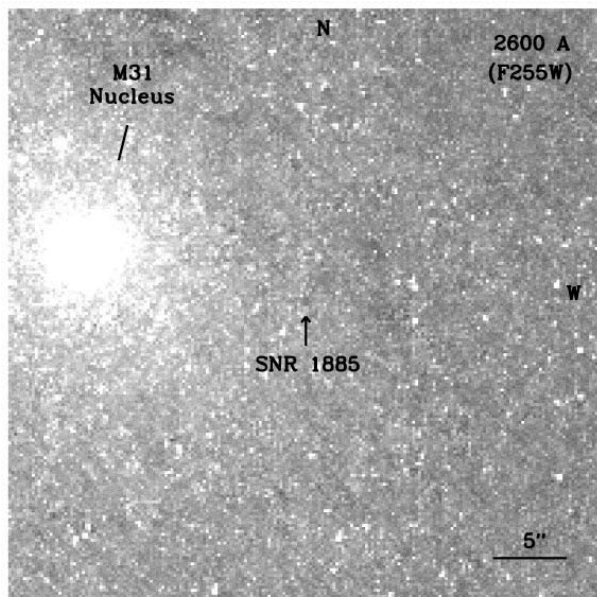


Supernovæ proches

La supernova SN1987a du Grand Nuage (à gauche du centre sur cette image) est à son maximum d'éclat en avril 1987 et apparaît à l'œil nu comme une étoile de 3^e grandeur. Sa teinte légèrement orangée contraste avec le rosé du cœur de la Tarentule, tout proche. Pose de 40 m sur pellicule Agfa 1000RS, ouverture F/8. Champ d'environ 6°.

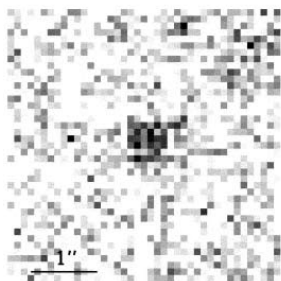
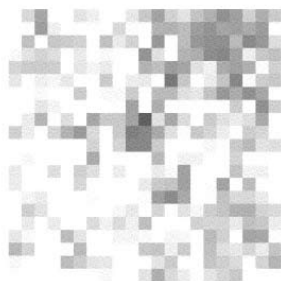
En août 1885 apparaissait la première supernova de l'ère moderne, et la première supernova extragalactique jamais enregistrée. Jusqu'alors quelques rares étoiles nouvelles, avaient fasciné les Anciens en devenant visibles en plein jour. Toutes ces étoiles appartenaient à notre Galaxie. SN 1885A – selon la désignation moderne des supernovæ, ou S Andromedae comme étoile variable – fut bien

plus faible que les supernovæ historiques et, si elle était à la limite de la visibilité à l'œil nu, ce n'est que grâce aux télescopes qu'on a pu la reconnaître. On ne parlait pas encore de supernova à l'époque, un terme, et un concept, qui n'apparurent qu'au début des années 1930 avec les travaux de Walter Baade et Fritz Zwicky. Jusque-là les astronomes groupaient sous le vocable de novæ toutes les étoiles



UV IMAGE

OPTICAL IMAGE



Vues par le télescope spatial Hubble de la région centrale de la galaxie d'Andromède où a explosé la supernova de 1885. En bas des zooms en ultraviolet et en lumière visible. (NASA/STScI)

ment l'intérêt et renforcer les conclusions de Baade et Zwicky.

Le caractère extrême de la « nova » d'Andromède de 1885 était évident. Comment une étoile de la galaxie d'Andromède avait-elle pu atteindre la sixième grandeur alors que les novæ de cette galaxie ne franchissaient pas toujours le seuil de la dix-septième. La nature du phénomène devait être totalement différente. L'éclat des unes égale celui cumulé de dizaines de milliers de soleils, alors que les autres peuvent rivaliser avec des milliards de soleils. Cela

nouvelles qui apparaissaient dans la Galaxie et ses grandes voisines comme Andromède au rythme de quelques dizaines par an.

Certaines supernovæ apparues dans des galaxies plus lointaines après celle de 1885 n'avaient pas spécialement attiré l'attention, probablement en raison de leur faiblesse. La plupart d'entre elles étaient au-delà de la 12^e magnitude et, sans les atlas profonds dont nous disposons maintenant, il n'était pas évident de les associer avec des galaxies.

Pourtant, en 1895, une brillante nova (huitième magnitude) dans la jolie galaxie proche NGC 5253 aurait pu susciter égale-

n'était pas connu en 1885 tout simplement parce que l'on n'avait aucune idée de la distance de la nébuleuse d'Andromède. Était-elle un nuage de gaz relativement proche, ou un amas d'étoiles très éloigné. Curieusement, l'apparition de la nova renforçait la première hypothèse. Personne ne pouvait croire qu'une étoile pût atteindre un tel éclat aux grandes distances requises par une hypothèse extragalactique.

Baade et Zwicky avançaient un second exemple, la nova très brillante de Tycho Brahe (en 1572). Visible en plein jour avec une magnitude comparable à celle de Vénus elle

était certainement exceptionnelle. Cependant, sa distance étant inconnue, elle pouvait être n'importe où, très près de nous ou loin dans la Galaxie. On pouvait au plus assurer que l'étoile était inconnue avant son explosion et que sa magnitude était donc au mieux de 5 ou 6, ce qui lui faisait une augmentation d'éclat encore compatible avec les novæ normales. Mais elle aurait pu au contraire avoir été une étoile de vingtième magnitude.

Alors qu'on ne connaît qu'une vingtaine de supernovæ avant les années 1930 et les travaux de Baade et Zwicky, les découvertes se sont ensuite accumulées à un rythme accéléré, en grande partie grâce au télescope Schmidt de 18 pouces du Mont Palomar mis en service en 1936. Zwicky découvrit lui-même 122 supernovæ entre 1937 et 1974.

