

de l'étoile et entraînerait l'effondrement de son cœur, alors que son combustible nucléaire n'est pas totalement épuisé. Le résultat serait alors désastreux. La compression du cœur accélérerait la fusion qui s'emballerait, brûlant presque tout instantanément. Cette brusque libération d'énergie renverserait l'effondrement et ferait exploser l'étoile. Elle ne laisserait même pas d'étoile à neutrons derrière elle.

Ces explosions nucléaires géantes produiraient des nuages de débris 1000 fois plus radioactifs que ceux des supernovæ ordinaires. Et puisque ces nuages sont supposés extrêmement massifs et opaques, la lumière mettrait une année ou plus à s'en échapper. Les astronomes s'attendent donc à ce que les suites de ces explosions soient particulièrement brillantes et durables. Quelques-unes des ultranovæ récemment découvertes présentent ces caractéristiques. Il n'est pas encore clair pour les astronomes si ces observations confirment ce scénario ou si d'autres explications sont possibles. De futures observations d'autres événements aussi brillants et prolongés permettront peut-être de mieux identifier la composition et la vitesse du nuage de débris stellaires, et ainsi de confirmer ou d'infirmer ce scénario.

Une autre idée pour expliquer les ultranovæ est qu'elles auraient leur origine dans des étoiles de masse légèrement plus faible que les précédentes (autour de 70 à 150 masses solaires). On pense que ces étoiles sont sujettes à des instabilités comparables à celles de leurs sœurs plus massives, mais les conditions sont souvent moins sévères. Quand l'étoile commence à s'effondrer et que la fusion rapide de son carburant nucléaire s'enclenche, la force s'opposant à la gravité pourrait reprendre le dessus. L'étoile rebondirait, se dilaterait et mettrait un frein aux réactions nucléaires avant qu'elles ne soient hors de contrôle. L'astre retrouverait l'équilibre. Mais dans le processus, il aura probablement soufflé une bonne partie de ses couches externes, produisant une supernova « imposteur » : un sursaut qui ressemble à une pâle supernova.

Les étoiles de cette gamme de masses pourraient subir plusieurs de ces hoquets, perdant à chaque fois un peu plus de matière, jusqu'à ce qu'elles finissent par

épuiser leur combustible nucléaire. Elles exploseraient alors comme des supernovæ ordinaires, en expulsant leurs débris dans un environnement déjà encombré par la matière rejetée lors des crises précédentes. La collision violente du nuage de débris de la supernova avec ces restes devrait produire des feux d'artifice extrêmement brillants, qui expliqueraient certaines des ultranovæ.

En 2009, les astronomes ont remarqué ce qui ressemblait à une supernova assez ordinaire, quoique pâle. Nommée SN2009ip, elle a disparu en quelques semaines et a ensuite été essentiellement oubliée. Un an plus tard, à la surprise générale, on

observait une autre « supernova » pâle exactement au même endroit. Apparemment, l'étoile n'était pas encore morte. En 2012, les astronomes ont repéré une troisième bouffée, puis un mois plus tard une autre, très lumineuse cette fois-ci.

Certains chercheurs pensent que l'avant-dernier événement correspondait à la mort réelle de l'étoile, et que le dernier éclat, le plus lumineux, résultait du choc entre le nuage de débris de la supernova et le matériau laissé par les précédents hoquets. D'autres pensent que l'étoile est encore en vie et continuera à nous offrir son spectacle épisodique. Ce qui est certain, c'est que nous venons d'assister à un type d'instabilité violente dont souffrent certaines étoiles massives.

Enfin, une troisième théorie des ultranovæ considère que leur luminosité inhabituelle a moins à voir avec la masse énorme des étoiles qu'avec leur vitesse de rotation extrême. Des astres de 10 à 60 masses solaires produisent vraisemblablement des supernovæ ordinaires, laissant en leur cœur une étoile à neutrons. Mais si l'étoile initiale était en rotation rapide, l'effondrement accélérerait cette rotation jusqu'à des vitesses extrêmes, de la même façon qu'un patineur déjà en rotation tourne plus vite quand il ramène ses bras près du corps. En principe, une étoile à neutrons peut atteindre des vitesses de rotation de l'ordre de 1000 tours par seconde ; au-delà, la force centrifuge la disloquerait.

L'énergie cinétique emmagasinée dans une « toupie » aussi massive est énorme.

