Nova et Supernova

Luberon Sud Astro
Patrick Sogorb
05/05/2023

Origine du nom

Le nom “nova” (pluriel novas ou novae) vient du latin et signifie “nouveau”. Ce mot désigne donc des astres d’aspects stellaires, qui apparaissent soudainement puis disparaissent progressivement un peu plus tard. La période de visibilité est comprise entre quelques jours et quelques mois.

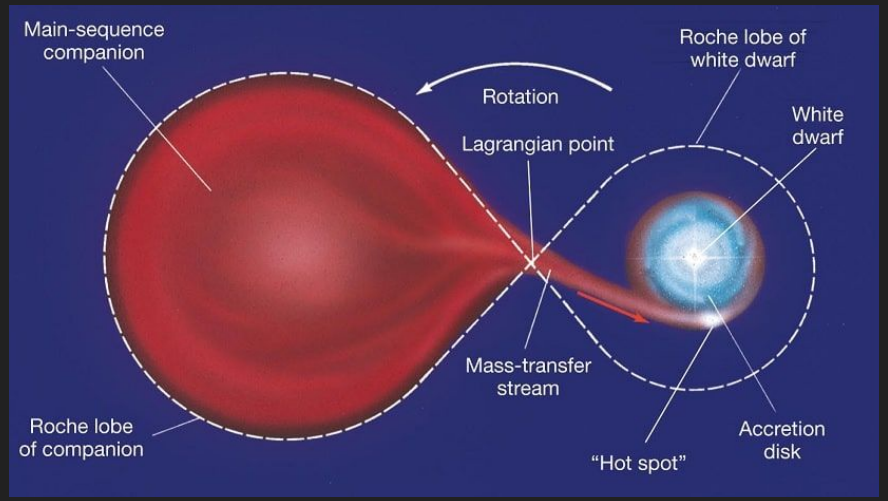
Les premières Novae observées datent de l’antiquité. Les astronomes les ont d’abord pris pour des étoiles en train de naître. Au contraire, le phénomène nova est en réalité lié à des étoiles qui sont dans un stade avancé de leur vie. Ces objets restent non résolus quelque soit l’instrument. Tout ce que l’on sait aujourd’hui des Novae a pu être établi grâce à l’étude spectroscopique de la lumière.

Une étoile binaire évoluée

L’étoile binaire qui va donner une nova est généralement composé d’une étoile en fin de vie, au stade de naine blanche (le stade qui succède à la nébuleuse planétaire) associé à une étoile de type géante rouge, donc un peu moins évolué, mais elle aussi en fin de vie.

La naine blanche est très petite (de l’ordre de la dizaine de km), tandis que la géante rouge est énorme (de l’ordre de la taille de l’orbite de la Terre). C’est cette différence de taille qui explique le phénomène nova.

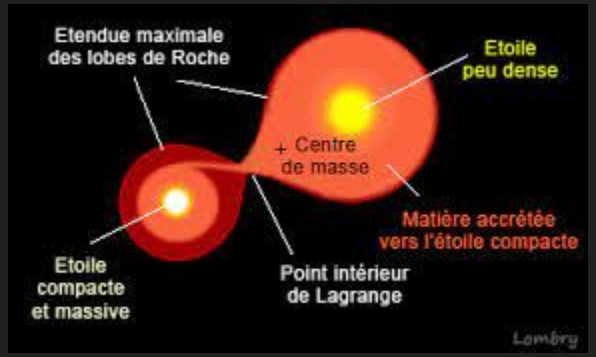
Point de Lagrange et lobe de Roche



Le point de Lagrange P1 permet de définir deux lobes de Roche en forme de sphères déformées qui sont les zones d'attraction gravitationnelle de chaque composante.

(voir exposé Luberon Sud Astro http://astrosurf.com/lubsudastro/expose s/2018_les_mouvements_des_planetes .pdf)

Echange de Matière



La taille des lobes de Roches est liée à la masse des étoiles, mais aussi à leur éloignement.

Or la taille de la géante rouge peut excéder parfois celle de son lobe de Roche. Soit parce que c’est son évolution naturelle, soit parce que les orbites elliptiques des étoiles les conduisent à se rapprocher momentanément et la taille des lobes diminue alors d’autant.

A ce moment-là, la matière de l’étoile géante peut alors chuter sur la plus petite, en formant un disque d'accrétion.

La gravité intense de l’étoile naine fait que la matière à l'intérieur du disque d'accrétion est compressée et chauffée très fortement. La pression et la température augmentent progressivement au point d’arriver sur les conditions que l’on trouve normalement au centre des étoiles.