Les profonds surveys actuels conduisent à des découvertes de plus en plus nombreuses. Ainsi 231 supernovæ ont été découvertes l'an passé. Grâce à ce fourmillement la taxonomie des supernovæ a fortement progressé. En 1941 Minkowski avait identifié deux types sur base d'un échantillon limité de 14 supernovæ. Le premier (I) comprenait 9 objets montrant des spectres très similaires, avec des raies très larges et sans trace d'hydrogène. Les cinq supernovæ du second groupe (II) montraient toutes les raies de Balmer de l'hydrogène, mais les spectres étaient beaucoup plus diversifiés. À l'évidence cette classification demandait des précisions. Dans les années 1960 la moisson abondante de nouvelles supernovæ permit à Zwicky d'aller au-delà de cette simple dichotomie et d'introduire des classes supplémentaires jusqu'à V. Depuis, grâce aux innombrables observations et aux modèles théoriques, le schéma a considérablement évolué et l'on favorise généralement un classement dans les deux classes originelles I et II, mais avec de nombreuses subdivisions.

Le type le plus connu (Ia) est aussi le plus représenté dans les récentes découvertes – 59 % en 2013 contre 32 % pour tout le type II. Il doit sa notoriété à une propriété très intéressante, l'éclat intrinsèque de ces supernovæ à leur maximum est à peu près le même pour toutes (une magnitude absolue de -19,3), ce

qui permet de les utiliser comme étalons – des « chandelles standard » – pour arpenter l'Univers jusqu'à ses confins. Cette propriété fait le bonheur des cosmologistes et leur a permis de découvrir des propriétés fondamentales du cosmos, comme l'accélération de son expansion.

Les statistiques que l'on peut faire maintenant permettent de conclure qu'une grande galaxie comme la nôtre doit héberger quelques supernovæ par siècle. Le problème avec la Voie lactée est que nous l'observons par la tranche, et que les nuages de poussière interstellaire affaiblissent considérablement l'éclat des astres lointains. Nous n'avons donc accès qu'aux supernovæ explosant à quelques milliers d'années-lumière.

En l'absence de cette extinction interstellaire, une supernova de type Ia explosant à 10 000 parsecs, une distance typique dans la Galaxie, aurait une magnitude d'environ -4, comparable à celle de Vénus (voir encadré). Cela semble bien en accord avec les ordres de grandeur des supernovæ historiques. Celle-ci sont peu nombreuses. Celles de 1006, 1054, 1572 et 1604 sont reconnues par l'Union Astronomique Internationale.

SN 1006 a explosé dans la constellation australe du Loup, et a été observée dans la plupart des régions du monde au sud du 50° parallèle. Ce fut peut-être la plus brillante des supernovæ historiques.

Magnitudes apparente et absolue

La magnitude absolue est la magnitude apparente qu'aurait l'astre à la distance de 10 parsecs. Un facteur dix dans la distance entraîne un facteur cent pour l'éclat et donc un écart de cinq magnitudes. À 10, 100, 1000 et 10 000 parsecs, une supernova Ia aurait une magnitude apparente de, respectivement -19,3, -14,3, -9,3 et -4,3. Cela peut se mettre en équation avec les logarithmes :

$$m = M + 5 \log D - 5,$$

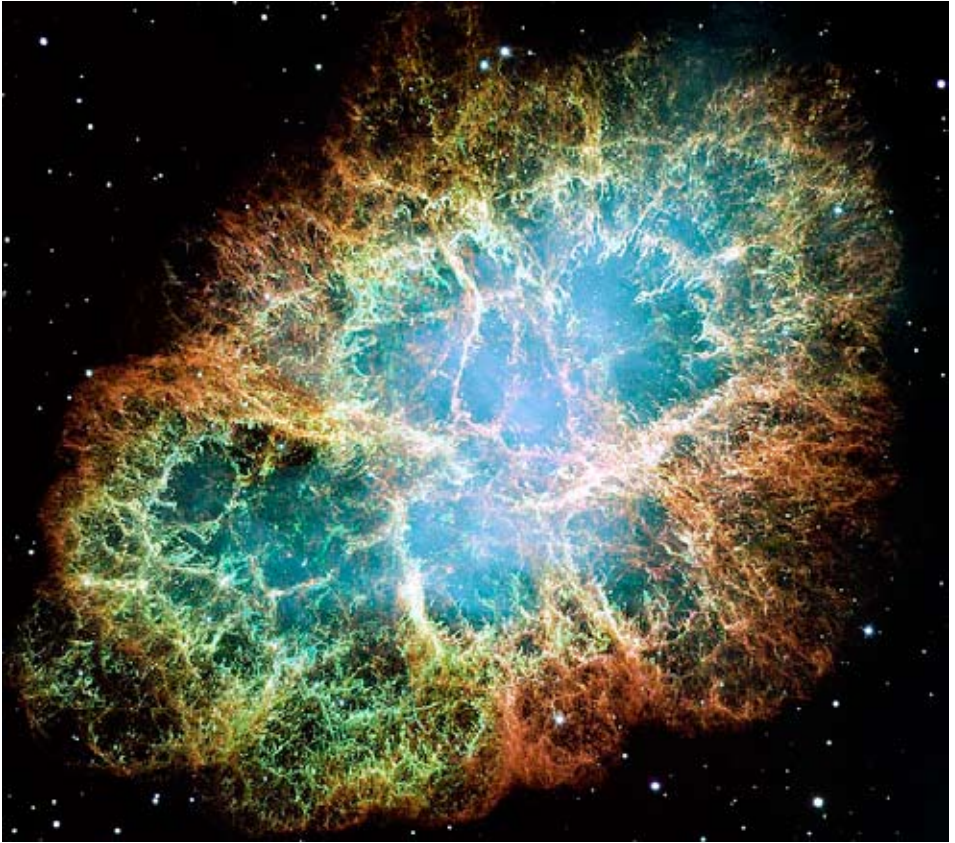
où m est la magnitude apparente, M la magnitude absolue et D la distance en parsecs.



La nébuleuse SNR 327.6+14.6 a été produite par la supernova SN 1006. Cette image en rayons X est due au télescope spatial Chandra. (NASA/CXC/Middlebury College/F.Winkler)

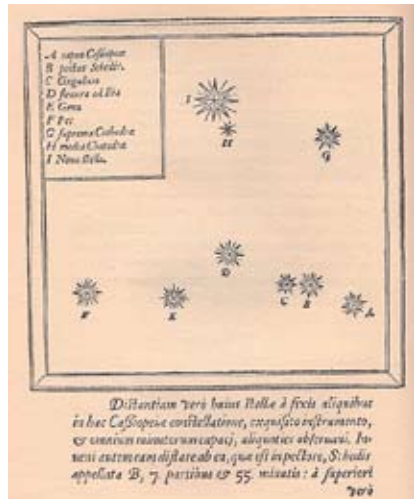
Elle a pu être associée en 1965 avec la source radio PKS 1459-41, une enveloppe circulaire d'environ un demi-degré constituant les restes de la supernova. La magnitude de la supernova déduite des écrits était de $-7,5$ ce qui cadre assez bien avec la distance de l'objet que l'on évalue à 7 200 années-lumière, soit 2 200 parsecs.

