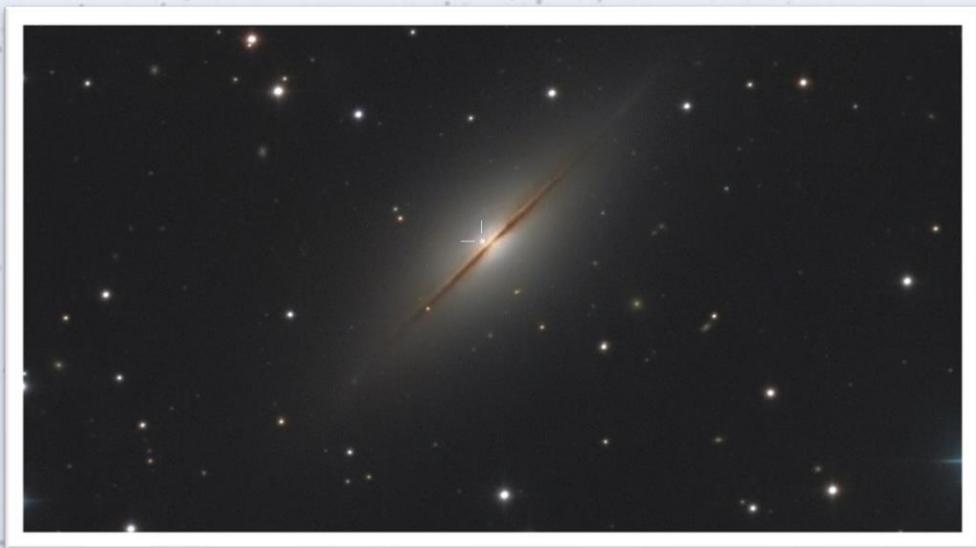


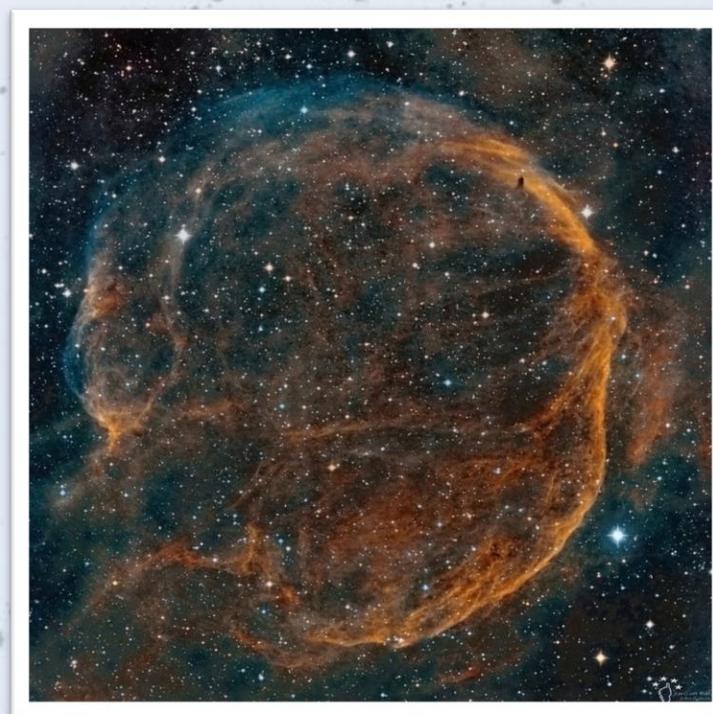
# *Supernovae, les forges de l'Univers*



*SN 2021rhu dans la galaxie NGC 7814*

*Par Michel Ory*

*RCE, le 10 novembre 2024*



*SNR Abell 85 Photos : Jean-Claude Mario, 2021*

# Sommaire

1. L' «étoile de Noël»
2. La «nova stella» de **Tycho**
3. La limite de **Chandrasekhar**
4. **Zwicky** = Monsieur Supernovae
5. Le destin explosif de **Colgate**
6. La classification des supernovae