Des réactions de fusion nucléaire y ont alors lieu. Or cette zone est en visée directe depuis la Terre, contrairement aux centres des étoiles. On assiste alors à une brusque augmentation de rayonnements à toutes les longueurs d’onde, et la nova devient alors beaucoup plus lumineuse.

Le phénomène est en général très bref et s’apparente plus à une explosion qu'à un échange tranquille de matière. D’ailleur les novae sont classées parmis de étoiles variables de type “explosives”

Comme l’une des causes possible est liée aux orbites des composantes, certaines nova sont dites récurrentes et reviennent à intervalles réguliers.

Cependant le phénomène nova ne dure pas très longtemps dans la vie du couple stellaire car soit:
- La géante rouge perd suffisamment de matière et ne parvient plus à remplir son lobe de Roche.
- Si suffisamment de matière est passée, alors la naine blanche pourra donner éventuellement une supernova.

Supernovae

Sous ce terme on va trouver tout ce qui touche à la fin de vie des étoiles géantes. Ces étoiles finissent leur vie dans une gigantesque explosion.

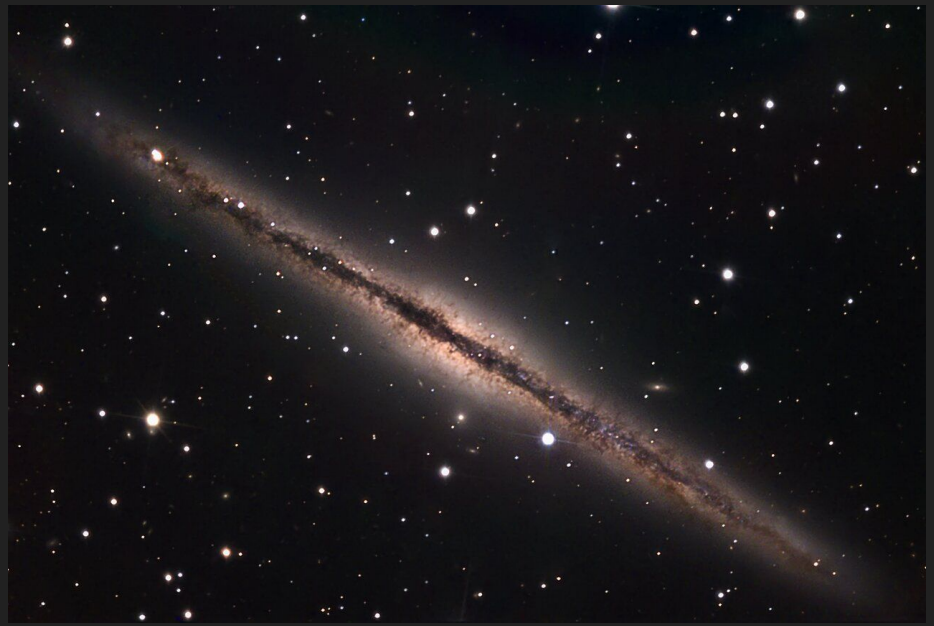
Lors de ces événements, l’étoile rayonne pendant une brève période autant d’énergie qu’une galaxie entière.

A l’échelle de temps d’une vie humaine, les supernovae sont des phénomènes rares, puisque dans une galaxie moyenne (de même type que la nôtre) on peut en observer quelques-unes par siècle.

Cependant, dans notre galaxie, nous en observons beaucoup moins. L’histoire de l’humanité en a retenu quelques-unes. Certaines étaient si lumineuses qu’elles étaient visibles en plein jour.

Ce manque d’observations vient du fait que nous sommes très mal placés pour observer notre Galaxie, puisque nous sommes à l'intérieur. La majorité des supernovae nous sont cachées par les nuages de gaz et de poussière qui composent notre Galaxie.

De la même manière, les galaxies spirales vue de face nous montrent presque toutes leurs supernovae, tandis que celle vues par la tranche nous en cachent une bonne partie



Les galaxies les plus prolifiques en SN sont NGC6946 (10 SN), NGC 3147 (8 SN) et M83 (6 SN).