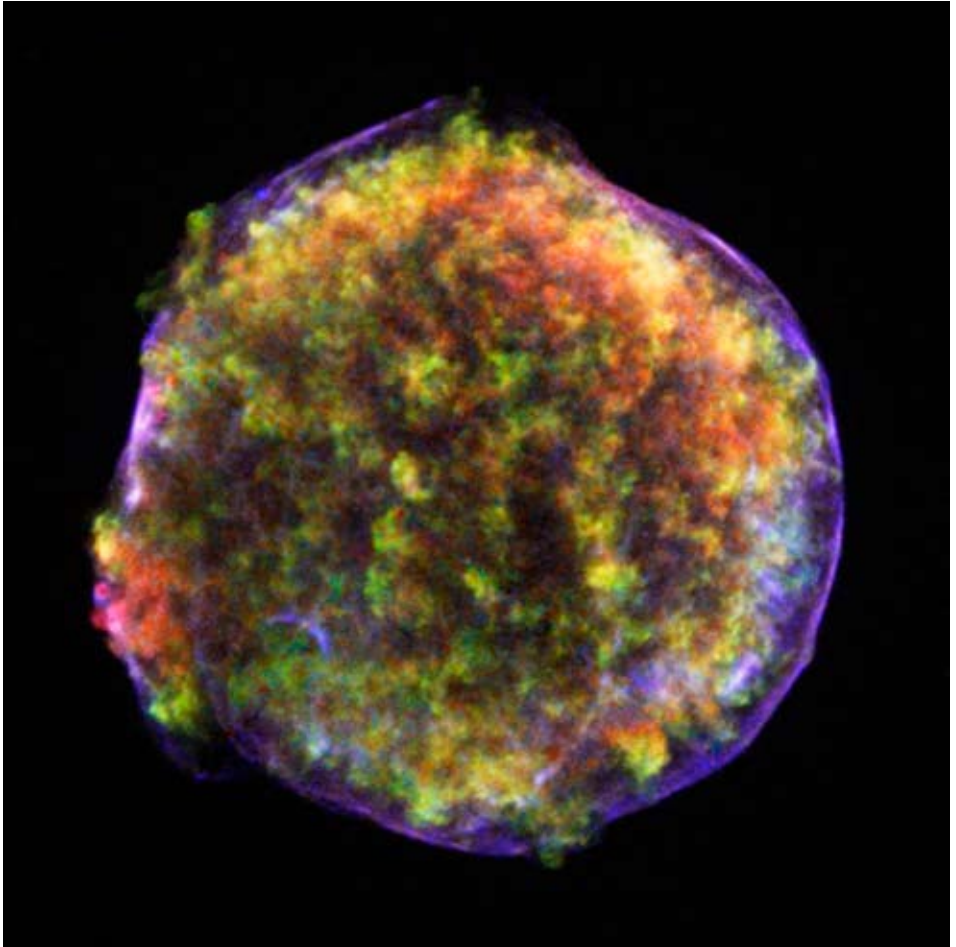
La supernova de 1054 est la plus célèbre des supernovæ historiques car elle correspond à la nébuleuse du Crabe, Messier 1, située à 6 500 années-lumière (2 000 parsecs) dans la constellation du Taureau. Sa magnitude



La nébuleuse du Crabe, M1, constituée des débris de la supernova SN 1054. L'image est une mosaïque créée par le télescope spatial Hubble. (NASA/HST)

Nova Stella, l'étoile nouvelle décrite par Tycho Brahe dans De Stella Nova (1573). Elle apparaît avec la lettre I sur cette planche.





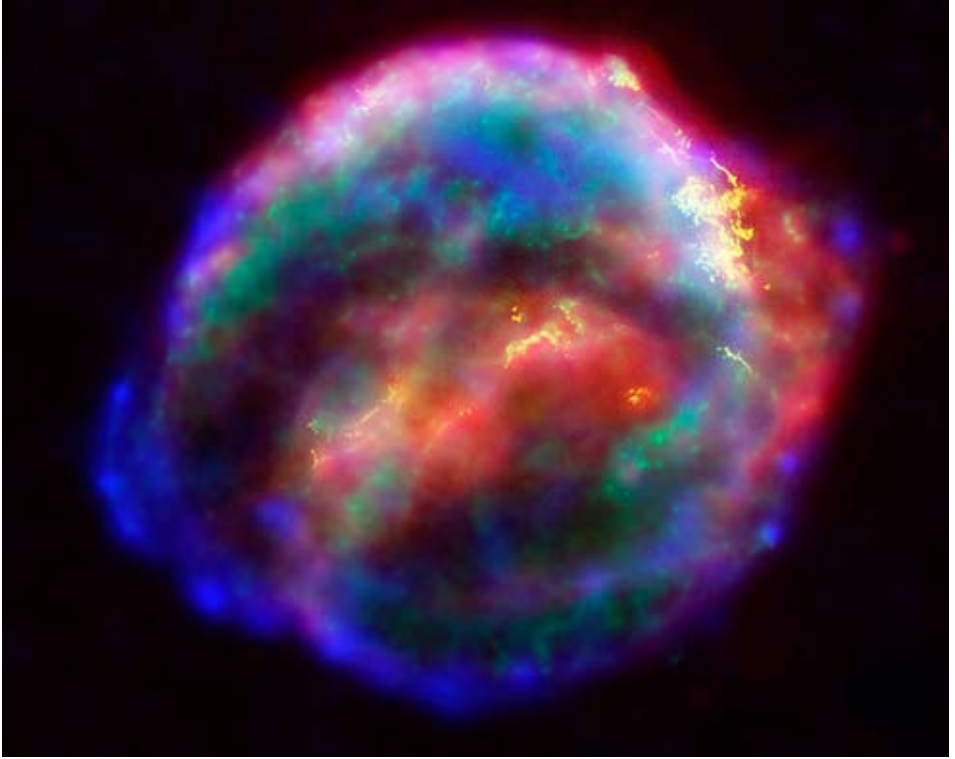
La supernova de Tycho, SN1572 a créé cette nébuleuse observée ici en rayons X par le télescope spatial Chandra. (NASA/CXC/Rutgers/J.Warren & J.Hughes et al.)

apparente était d'environ -6 . L'apparition a été documentée principalement par les Chinois.