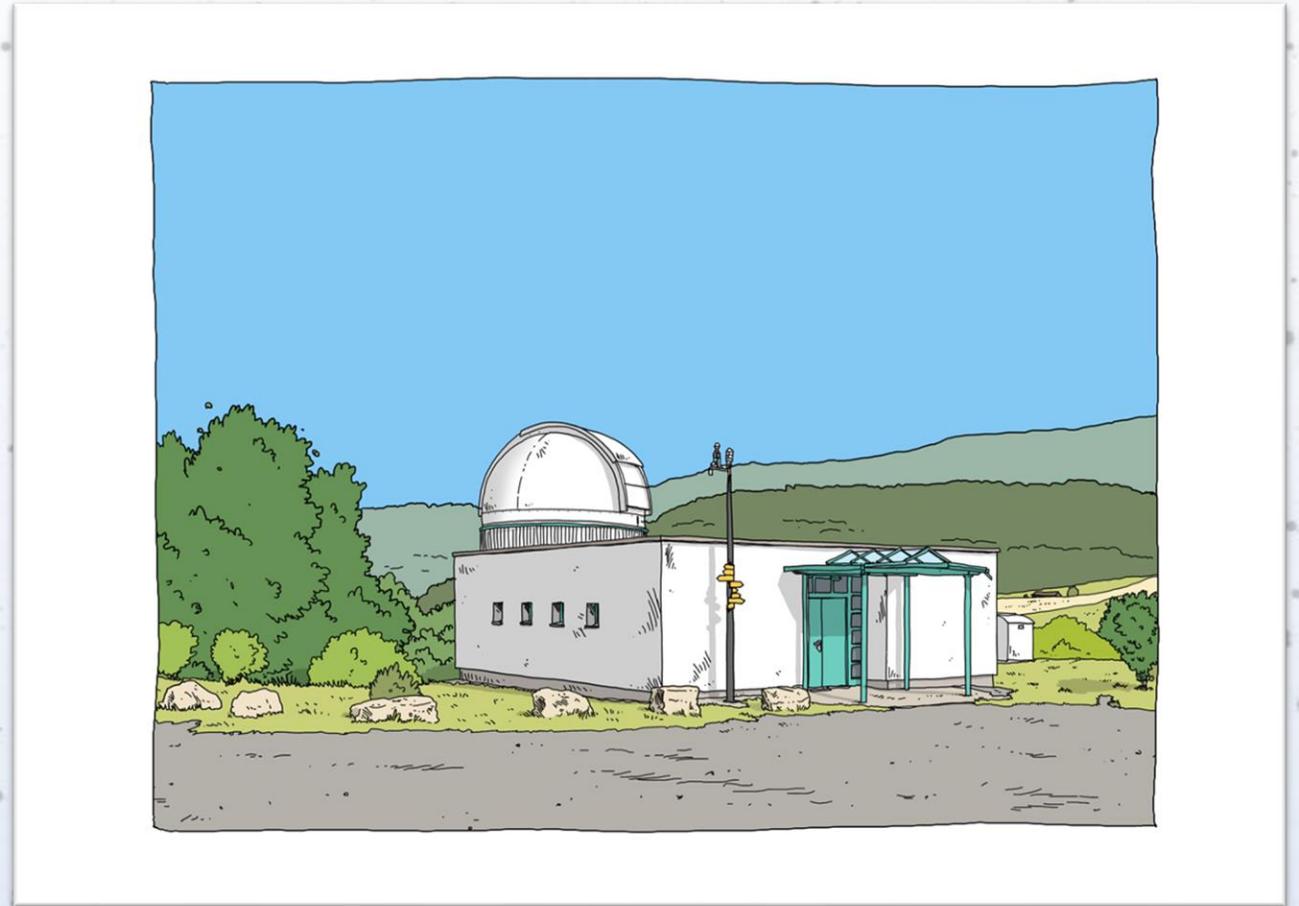


*De l'an 2000 à 2010, j'ai recherché des astéroïdes et des supernovae  
à l'Observatoire astronomique jurassien (Vicques, CH).*

**Bilan:**

**215 astéroïdes découverts**

**mais seulement 2 supernovae**



## 25 décembre 2003 : ma première supernova (SN 2003lb)

8 Le Matin SUISSE 7/1/04

MICHEL ORY Il découvre une supernova le 25 décembre

# «J'AI TROUVÉ L'ÉTOILE DE NOËL»

HISTOIRE DU JOUR

**DÉLÉMONT** Le président de la Société jurassienne d'astronomie suivait à la trace des astéroïdes. L'œil collé à son télescope, il aperçoit un objet aussi insolite que brillant: une nouvelle étoile supernova, qui est aussitôt observée par les spécialistes du monde entier

Jean-Pierre Mollet

«Je ne m'y attendais pas. Quel magnifique cadeau de Noël.» Encore sous le coup de l'émotion, Michel Ory, professeur de physique au lycée cantonal de Porrentruy, marié et père de deux enfants, a vécu un 25 décembre 2003 particulier. L'œil rivé au télescope de l'observatoire astronomique de Vicques (JU), il a enregistré à 20 h 30 très précisément une prise de vue montrant un objet inconnu et d'une très forte brillance dans la constellation du Taureau, sous les Pléiades. «J'ai aussitôt comparé ce site du ciel avec des photos trouvées sur Internet qui avaient été prises en 1951 et en 1991 de cette même galaxie. Quelle joie lorsque j'ai eu la certitude que j'avais bel et bien découvert une nouvelle étoile supernova.»