Classification des supernovae

Historiquement, la première classification est basée sur l’analyse du spectre et la présence ou pas de raies de l’hydrogène:

- type I: pas de raies de l'hydrogène visibles
- type II: raies de l’hydrogène visibles

et en fonction de la présence ou non de silicium et d’hélium, on a créé les catégories: Ia, Ib, Ic, IInormal, IIb IIL, IIp…

Mais cette classification basée sur l’analyse spectrale ne reflète pas la nature exacte des événements. Donc une autre classification voit le jour

Classification des supernovae

Les supernovae thermonucléaires: correspondant au type Ia (impliquant une interaction avec une seconde étoile)

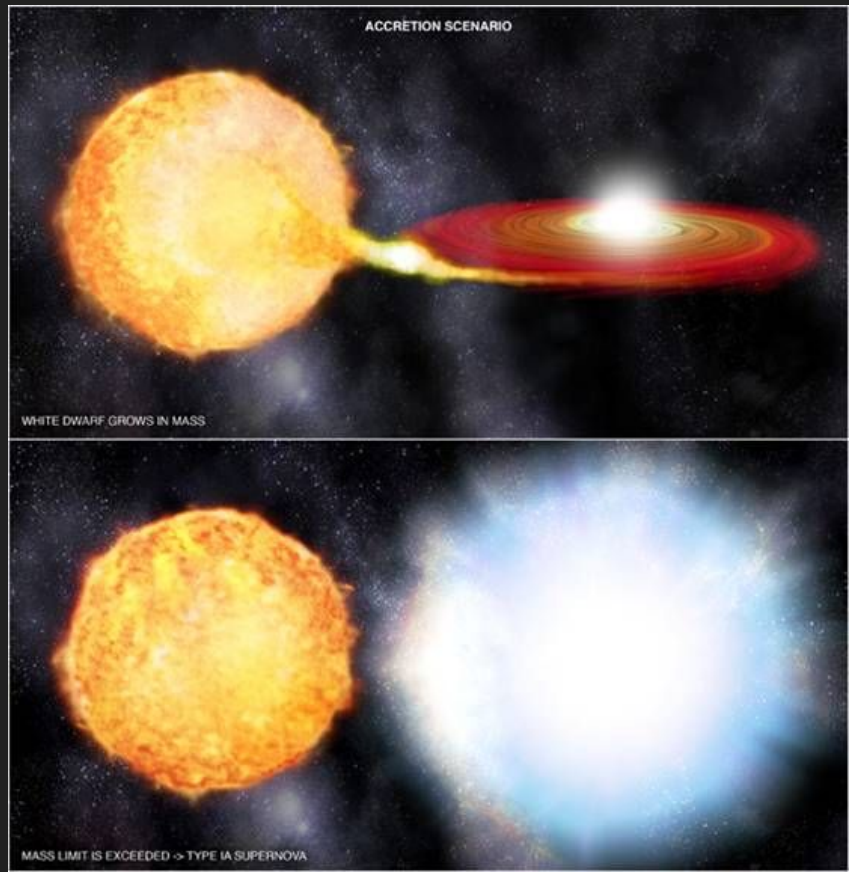
Les supernovae à effondrement de cœur: correspondant au type II, mais aussi au type Ib et Ic (ces dernières correspondent à des étoiles ayant au préalable perdu leur couche H ou leurs couches H et He)

Supernovae thermonucléaires ou type Ia

Ce type de supernovae se rencontre au sein d’un couple d’étoiles, dont l’une est une naine blanche composée de carbone et d'oxygène. La matière est alors sous forme complètement dégénérée. A ce stade, il n’y a pas de réactions de fusion nucléaire dans l’étoile. Mais elle avale la matière de la seconde étoile. On trouve alors des épisodes de Nova qui réchauffent le cœur et la surface de l’étoile, tandis que sa masse augmente.

Supernovae thermonucléaires ou type Ia

Arrivé à la masse de Chandrasekhar (1.44 masse solaire), l'ensemble de l'étoile rentre en fusion et l'énergie libérée est très supérieure à l'énergie de liaison gravitationnelle, c'est alors la phase thermonucléaire. Durant cette phase les éléments plus lourds comme le Nickel, le Cobalt et jusqu'au Fer sont créés.