En 1573, Tycho Brahe a décrit l'étoile nouvelle apparue l'année précédente dans Cassiopée. Il constatait l'absence apparente de parallaxe par rapport aux étoiles ce qui prouvait que l'objet était très lointain, au-delà de la

Lune et des planètes, d'autant que sa position au cours des mois n'avait pas changé. Sa magnitude était d'environ -4 .

SN 1572 a été identifiée dans les années 1960 avec une source radio d'environ 4 minutes d'arc (maintenant dénotée SNR G120.1+1.4). Sa distance est estimée à approximativement un peu moins de 10 000 années-lumière (3 000 parsecs). La supernova est décrite par Tycho Brahe dans le fascicule *De Stella Nova*, ce qui explique le nom de « supernova de Tycho » donné à SN1572. En accord avec les scénarios couramment admis,



La supernova de Kepler, SN1604 a produit en explosant cette nébuleuse observée ici en rayons X par le télescope spatial Chandra (bleu et vert), en visible par le télescope spatial Hubble (jaune) et en infrarouge par le télescope spatial Spitzer (rouge). (NASA/ESA/JHU/R. Sankrit & W.Blair)

une petite étoile au centre de la nébuleuse pourrait être celle qui a apporté la matière qui a entraîné l'explosion d'une naine blanche.

La dernière supernova galactique observée directement est SN1604 et est connue comme « supernova de Kepler ». Inspiré par le travail de Brahe, Johannes Kepler a décrit l'apparition dans un livre *De Stella nova in pede Serpentarii*.



La position de la supernova est notée par un N au pied d'Ophiuchus dans cette image du De Stella nova in pede Serpentarii de Johannes Kepler. (source : Licence Creative commons Paternité 2.0 France, Cop. 2011 David Tang)



Image de RCW86 (les restes probables de SN185) créée en combinant des données infrarouges des télescopes spatiaux Spitzer et WISE et des images X des télescopes spatiaux Chandra et XMM-Newton. (NASA/JPL/ESA)

L'objet n'a atteint qu'environ $-2,5$ en magnitude, ce qui peut s'expliquer par une grande distance (20 000 années-lumière, 6 100 parsecs) et une certaine absorption interstellaire. Les restes de l'objet ont en effet été identifiés dès les années 1940 par Walter Baade comme de faibles nébulosités dans une région obscurcie de la Voie lactée.

On ajoutera à la liste SN185 observée en 185 par les Chinois. Elle est très probablement à l'origine de la nébuleuse RCW86 qui s'étend sur 45 minutes d'arc dans les constellations de Circinus et du Centaure comme le montrent les études X et infrarouge. Sa distance est estimée à 2 800 parsecs (9 100 années-lumière).

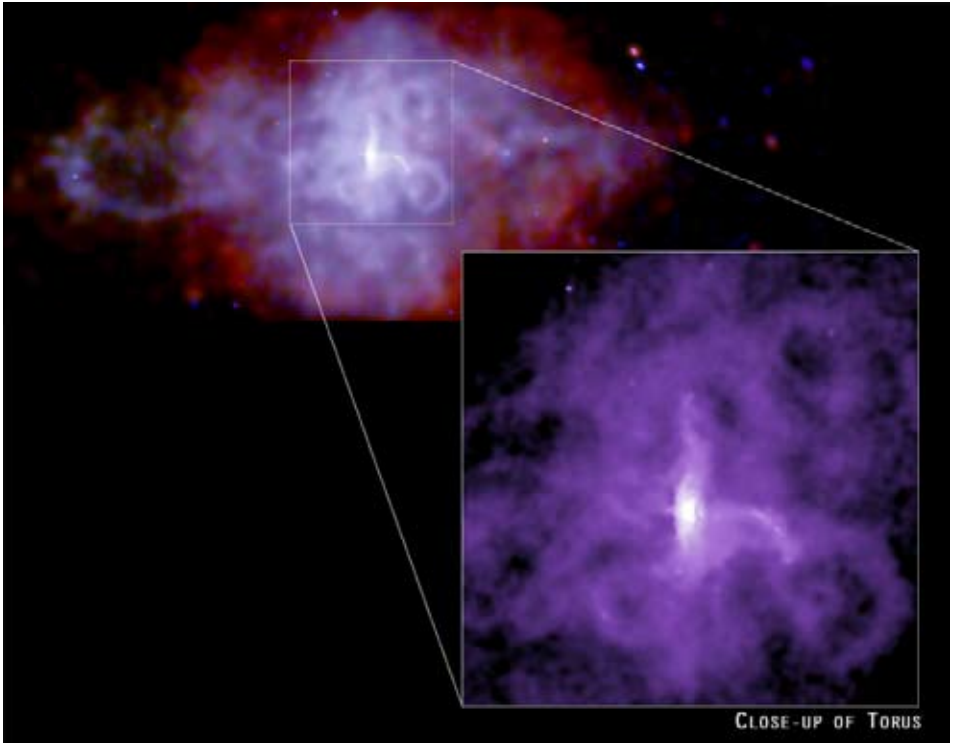
L'identification d'une autre supernova probable, SN 1181, observée principalement en Chine, semble pouvoir être faite avec la source SNR 130.7+3.1 (également connue comme 3C58) et un pulsar, PSR J0205+6449 qui fait de cet objet un cousin de la nébu-

leuse du Crabe. Ce pulsar serait le plus jeune pulsar connu à ce jour. L'objet est situé dans Cassiopee à plus de 26 000 années-lumière (8 000 parsecs).

Deux étoiles nouvelles n'ont pas été identifiées avec certitude. Elles sont apparues à la fin du 4^e siècle.

