ces estimations sont justes, il devrait y avoir, à un moment donné, environ dix sources gamma à répétition

dans notre Galaxie. Jusqu'à aujourd'hui, nous en avons trouvé trois, dont deux dans notre Galaxie. Ces derniers mois, Ch. Kouveliotou, E. Mazets et moi-même avons analysé les données de nos expériences et en avons conclu à la présence d'une troisième magnétoile au sein de notre Galaxie. Cet objet, SGR 1627-41, a les mêmes caractéristiques que les trois autres magnétoiles, à savoir la répétition, le spectre énergétique mou, les sursauts courts et une localisation près d'un reste de supernova avec une émission de rayonnement X associée.

Nous avons peut-être ainsi identifié le tiers des magnétoiles de notre Galaxie, mais il est également possible que la théorie surestime légèrement le nombre d'objets de ce type en activité à un moment donné. En astrophysique, un résultat exact à un facteur trois près constitue déjà une approximation satisfaisante.

Des prédictions vérifiables sont souvent le talon d'Achille d'un modèle par ailleurs solide. Faute de prévisions, un modèle peut être impossible à vérifier, mais, dans le cas où des prédictions sont possibles, elles conduisent souvent à l'abandon du modèle, quand les observations les mettent en défaut. Jusqu'à présent, le modèle de la magnétoile a passé avec succès les tests qu'on a pu lui faire subir.

À mesure que le temps passera et que nous en apprendrons davantage sur ces étranges objets grâce à une instrumentation spatiale plus élaborée, nous devons peut-être ajuster la théorie pour incorporer de nouvelles données. Ce modèle constitue pour l'instant la meilleure explication d'une énigme astronomique vieille de vingt ans, en invoquant les champs magnétiques les plus intenses connus de l'Univers.

Kevin HURLEY est astronome à l'Université de Berkeley.

K. HURLEY et al., *Precise Interplanetary Network Localization of a New Soft Gamma Repeater SGR1627-41*, in *Astrophysical Journal Letters*, vol. 519, pp. L143, 1999.

K. HURLEY et al., *ASCA Discovery of an X-ray Pulsar in the Error Box of SGR1900+14*, in *Astrophysical Journal Letters*, vol. 510, pp. L111, 1999.

K. HURLEY et al., *A Giant Periodic Flare from the Soft Gamma Ray Repeater SGR1900+14*, in *Nature*, vol. 397, p. 41, 1999.