Supernovae thermonucléaires ou type Ia

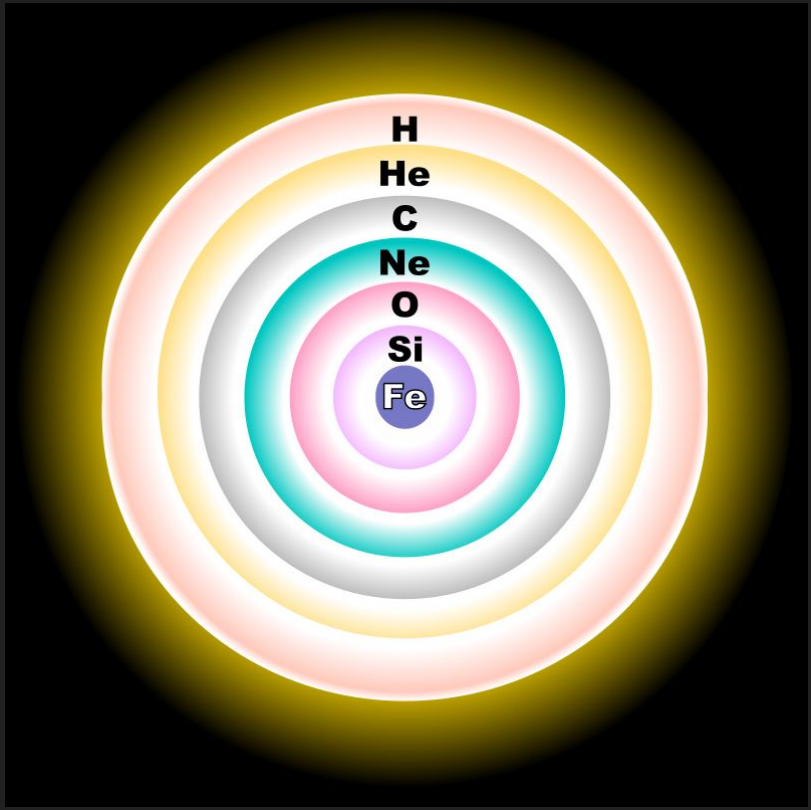
Ce type de supernovae n’est donc possible que lorsque les étoiles atteignent la limite de 1.44 masse solaire. Les événements sont tous identiques et la luminosité est donc toujours la même (magnitude absolue de -19.3).

Cela permet donc d’utiliser ces supernovae comme des “chandelles cosmiques”, c'est-à-dire de très bons moyens de mesurer les distances. De plus, comme leur luminosité est très forte, elles sont visibles de très loin. Les observations de ce type de supernovae ont permis d’établir notamment que la vitesse d'expansion de l’univers est en augmentation, ce qui a conduit à l’hypothèse de l’énergie noire.

Supernovae à effondrement de coeur

Au cours de leur vie, les étoiles très massives (entre 8 et 40 masses solaires) synthétisent des éléments de plus en plus lourds, jusqu'au Fer. Or ce dernier est thermonucléairement inerte (on ne peut en extraire de l'énergie par fusion).

Lorsque le Fer commence à devenir dominant dans le noyau, les réactions faiblissent et la gravité l'emporte



Supernovae à effondrement de coeur

Le noyau se contracte alors, la densité augmente jusqu'à atteindre la pression de dégénérescence des électrons qui stoppe cette progression. Mais autour du noyau, le Silicium continue à se transformer en Fer et la masse du noyau continue à augmenter. Lorsqu’il atteint la limite de Chandrasekhar (1.44 masse solaire), la gravitation l’emporte sur la pression de dégénérescence des électrons et l’effondrement se produit alors.

Au centre, les protons et électrons fusionnent (en libérant aussi une grande quantité de neutrinos). Le cœur se trouve alors composé uniquement de neutrons. La densité atteint 10^{17} kg/m^3. L’effondrement s'arrête alors grâce à la force nucléaire forte.

Supernovae à effondrement de coeur

La matière environnante chute quasiment à la vitesse de la chute libre, puis rebondit sur le noyau. L’onde de choc repart vers la surface de l’étoile. Lorsqu’elle atteint la surface, sa vitesse peut atteindre 50% de la vitesse de la lumière. L’étoile devient une supernova à ce moment.

Cette onde de choc a une telle puissance que la quasi totalité de la matière de l’étoile est dispersée. Il ne reste que le noyau qui est devenu une étoile à neutrons.