Le 26 décembre, la nouvelle était transmise à l'Union internationale d'astronomie, qui centralise toutes les informations à son siège installé dans les locaux de l'Université de Harvard. Le jour même, le DéLémontain recevait la confirmation que «son» étoile était scientifiquement baptisée «supernova 2003lb IN UGG 2850a» et qu'elle était située à quelque 200 millions d'années-lumière. «Donc assez proche de nous, ajoute-t-il en spécialiste.

Cette découverte méritait l'attention des scientifiques de toute la planète. Dont notamment du célèbre Observatoire de Siding Springs, aux États-Unis. Car les étoiles supernovas sont aussi rares qu'éphémères. On en recense un peu plus d'une cinquantaine en moyenne par an. Et il en va au moins de dix en Europe l'an passé. «Dans notre galaxie, il y en a cinq seulement de répertoriées dans notre histoire, la dernière en 1604.»

Mais une supernova, c'est quoi? «Ces étoiles ont une grande valeur scientifique dans la course à la découverte de l'univers. Par leur luminosité, elles servent d'indicateurs de distance. Mais leur fin est tragique. Pendant leur stabilité, elles explosent brutalement, répandant une extraordinaire expansion de gaz. D'où cette luminosité qui les fait repérer de très loin. Il faut une seconde pour que ces étoiles de quelques dizaines de milliers de kilomètres se réduisent en un diamètre d'une vingtaine de kilomètres. Dans une période de soixante à cent jours, elles sont complètement désintégrées et disparaissent.»

Conclusion peu rassurante de Michel Ory: «Si dans les cent étoiles les plus proches de nous, une d'entre elles explosait sous la forme d'une supernova, la vie sur la terre serait condamnée.»

L'enseignant jurassien admet que c'est le hasard qui l'a conduit à sa découverte. Car, avec quelques «mordus» comme lui d'astronomie, il s'est spécialisé dans la recherche des astéroïdes. Dans la découverte de ces petits corps célestes, l'observatoire de Vicques connaît une renommée internationale. «Nous sommes des amateurs et possédons des moyens que nous ne pouvons comparer avec des instituts rigés par des professionnels. Cela ne nous empêche pas, dans le domaine spécifique des astéroïdes, de procéder au plus grand nombre de mesures en Suisse. Sur le plan mondial, nous nous situons aux environs de la 40<sup>e</sup> position par rapport aux informations données. Pas mal pour un observatoire que nous avons construit il y a cinq ans de nos propres mains.»

**CONFIRMATION** Le 26 décembre, l'étoile située à quelque 200 millions d'années-lumière était scientifiquement baptisée «supernova 2003lb IN UGG 2850a».

**«Dans notre galaxie, il y a seulement cinq étoiles supernova répertoriées dans notre histoire, la dernière en 1604.»**



## 12 septembre 2006: ma seconde supernova (SN 2006ev)

Circular No. 8747

Central Bureau for Astronomical Telegrams

INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION

Mailstop 18, Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, MA 02138, U.S.A.

IAUSUBS@CFA.HARVARD.EDU or FAX 617-495-7231 (subscriptions)

CBAT@CFA.HARVARD.EDU (science)

URL <http://cfa-www.harvard.edu/iau/cbat.html>

ISSN 0081-0304 Phone 617-495-7440/7244/7444 (for emergency use only)

(134340) PLUTO, (136199) ERIS, AND (136199) ERIS I (DYSNOMIA)

Following the Aug. 24 resolution by the IAU to the effect that the solar system contains eight "planets" (Mercury-Neptune), with (1) Ceres, Pluto (cf. IAUC 255), and 2003 UB\_313 (cf. IAUC 8577) to be considered representative "dwarf planets", the Minor Planet Center included Pluto and 2003 UB\_313 (along with two other new potential dwarf-planet candidates) in the standard catalogue of numbered objects with well-determined orbits as (134340) and (136199), respectively (see MPC 57525). Following near-unanimous acceptance by both the Committee on Small-Body Nomenclature and the Working Group on Planetary-System Nomenclature (in consultation with the discovery team), the IAU Executive Committee has now approved the names Eris for (136199) and Dysnomia for its satellite (136199) Eris I [formerly S/2005 (2003 UB\_313) 1; cf. IAUC 8610].