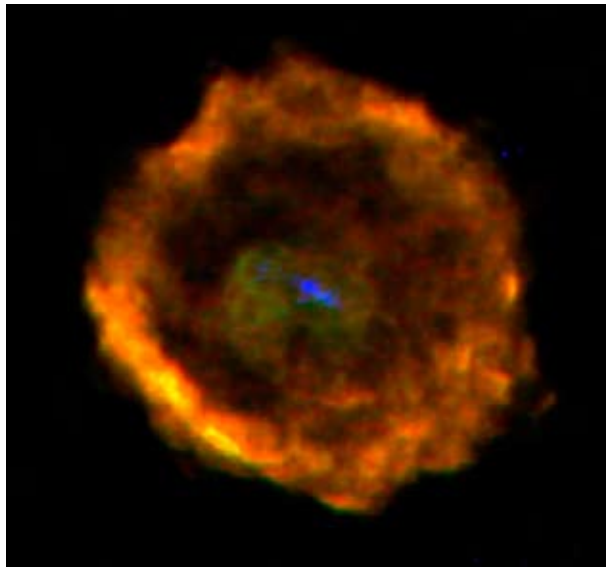
En 386 une étoile nouvelle dans le Sagittaire a été identifiée comme probablement responsable de (G11.2-0.3)

Finalement, les Chinois décrivent une supernova probable en 393 dans le Scorpion. Plusieurs identifications avec des sources galactiques ont été proposées, la plus probable étant le reste de supernova RX J1713.7-3946, mais de grands doutes subsistent.



Un pulsar PSR J0205+6449 s'abrite dans la nébuleuse 3C58, probablement associée à la supernova de 1181. Cette image X a été obtenue par le télescope spatial Chandra. (NASA)

Image composite radio et X de G11.2-0.3, résidu probable de la supernova observée par les Chinois en 386. Observations faites par le VLA (Very Large Array) aux longueurs d'onde de 20 cm (rouge) et 3,6 cm (vert), et par le télescope spatial Chandra (bleu). (NRAO/NASA/Chandra/AUI; Mallory Roberts, Eureka Scientific, Inc. ; Cindy Tam, McGill University)

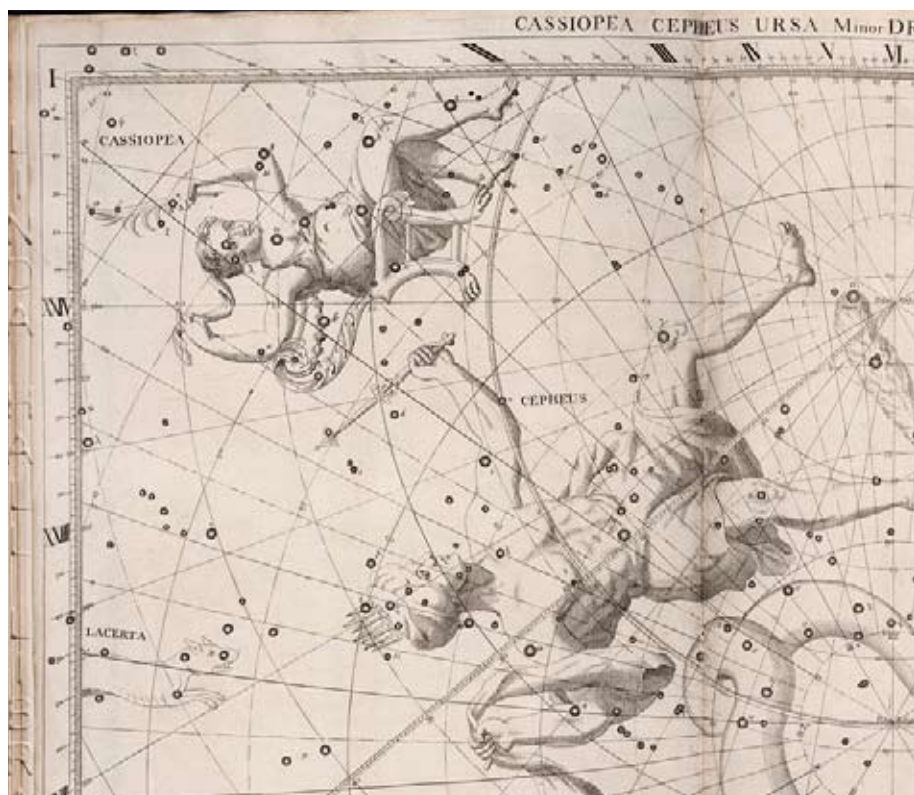


Faute d'avoir assisté à la mort d'étoiles de notre galaxie, on peut réaliser une analyse « forensique ». En particulier, au lieu de s'attarder aux supernovæ qui ont été observées, on peut s'intéresser aux quelque 250 cadavres qui parsèment la Voie lactée, estimer leur âge et remonter ainsi à la date de l'explosion. Cette procédure fournit quelques supernovæ récentes, à commencer par Cassiopée A, la source radio plus brillante du ciel à l'exception du Soleil. Cette source est un reste de supernova et la vitesse d'expansion des couches permet d'établir une origine vers l'an 1667. Rien n'a été observé à ce moment en raison de la distance (11 000 années-lumière ou 3 400 parsecs) et de l'absorption interstellaire mais cela n'a pas empêché les astronomes de dénommer parfois la supernova SN1667. Le hasard a peut-être voulu que la supernova, insignifiante depuis la

Terre, soit portée par Flamsteed sur son *Atlas Cælestis* de 1729 comme une étoile de 6^e grandeur, à partir de positions mesurées en 1680. Cette étoile se trouve non loin de la position de Cas A. On attribue même parfois le nom de SN1680 à la supernova. au lieu de SN1667. Dans les deux cas il est prudent de faire suivre l'appellation d'un point d'interrogation. Il est cependant possible que l'étoile dessinée par Flamsteed soit en fait SAO35386 (près de ι Cas) affligée d'une erreur de coordonnées.