L’énergie des supernovae

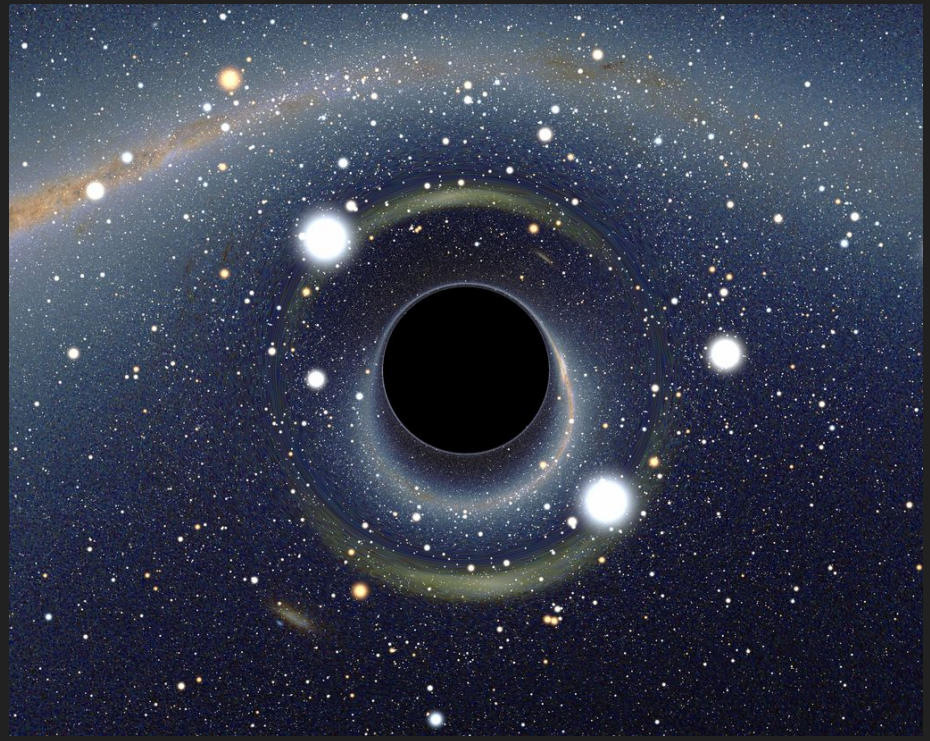
Nous avons vu que les supernovae peuvent être aussi lumineuses qu’une galaxie toute entière. Cependant, l’énergie lumineuse est très loin d’être majoritaire. Voici les ordres de grandeurs de la distribution de l’énergie d’une supernova:

- 0.01% de lumière produite
- 0.99% d’énergie cinétique (expulsion de la matière de l’étoile)
- 99% emportée par la production et l’expulsion des neutrinos

Supernovae à effondrement de coeur

A partir d’une masse initiale de l’étoile supérieure à 15 masses solaires ou si le noyau est supérieur à 3.2 masses solaires, la gravité est suffisante pour vaincre la force nucléaire forte qui empêchait l’effondrement de l’étoile à neutron. Et le noyau fini alors en trou noir de masse stellaire.

Une étoile de 20 masses solaire à 40% de chance de donner un trou noir, une étoile de 40 masses solaire à quasiment 100% de chance de donner un trou noir.



Supernovae dans l'histoire

- 1006 - Observation de la supernova la plus brillante observée sur Terre durant les temps historiques (SN 1006), dans la constellation du Loup.
- 1054 - La formation de la Nébuleuse du Crabe, dans la constellation du Taureau, observée par des astronomes chinois (SN 1054).
- 1181 - Supernova moins connue dans la constellation de Cassiopée (SN 1181).
- Vers 1300 - Une supernova ayant engendré le rémanent RX J0852.0-4622 (ou Vela Junior) s'est probablement produite, mais semble ne pas avoir été observée, malgré une certaine proximité avec la Terre.
- 1572 - Supernova dans Cassiopée, observée par Tycho Brahe, dont le livre *De Nova Stella* sur le sujet nous donna le mot « nova » (SN 1572).
- 1604 - Supernova dans Ophiuchus, observée par Johannes Kepler (SN 1604).
- 1885 - Première supernova de l'ère télescopique, observée dans la galaxie d'Andromède et visible à l'œil nu (SN 1885A).
- 1987 - Supernova 1987A - Ce fut la première occasion de mettre les théories modernes sur la formation des supernovas à l'épreuve des observations.

Impact sur la Terre?

L’énergie dégagée par les supernovae est gigantesque. Est-ce que la Terre pourrait y être exposée?

On estime qu’une supernova pourrait avoir un impact significatif jusqu'à une distance d’environ 1000 AL. A cette distance ou moins, il y a une supernova tous les 500 000 ans. Et on a trouvé dans les strates rocheuses des couches avec des isotopes particuliers (fer 60 notamment) qui sont créés par interaction avec les rayons cosmiques des supernovae. Sur les 20 derniers événements de ce type, il a été observé une hausse de la température de l’ordre de 3 à 4°c.