Comment pourrait-elle déclencher une ultranova ? Les étoiles à neutrons ont des champs magnétiques très intenses qui peuvent transporter cette énergie. Pour comprendre comment, imaginez que vous fassiez tourner un aimant de réfrigérateur dans la paume de votre main. Ce faisant, vous tordez le champ magnétique qui l'entoure. Même si vous ne pouvez pas le voir ni le sentir, une petite partie de l'énergie que vous avez dépensée pour faire tourner l'aimant est emportée dans l'espace sous la forme d'ondes électromagnétiques.

Nous pensons que le même processus se produit aussi, à bien plus grande échelle, autour des étoiles à neutrons. On en aurait un exemple spectaculaire avec la nébuleuse du Crabe (voir la figure page 62), qui correspond aux vestiges d'une supernova consignée par les astronomes chinois en l'an 1054 de notre ère. Aujourd'hui, la lumière qui nous parvient de la nébuleuse est alimentée par une étoile à neutrons en rotation qui engendre un tourbillon de plasma aimanté. Depuis un millier d'années, le champ magnétique déformé a extrait de l'énergie de rotation de l'étoile à neutrons et chauffé le gaz environnant, alimentant ce magnifique spectacle.

En 2010, Lars Bildsten, de l'université de Californie à Santa Barbara, et moi avons suggéré qu'une version extrême de ce processus expliquerait la forte luminosité de certaines ultranovæ. L'étoile à neutrons devrait dans ce cas présenter un champ

Certaines
explosions stellaires
sont anormalement brillantes,
**100 fois plus
lumineuses que
les supernovæ
ordinaires**

LA MÉNAGERIE DES SUPERNOVÆ

Les explosions en supernova, qui marquent la mort des étoiles, présentent une variété beaucoup plus grande que ne le pensaient les astronomes. Des observations récentes ont révélé des supernovæ 100 fois plus brillantes que d'habitude, ainsi que des explosions mineures qui émettent 100 fois moins de lumière que la normale. Les théoriciens ont élaboré plusieurs hypothèses pour expliquer quels types d'étoiles donnent lieu à certaines de ces explosions hors norme.

ORDINAIRE

Dans une supernova typique, le cœur d'une étoile de masse au moins 10 fois supérieure à celle du Soleil s'effondre en laissant un vestige dense, une étoile à neutrons. Les couches externes explosent en créant une onde de choc supersonique.

COLLISION D'ÉTOILES À NEUTRONS

Les astronomes suggèrent que, lors de la fusion de deux étoiles à neutrons, l'essentiel de leur masse crée un trou noir, mais qu'une petite partie peut s'en échapper et créer ainsi une « kilonova » faiblement lumineuse.

MAGNÉTOILE

L'effondrement d'une étoile en rotation rapide peut produire une étoile à neutrons dotée d'un fort champ magnétique : une magnétoile. L'énergie de rotation, transmise à la matière environnante par ce champ, produirait une supernova ultraluminaire.

FAUSSE ALERTE

Une étoile peut amorcer le processus de supernova mais retrouver l'équilibre, soufflant juste une partie de ses couches externes. Quand l'étoile finit par exploser vraiment, les débris heurtent les couches éjectées auparavant, créant un éclair ultrabrillant.

PAIRES DE PARTICULES

Le cœur brûlant d'une étoile très massive produirait des paires particule-antiparticule. L'étoile deviendrait alors instable et exploserait prématurément, et si vite qu'elle ne laisserait ni étoile à neutrons ni trou noir derrière elle.

EFFONDREMENT TOTAL

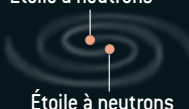
Les étoiles les plus massives de toutes ne produiraient, de façon paradoxale, qu'une faible lueur : leur gravité extrême conduirait à concentrer presque toute leur masse dans un trou noir, dont très peu de matière s'échapperait.

Étoile de départ : 10 masses solaires ou plus



Étoile à neutrons

Étoile à neutrons



Étoile à neutrons



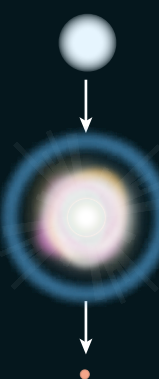
Trou noir

Étoile de départ : 10 masses solaires ou plus



Magnétoile

Étoile de départ : 70 à 150 masses solaires



Étoile à neutrons

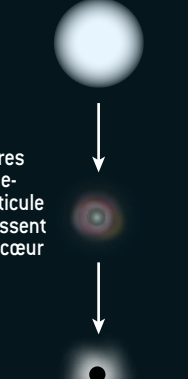
Étoile de départ : 150 à 300 masses solaires



Des paires particule-antiparticule apparaissent dans le cœur

Pas d'étoile résiduelle

Étoile de départ : 300 à 1 000 masses solaires



Trou noir

