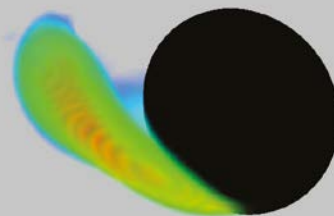


1



2



© François Foucart, Lab. américain Lawrence-Berkeley, université de Californie, Berkeley

UNE ÉTOILE À NEUTRONS (*en vert*) fusionne avec un trou noir dans cette simulation numérique. L'étoile à neutrons est d'abord déformée par l'attraction du trou noir [1 et 2] jusqu'à créer une queue [3]. Elle finit par s'enrouler autour du trou noir [4] avant d'y être engloutie. Le processus s'apparente au scénario qui décrit la fusion de deux étoiles à neutrons et qui pourrait expliquer certaines supernovæ peu lumineuses.

■ L'AUTEUR



Daniel KASEN est astrophysicien à l'université de Californie à Berkeley, aux États-Unis, ainsi qu'au laboratoire américain Lawrence-Berkeley.

que les supernovæ ordinaires, tandis que d'autres sont cent fois moins brillantes. Certaines sont rouge foncé, d'autres ultraviolettes. Certaines brillent fortement des années durant, d'autres disparaissent en quelques jours. Les morts d'étoile sont infiniment plus variées que les chercheurs ne l'avaient pensé.

Pour comprendre cette diversité d'explosions stellaires, les astronomes tentent de déterminer les mécanismes en jeu. En étudiant ces événements, ils en sauront plus sur la vie et la mort de ces étoiles, ainsi que sur les processus physiques à l'œuvre dans les conditions les plus extrêmes de température, de densité et de gravité.

Les supernovæ ont aussi quelque chose à nous apprendre sur nos origines. Après le Big Bang, l'Univers ne contenait essentiellement que les plus légers des atomes : de l'hydrogène et de l'hélium. D'après la théorie de la nucléosynthèse stellaire, tout le reste (le calcium de nos os, le fer de notre sang, etc.) a été engendré par la fusion nucléaire se déroulant au cœur des étoiles, puis expulsé lors de l'explosion de celles-ci. On pensait que les supernovæ ordinaires créaient les éléments les plus lourds, mais la découverte de tant d'explosions hors norme suggère à présent que diverses cases du tableau périodique des éléments pourraient avoir des origines différentes. En observant un grand nombre de supernovæ très variées, nous devrions être en mesure de déterminer plus précisément

comment toute une gamme d'explosions stellaires a pu contribuer à produire le mélange d'éléments dont sont constituées notre planète et toute la vie qu'elle abrite.

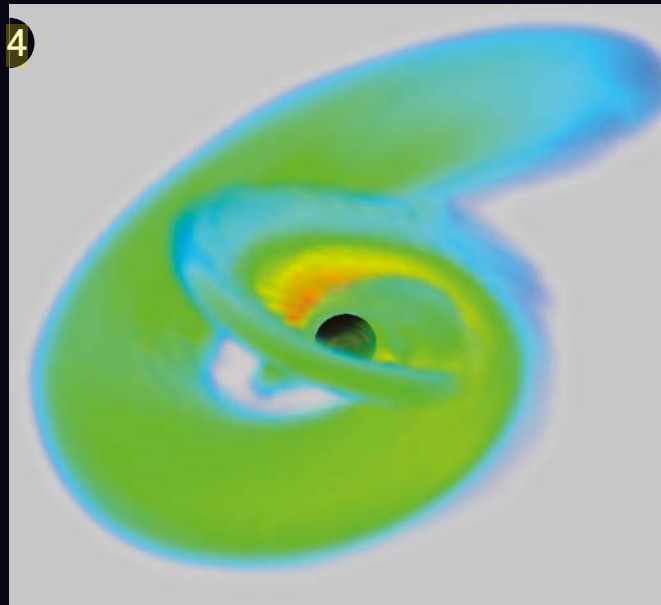
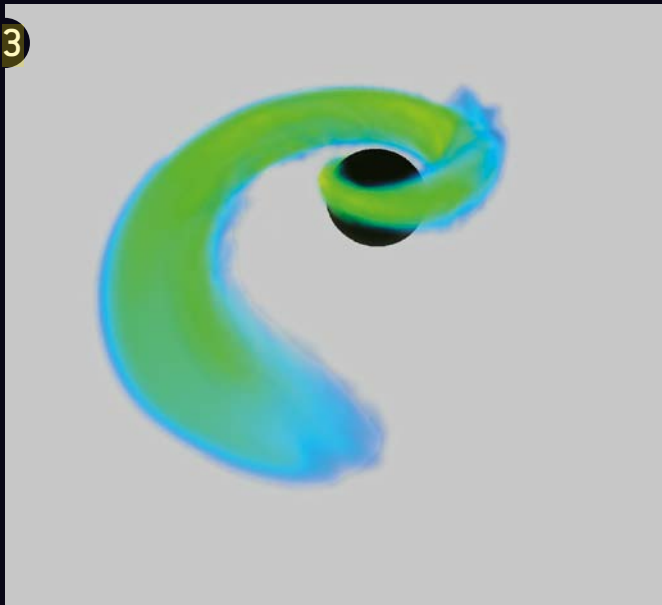
Pour comprendre à quel point certaines des supernovæ que nous découvrons sont étranges, commençons par nous intéresser aux supernovæ classiques, qui sont déjà en elles-mêmes des phénomènes extraordinaires.