Au cas où une supernova surviendrait à moins de 50 AL, une extinction massive pourrait être attendue. On a actuellement des doutes sur une extinction datant de 445 millions d’années…

SN1987A

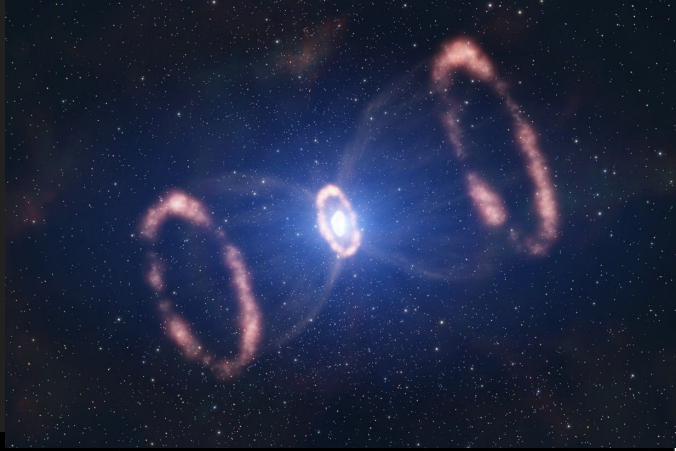
Le 24 Février 1987, a eu lieu une supernova proche, mais en dehors de notre galaxie. Située dans le grand nuage de Magellan (une des galaxies naines satellites de notre Voie Lactée), elle se trouve à 167 000 AL. La luminosité est montée à magnitude 3.
L'étoile précurseur était une supergéante bleue d'environ 20 masses solaires. La couleur de cette étoile est une surprise et n'est pas prévue par les modèles d'évolutions stellaires. C'est peut être le résultat d'instabilités ayant conduit à l'éjection de matière bien avant la SN…

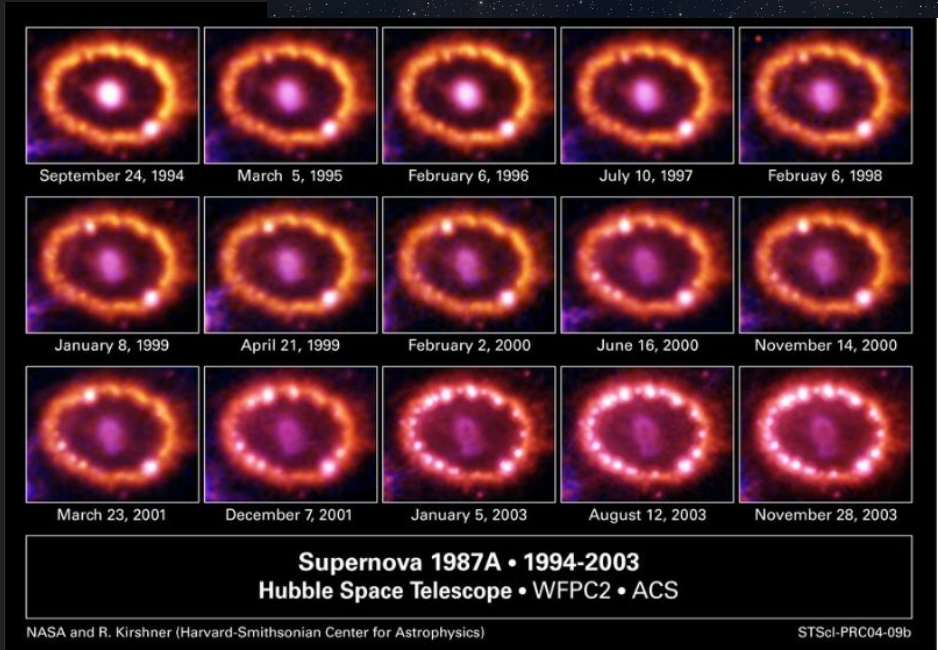
SN1987A

C’est pour l’instant la seule occasion de confronter les modèles avec les observations.
Environ 3h avant la découverte optique de la SN, une bouffée de neutrinos à été observée par 3 détecteurs répartis autour de la Terre. Ces trois détecteurs ont vus 24 neutrinos sur une période de 13s.
C’est le signe de l'effondrement du cœur et de la fusion proton-électron.