Au plus profond de la Galaxie, non loin du centre, on a récemment pu dater les

L'étoile située à la pointe du sceptre tenu par Céphée serait-elle la supernova Cas A? Rien n'est moins sûr.
(© Linda Hall Library of Science, Engineering & Technology)



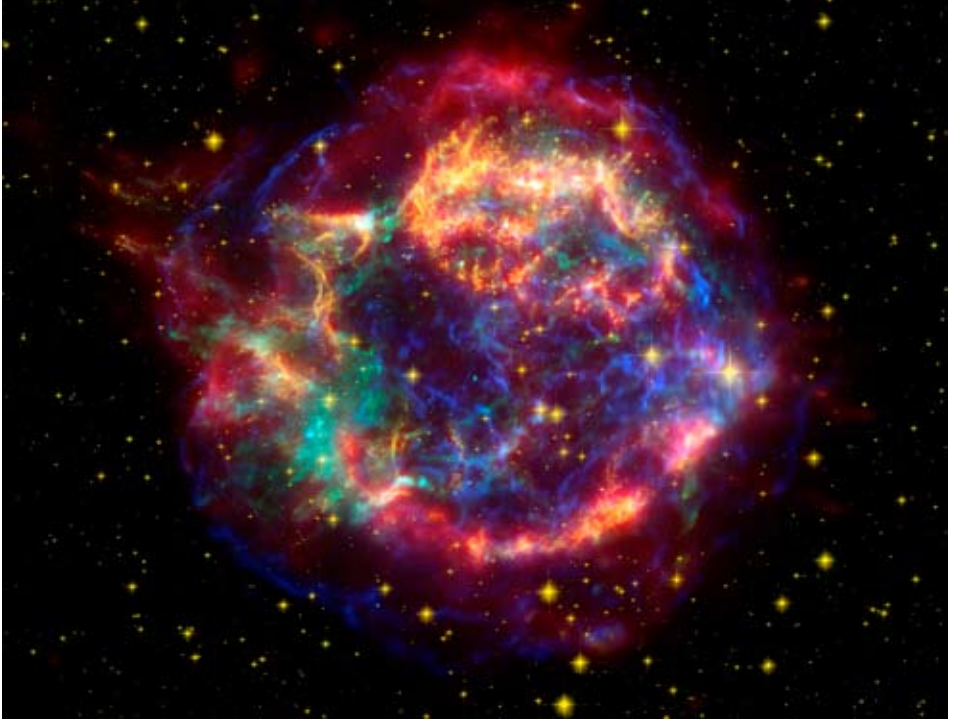


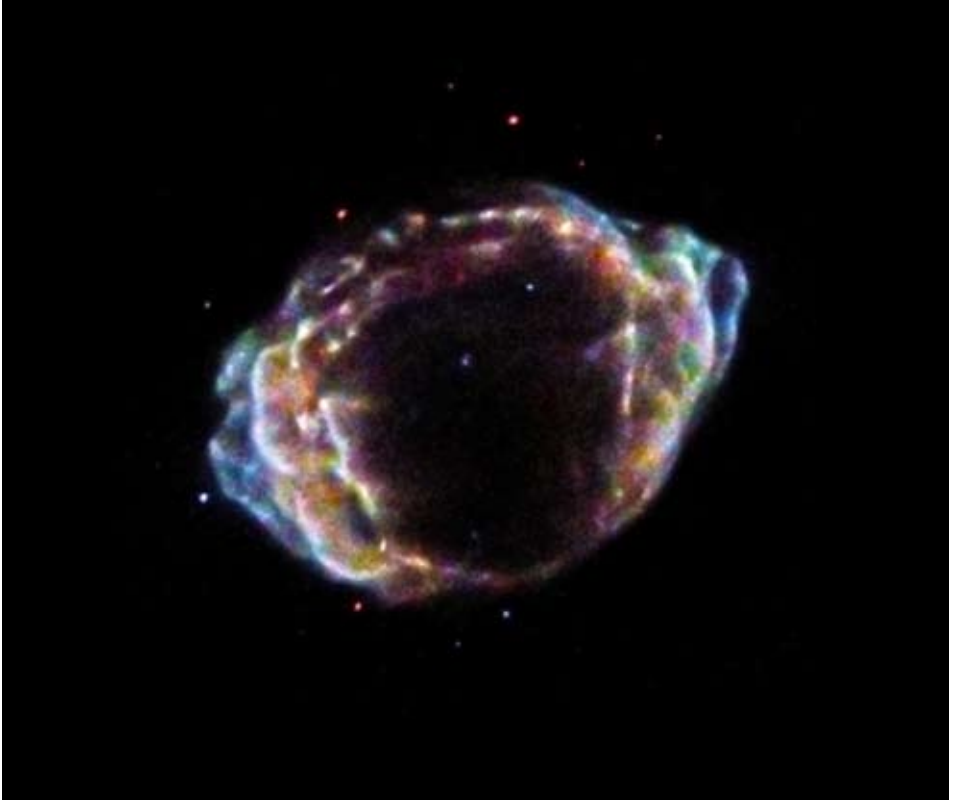
Image du résidu de supernova Cassiopeia A faite à partir d'observations des télescopes spatiaux Hubble (visible), Spitzer (infrarouge) et Chandra (X). Cette nébuleuse résulte de l'explosion d'une supernova à la fin du 17^e siècle. (NASA/JPL-Caltech)

restes d'une supernova encore plus jeune, SNR G1.9+B0.3. On situe son explosion vers 1868 et une fouille sur internet révèle les appellations SN1868, SN1870. Bien cachée par les poussières interstellaires à 37 700 années-lumière (8 500 parsecs), la supernova n'avait aucune chance de troubler la constellation du Sagittaire.

Le reste de supernova Kesteven 75 (ou SNR 29.7-0.2) situé dans l'Aigle est de petites dimensions et semble donc très jeune. Il est associé à un pulsar lui aussi très jeune, PSR J1846-0258. Sa distance est très incertaine, ainsi que son âge – moins de 900 ans.

Le reste de supernova RX J0852.0-4622 (= G266.2-1.2), est parfois appelé Vela Junior en raison de sa position en avant-plan du gigantesque et très vieux reste de supernova de Vela, dans la constellation du même nom. Il pourrait être très proche (650-700 années-lumière) mais cette donnée est des plus douteuses. Son âge, également, qui pourrait n'être que de quelque huit siècles, voire moins. Il est évidemment difficile de penser qu'une supernova aussi proche, relativement peu affectée par l'extinction des poussières, ait pu passer inaperçue, même avec sa déclinaison très australe.