COMET 178P/HUG-BELL

Comet P/1999 X1 = 2006 O1 (cf. IAUC 8730) has been given the permanent number 178P (cf. MPC 57382).

COMET P/2006 R1 (SIDING SPRING)

Additional astrometry and the following improved orbital elements for this comet (cf. IAUC 8744) appear on MPEC 2006-R47. The orbital period,  $P$ , is the shortest known for a comet with a retrograde orbit.

$T = 2006 \text{ Sept. } 3.833 \text{ TT} / \text{Peri.} = 249.322$

$e = 0.68901 / \text{Node} = 218.561 \text{ } 2000.0$

$q = 1.66976 \text{ AU} / \text{Incl.} = 160.021$

$a = 5.36919 \text{ AU} / n = 0.079221$

$P = 12.4 \text{ years}$

SUPERNOVA 2006ev IN UGC 11758

Michel Ory, Vicques, Switzerland, reports the discovery of an apparent supernova (red mag approximately 16.6) on CCD images taken on Sept. 12.9 and 13.8 UT with a 0.61-m f/3.88 reflector. The new object is located at R.A. = 21h30m59s.26 +/- 0s.05, Decl. = +13o59'21".2 +/- 0".2 (equinox 2000.0), which is 23" east and 11" north of the nucleus of UGC 11758. Nothing is visible at this location on a red Palomar Sky Survey plate from 1953 Aug. 19 or a red U.K. Schmidt Telescope plate from 1991 Aug. 14.

(C) Copyright 2006 CBAT

2006 September 13 (8747) Daniel W. E. Green

## Union astronomique internationale (UAI – IAU)

- *organisation non gouvernementale membre du Conseil international des sciences*

*autres membres :*

*Union internationale des sciences géologiques (IUGS)*

*Union internationale de chimie pure et appliquée*

- *créée en 1919*
- *siège à Paris*
- *2 langues officielles (AN, FR)*
- *but : «Son objectif est de promouvoir la science de l'astronomie sous tous ses aspects.»*

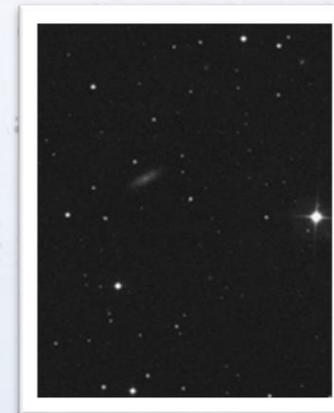


## La nomination des supernovae

- Préfixe (facultatif) SN (UAI) ; ou plus récemment AT ([www.astronomerstelegram.org](http://www.astronomerstelegram.org))
- Puis : 2020A , puis 2020B, ... 2020Z (1<sup>ère</sup> à 26<sup>ème</sup>)
- Puis : 2020aa, 2020ab, ... , 2020az, 2020ba, ... , 2020bz, ... , 2020zz (27<sup>ème</sup> à 702<sup>ème</sup>)
- Puis : 2020aaa, 2020aab, ... (702<sup>ème</sup> à 18278<sup>ème</sup>)
- etc

## «Mes» deux supernovae :

- SN 2003lb (découverte dans UGC 2850) = 314<sup>ème</sup> SN découverte en 2003
- SN 2006ev (découverte dans UGC 11758) = 152<sup>ème</sup> SN découvert en 2006



POSS 12.10.1991



Vicques 29.12.2003

Le site incontournable de la Rochester Academy of Science (NY): [www.rochesterastronomy.org/supernova.html](http://www.rochesterastronomy.org/supernova.html)

# Sommaire

1. L' «étoile de Noël»
2. La «nova stella» de **Tycho**
3. La limite de **Chandrasekhar**
4. **Zwicky** = Monsieur Supernovae
5. Le destin explosif de **Colgate**
6. La classification des supernovae
7. **Riess** et l'expansion de l'Univers accélère