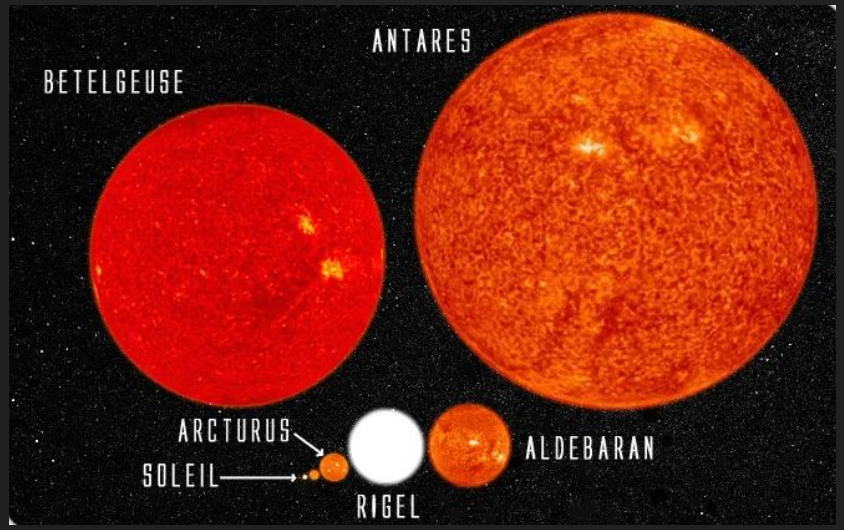
SN1987A

Les trois structures visibles (anneau central et anneaux latéraux) sont le résultat d’ éjection de matière préalables à la SN.
On a pu observer le premier anneau de matière s’allumer au début des années 2000 lorsque l’onde de choc de la SN a rattrapé puis dépassé.
Le trou noir ou l’étoile à neutron restant, ne sont pour l’instant pas détectés (à l’exception d’une observation contreverssée d’un pulsar dans les heures qui on suivi la SN)