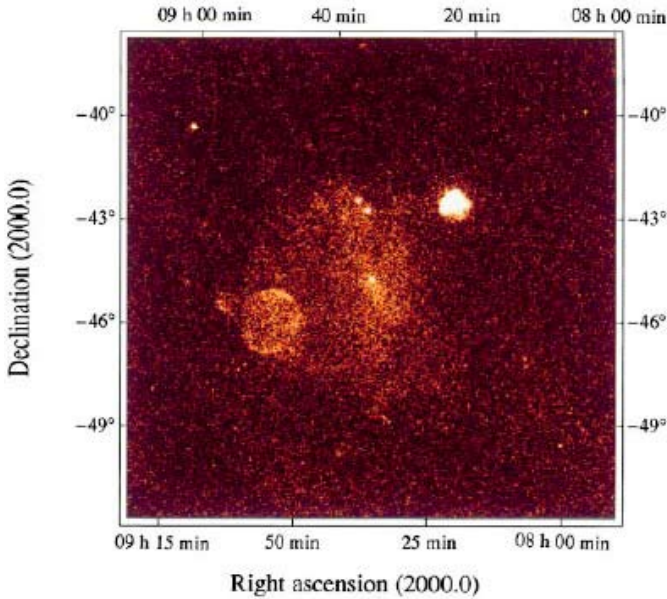
Quittons maintenant la Voie lactée. Certaines galaxies naines sont suffisamment proches de la nôtre pour qu'une supernova qui y apparaîtrait soit visible à l'œil nu. La population stellaire de ces mini-galaxies est nettement moins nombreuse que celle de la Voie lactée et l'on pourrait croire que la fréquence



Le reste de supernova G1.9+0.3 est le plus jeune connu dans la Voie lactée, datant des environs de 1870. L'image X est due au télescope spatial Chandra. (NASA/CXC/NCSU/K. Borkowski et al.)



Le pulsar PSR J1846-0258 (dans la région bleue) et le reste de supernova Kes 75 vus par le télescope spatial Chandra. (NASA/CXC/M. Gonzalez/F. Gavriil/P. Slane)



Cette image X due au télescope spatial ROSAT montre le reste de supernova Vela Junior (RX J0852.0-4622) en bas à gauche de la grande structure de Vela. La tache brillante en haut à droite est un autre reste de supernova, Puppis A, beaucoup plus lointain. (ROSAT, Aschenbach)

1E 0102.2-7219 (E0102) est le résidu d'une supernova ayant explosé dans le Petit Nuage de Magellan il y a environ un millier d'années. Cette image est due au télescope spatial X Chandra (orange, cyan, bleue) et au télescope spatial Hubble (rouge, vert, bleu). (NASA/CXC/MIT/D. Dewey et al. ; CXC/SAO/J. DePasquale ; STScI)





Le Grand Nuage de Magellan photographié depuis l'observatoire de La Silla en avril 1986. Objectif 80 mm à F/2,8 donnant un champ d'environ 40°. Pellicule Agfa 1000RS. L'étoile brillante en haut, à gauche est Canopus (α Carinae), la plus brillante du ciel nocturne après Sirius. Le bel amas ouvert NGC 2516 (la « Crèche australe », par comparaison avec M44 du Cancer) se trouve à gauche.



Le 30 mars 1987, sur cette pose plus profonde (32 m sur Agfa 1000 RS), la supernova SN1987A est à son maximum d'intensité, dépassant en éclat la nébuleuse de la Tarentule (comparer avec l'image page 129). En bas à droite se sont invités le Petit Nuage de Magellan et l'amas globulaire 47 du Toucan. Même équipement que pour l'image de la page de gauche.

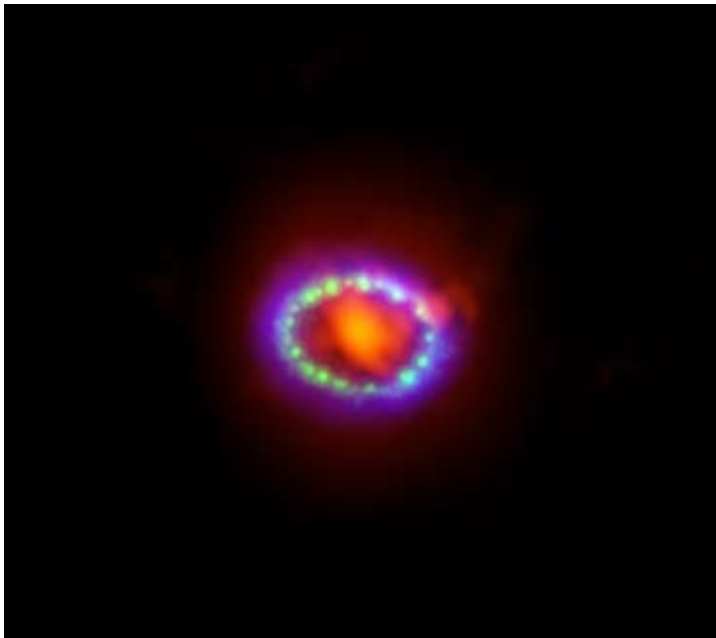


Image composite des restes de la supernova SN1987A du Grand Nuage de Magellan. Les données radio d'ALMA sont en rouge et montrent la poussière formée au centre de l'objet. Les données optiques du télescope spatial Hubble (vert) et X de Chandra (bleu) montrent l'onde en expansion. (ESO/NAOJ/NRAO)/A. Angelich ; NASA/ESA Hubble Space Telescope ; NASA Chandra X-Ray Observatory)

suite de la page 139

des supernovæ y est plus faible par plusieurs ordres de grandeur. Cela laisserait peu de chance pour une telle observation. Et pourtant la supernova de 1987 dans le Grand Nuage de Magellan est là pour nous détromper. C'est la seule supernova qui fut bien visible à l'œil nu en quatre siècles. Sa position très australe – à 20 degrés du pôle sud – a malheureusement privé du spectacle la plupart des amateurs.