Catastrophe stellaire

Une étoile est une sorte de réacteur nucléaire stable : une énorme boule de plasma (c'est-à-dire un gaz chaud de particules électriquement chargées), liée par la gravité et alimentée par la fusion nucléaire au sein de son cœur comprimé. La chaleur issue de la fusion contrecarre la gravité et maintient l'étoile dans un état d'équilibre. Une explosion de supernova résulte d'une instabilité catastrophique dans cet équilibre des forces, quand la gravité l'emporte sur la combustion nucléaire, ou l'inverse.

Parmi les supernovæ classiques, on distingue différentes catégories. Nous laisserons ici de côté les « supernovæ de type Ia », importantes pour les cosmologistes et qui impliquent des naines blanches (des étoiles de masse comparable à celle du Soleil et de taille du même ordre que celle de la Terre).

Les supernovæ les plus répandues sont dites à effondrement de cœur. Elles concernent des étoiles de taille modérée



et faisant 10 masses solaires ou plus. Ces astres vivent des millions d'années pendant que leur hydrogène subit des réactions de fusion et forme des éléments de plus en plus lourds (hélium, carbone, oxygène, etc.). Une fois que tout a été transformé en fer, la fusion ne produit plus d'énergie mais en requiert. Elle ne peut donc plus se poursuivre. Il n'y a alors plus de force pour contrebalancer la gravité. La partie la plus profonde du cœur de l'étoile s'effondre sur elle-même et voit son volume comprimé d'un facteur un million, se transformant en un noyau ultradense, nommé étoile à neutrons : une boule de seulement quelques kilomètres de diamètre, mais de masse supérieure à celle du Soleil. L'énorme quantité d'énergie libérée lors de l'effondrement gravitationnel souffle le reste de l'étoile en un gigantesque feu d'artifice.

Pour se faire une idée de la puissance d'une explosion de supernova typique, disons qu'elle est comparable à celle qui serait libérée si le Soleil consommait toutes ses réserves d'hydrogène (de quoi entretenir sa combustion nucléaire pendant plus de 10 milliards d'années) en quelques secondes. Quand une supernova explose, la température interne de l'étoile monte à environ 3 milliards de degrés. Cela déclenche une onde de choc supersonique qui laisse dans son sillage un mélange d'éléments lourds fraîchement fusionnés, tels que du silicium, du calcium, du fer et des isotopes radioactifs du nickel, du cobalt et du titane.

En quelques minutes, l'étoile est soufflée en un nuage de cendres et de débris radioactifs, éjectés à une vitesse de 30 millions de kilomètres par heure, soit quelques pour cent de la vitesse de la lumière.

Le Soleil est trop peu massif pour finir en supernova, mais si c'était le cas, la première manifestation sur Terre en serait un bref éclair de rayons X intenses qui tuerait toute vie sur la planète. En quelques minutes, le nuage de débris solaires doublerait de taille et deviendrait un millier de fois plus brillant que le Soleil, mais il resterait trop opaque pour libérer toute la lumière piégée. Au bout de quelques heures, le nuage engloberait la Terre. Après quelques semaines, les cendres du Soleil auraient envahi tout le Système solaire. À ce stade, le nuage de débris deviendrait translucide et la lumière s'en échapperait, atteignant un pic d'environ un milliard de fois la luminosité solaire avant de pâlir définitivement.

Les astronomes n'observent presque jamais le bref éclair de rayons X émis par une supernova, et ils ne sont que rarement en mesure de retrouver une image d'archive de l'étoile telle qu'elle était avant son explosion. En général, on n'enregistre que la suite du processus : le nuage géant de débris radioactifs en expansion qui luit pendant des semaines, voire plus longtemps. En examinant cette lumière et les cendres, les astronomes tentent de reconstituer le passé de cette étoile, quel était son type et pourquoi elle a été détruite.

Parmi les supernovæ insolites récemment découvertes, les plus spectaculaires sont peut-être les explosions hyperénergétiques (ce que j'appelle des ultranovæ) qui sont au moins 100 fois plus lumineuses que les supernovæ ordinaires. Ce sont les supernovæ les plus brillantes, de sorte qu'elles sont visibles pratiquement jusqu'aux frontières de l'Univers observable. De tels événements sont très rares : il s'en produit peut-être un pour mille supernovæ ordinaires. Les astronomes n'ont pas encore assez d'éléments probants pour expliquer pourquoi ces explosions sont si brillantes, mais ils ont esquissé trois scénarios possibles. L'un d'eux explique peut-être toutes les ultranovæ que nous voyons, mais il est plus probable que les trois processus coexistent.

Des supernovæ ultrabrillantes

L'idée la plus naturelle est d'associer les ultranovæ aux étoiles extrêmement massives. Ces étoiles très grosses sont sensibles à toute une série d'instabilités. En particulier, le cœur des étoiles pesant entre 150 et 250 masses solaires pourrait devenir tellement chaud qu'un déluge de paires de particule matière-antimatière (plus précisément, des électrons et des positrons) s'y formerait. La production de ces particules a un coût énergétique qui saperait la force de pression s'opposant à la gravité