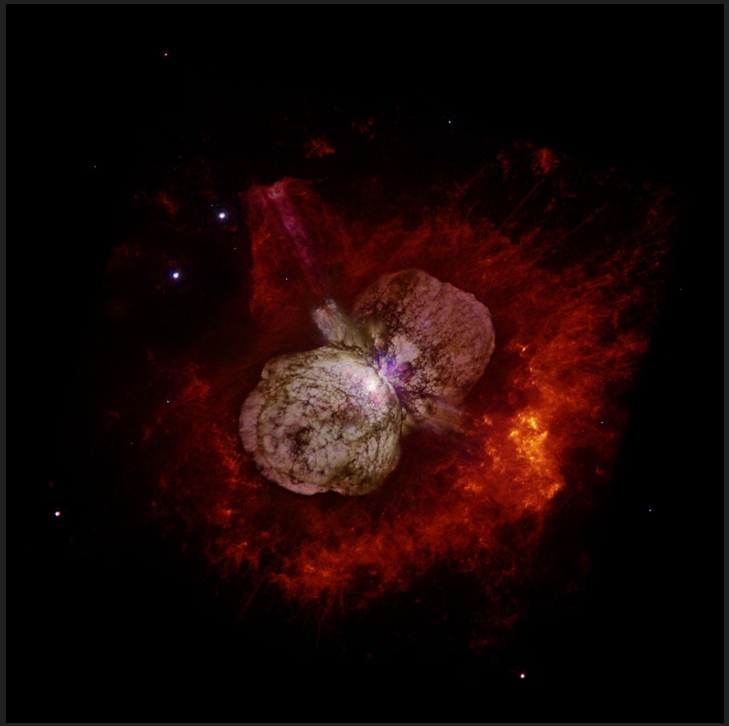
Prochaines SN…

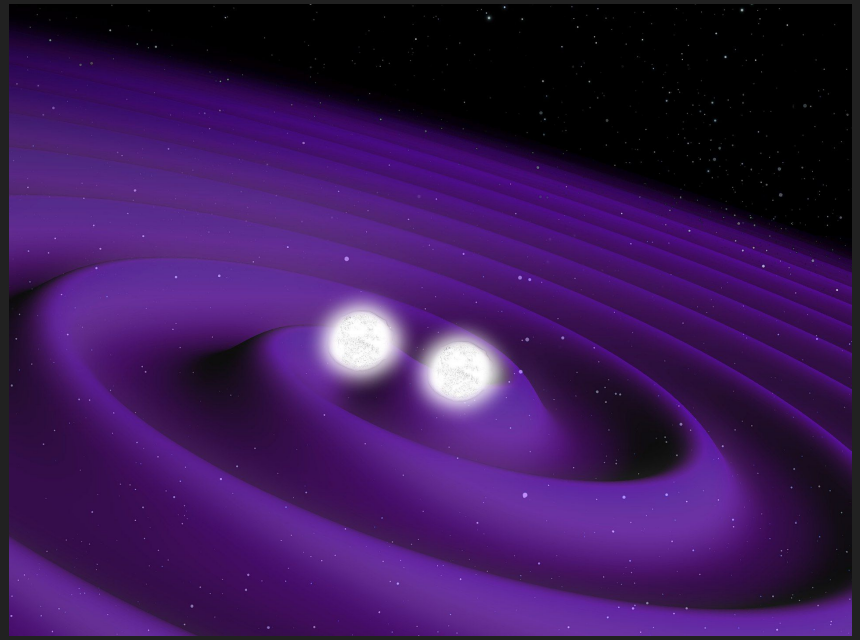


Étoiles candidates pour une supernova

Nom	Époque J2000		Constellation	Distance (années-lumière)	Type spectral	Notes
	A.D.	δ				
IK Pegasi	$21^h\ 26^m\ 26.7^s$	+19° 22′ 32″	Pégase	150	A8m:/DA	1,
Alpha Lupi	$14^h\ 41^m\ 56^s$	−47° 23′ 17″	Loup	550	B1.5	2
Antarès	$16^h\ 29^m\ 24^s$	−26° 25′ 55″	Scorpion	600	M1.5Iab-b	3
Bételgeuse	$05^h\ 55^m\ 10.3^s$	+07° 24′ 25″	Orion	640	M2Iab	4
Gamma^2 Velorum	$08^h\ 09^m\ 32.0^s$	−47° 20′ 12″	Voiles	800	WC8	
Pi Puppis	$7^h\ 17^m\ 08^s$	−37° 05′ 51″	Poupe	1100	K3 Ib	
119 Tauri	$05^h\ 32^m\ 12.8^s$	+18° 35′ 40″	Taureau	1700	M2Iab-Ib	
RS Ophiuchi	$17^h\ 50^m\ 13.2^s$	−06° 42′ 28″	Ophiuchus	1950–5200	M2III/D	
T Coronae Borealis	$15^h\ 59^m\ 30.2^s$	+25° 55′ 13″	Couronne boréale	2,000	M3III/D	5
HD 168625 (en)	$18^h\ 21^m\ 19.5^s$	−16° 22′ 26″	Sagittaire	2200	B6Ia	6
Mu Cephei	$21^h\ 43^m\ 30.5^s$	+58° 46′ 48″	Céphée	2400	M2Ia	7
T Pyxidis	$09^h\ 04^m\ 41.5^s$	−32° 22′ 48″	Boussole	3260		8, 9
HD 179821 (en)	$19^h\ 13^m\ 58.6^s$	+00° 07′ 32″	Aigle	3300	G5Ia	10, 11
VY Canis Majoris	$07^h\ 22^m\ 58.3^s$	−25° 46′ 03″	Grand Chien	4900	M5eIa	4, 12
P Cygni	$20^h\ 17^m\ 47.2^s$	+38° 01′ 59″	Cygne	6000	B1Ia+	
Eta Carinae	$10^h\ 45^m\ 03.6^s$	−59° 41′ 04″	Carène	7000–8000	LBV	13
WR 104	$18^h\ 02^m\ 04.1^s$	−23° 37′ 41″	Sagittaire	8000	WC9d/OB	14, 15
IRC+10420	$19^h\ 26^m\ 48.1^s$	+11° 21′ 17″	Aigle	10000–23000	F8Ia+	16, 17
Rho Cassiopeiae	$23^h\ 54^m\ 23.0^s$	+57° 29′ 58″	Cassiopée	12000	G2Ia0e	
Wray 17-96 (en)	$17^h\ 41^m\ 35^s$	−30° 06′ 39″	Scorpion	15000	B3	
Sher 25	$11^h\ 15^m\ 07.8^s$	−61° 15′ 17″	Carène	~20000	B1.5Iab	18
HD 179821 (en)	$19^h\ 13^m\ 58.6^s$	+00° 07′ 32″	Aigle	20000	G5Ia	11, 10
V445 Puppis (en)	$07^h\ 37^m\ 56.9^s$	−25° 56′ 59″	Poupe	27000		19
U Scorpii (en)	$16^h\ 22^m\ 30.7^s$	−17° 52′ 42″	Scorpion	39000		20
KPD 1930+2752 (en)	$19^h\ 32^m\ 14.9^s$	+27° 58′ 35″	Cygne		sdB/D	21

Au-delà des novae et des supernovae, il existe aussi des kilonovae et même des hypernovae, mais ceci est une autre histoire…





Et même cette autre forme de nova…

Sources

- Wikipédia
- Exposé “évolution stellaire” 1 et 2 par Nicole

Fin

Des questions?