Un résidu de supernova, comme E0102 dans le Petit Nuage, ne date que d'une dizaine de siècles et a pu être visible à l'œil nu. En fait, on ne peut appliquer une règle de proportionnalité entre la population d'une galaxie et la fréquence des supernovæ que pour celles du type Ia qui sont dues à des naines blanches. Ce sont des étoiles assez banales, réparties relativement équitablement dans toutes les sortes de galaxies. Les autres supernovæ résultent, à la suite de divers processus, de l'effondrement d'étoiles très massives, vivant peu de temps et forcément associées à des zones de formation

stellaire. Les galaxies montrant une forte activité de formation stellaire ont donc un taux de supernova nettement plus élevé que celui de notre bien rassise Voie lactée.

Cela explique pourquoi les Nuages de Magellan ne

doivent pas attendre des millénaires avant de produire une supernova.

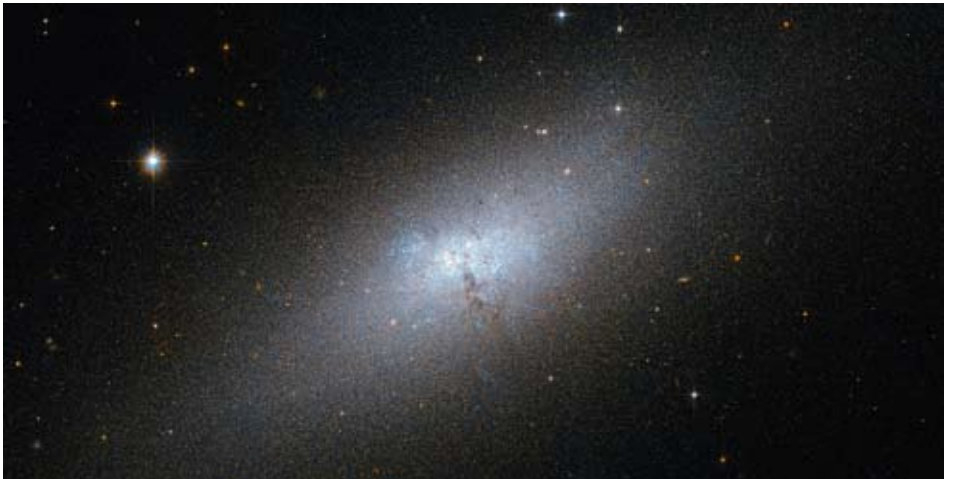
Au-delà de ces galaxies, la distance est telle que même les plus brillantes des explosions de supernovæ seraient inaccessibles à l'œil nu. À des distances de l'ordre de 2,5 millions d'années-lumière (800 000 parsecs), la grande galaxie d'Andromède, M31, et celle du Triangle, M33, sont dans une zone frontière où une supernova particulièrement brillante pourrait franchir le seuil de la sixième grandeur, à la limite de la visibilité. Malheureusement, à l'exception de S And (SN 1885) aucune supernova n'a été observée dans ces galaxies. Elles devraient survenir dans M31 à un rythme semblable à celui de la Voie lactée. La galaxie du Triangle est nettement plus petite, mais elle montre une belle activité de formation stellaire. Les supernovæ devraient donc ne pas être trop rares.

Les quelques dizaines d'autres galaxies du Groupe local sont si petites que les chances d'y voir apparaître des supernovæ sont très faibles. Il faut donc aller plus loin, quitter



*M82 et sa supernova de 2014. (UCL/
University of London Observatory/Steve
Fossey/Ian Howarth/Ben Cooke/Guy
Pollack/Matthew Wilde/Thomas Wright)*

*La petite galaxie NGC 5253 est du type BCD
(Blue Compact Dwarf) et présente une forte
activité de formation d'étoiles, et donc un
taux important de supernovæ par rapport à sa
modeste population. (ESA/Hubble & NASA
Crédit : N. Sulzenauer)*



le Groupe local. Les premières galaxies de relative importance que l'on rencontre sont NGC300 et 55, situées un peu avant le groupe du Sculpteur, à 6 millions d'années-lumière (2 millions de parsecs). On n'y a pas encore vu de supernovæ et elles seraient de toute façon inaccessibles à l'œil nu. Il faut encore s'éloigner pour trouver des galaxies qui ont donné récemment des supernovæ.

La supernova SN2014J qui vient d'exploser dans la galaxie M82 (cf *Le Ciel*, mars 2014, p 172) est peut-être la plus proche observée depuis celle du Grand Nuage de Magellan en 1987 (cf *Le Ciel*, janvier 2014, 103). Elle est en compétition avec SN 1993J qui a explosé en 1993 dans M81, la voisine de M82, située à environ la même distance de nous, 11 millions d'années-lumière (3,5 millions de parsecs) et une magnitude de 10,8 (contre 10,5 pour SN2014J). Deux autres supernovæ avaient explosé récemment dans M82, SN 2004am et SN 2008iz, toutes deux très faibles, certainement obscurcies par des nuages de poussières. À une distance comparable, peut-être un peu plus proche que M81 et M82, la galaxie NGC 5253 dans le Centaure a connu deux explosions en moins d'un siècle puisque, après SN1895B que nous évoquions plus haut, il y a eu SN1972E. Cette dernière supernova qui a atteint la magnitude 8,5 est du type Ia et donc non liée à l'activité actuelle de NGC5253, une galaxie bleue compacte naine (BCD). NGC 5253 fait partie du sous-groupe M83 du super-amas de la Vierge et M83 (plus lointaine, à 15 millions d'années-lumière) vit, elle-même une supernova SN1983N de magnitude 11,8. M83 est une habituée des explosions avec 6 supernovæ

à son actif en soixante ans (SN 1923A, SN 1945B, SN 1950B, SN 1957D, SN 1968L and SN 1983N).

Autre galaxie relativement proche, toujours dans la zone des 10 millions d'années-lumière, la petite irrégulière IC4182 dans les Chiens de Chasse a abrité une explosion en 1937 (SN1937C) qui a atteint la magnitude 8,4, l'une des plus brillantes supernovæ extragalactiques observées à ce jour.

Pour en terminer avec les supernovæ récentes et relativement brillantes, nous ajoutons SN 2011fe, une supernova de type Ia qui a atteint la 10^e magnitude dans M101 (Grande Ourse) à 21 millions d'années-lumière.

JM

***La galaxie irrégulière IC 4182
photographiée avec le télescope de 2 m 10
de Kitt Peak. (NOAO/AURA/NSF)***