### Les supernovae «historiques» (avant l'invention de la lunette astronomique)

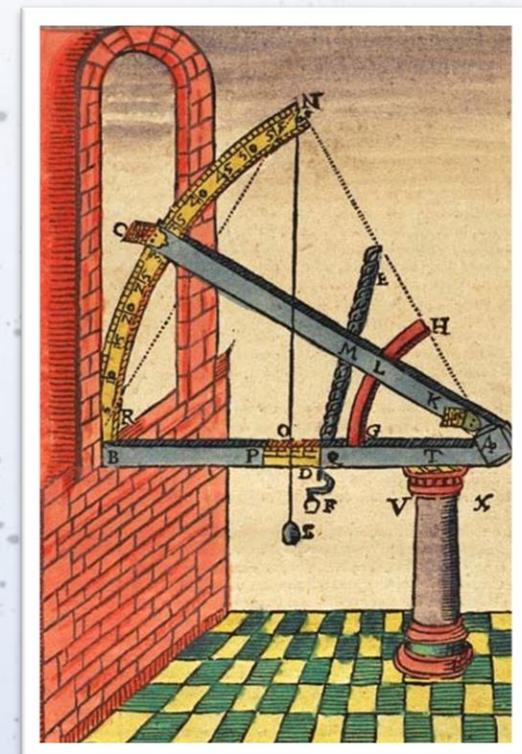
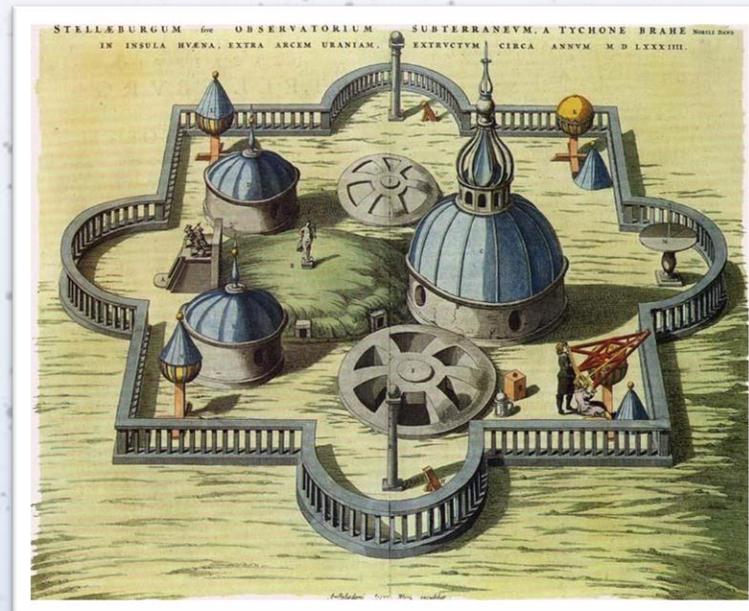
<b>Nom</b>	<b>Constellation</b>	<b>Luminosité</b>	<b>Durée de visibilité</b>	<b>Distance approximative</b>
		<i>relative (*)</i>	<i>en mois</i>	<i>en années-lumière</i>
<b>SN 1006</b>	<b>Loup</b>	<b>150</b>	<b>&gt; 24</b>	<b>3200</b>
<b>SN 1054</b>	<b>Taureau</b>	<b>2,5</b>	<b>22</b>	<b>6500</b>
<b>SN 1181</b>	<b>Cassiopee</b>	<b>0,03</b>	<b>6</b>	<b>8500</b>
<b>SN 1572 dite "de Tycho"</b>	<b>Cassiopee</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>7500</b>
<b>SN 1604 dite "de Kepler"</b>	<b>Serpentaire</b>	<b>0,4</b>	<b>12</b>	<b>14500</b>

**(\*) La supernova de 1572 brillait comme la planète Venus. C'est notre référence ici, fixée arbitrairement à 1**

## Tycho Brahé (1546-1601) ou simplement Tycho

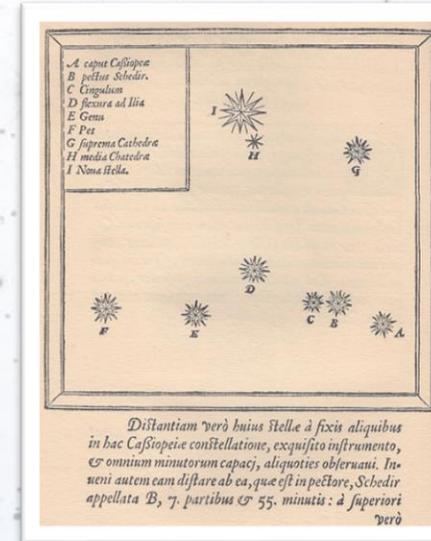
- D'une noble famille danoise (de Scanie auj. en Suède)
- Confié à son oncle; frère jumeau mort né
- Compagnon d'études haut en couleur (nez)
- Prince fantasque; «Le ciel sera mon royaume!»

=> son palais = Uraniborg



### «Nova stella» de Tycho du 11 novembre 1572

- Visible en plein jour durant un mois
- Suivi systématique par Tycho Brahé durant 485 jours  
=> une première ! (astrométrie + photométrie)
- Pas de parallaxe mesurable  
=> au moins 57x plus loin que la Lune
- Conclusion de Tycho: cette nova appartient  
à la sphère des fixes => fin de la vision antique du cosmos

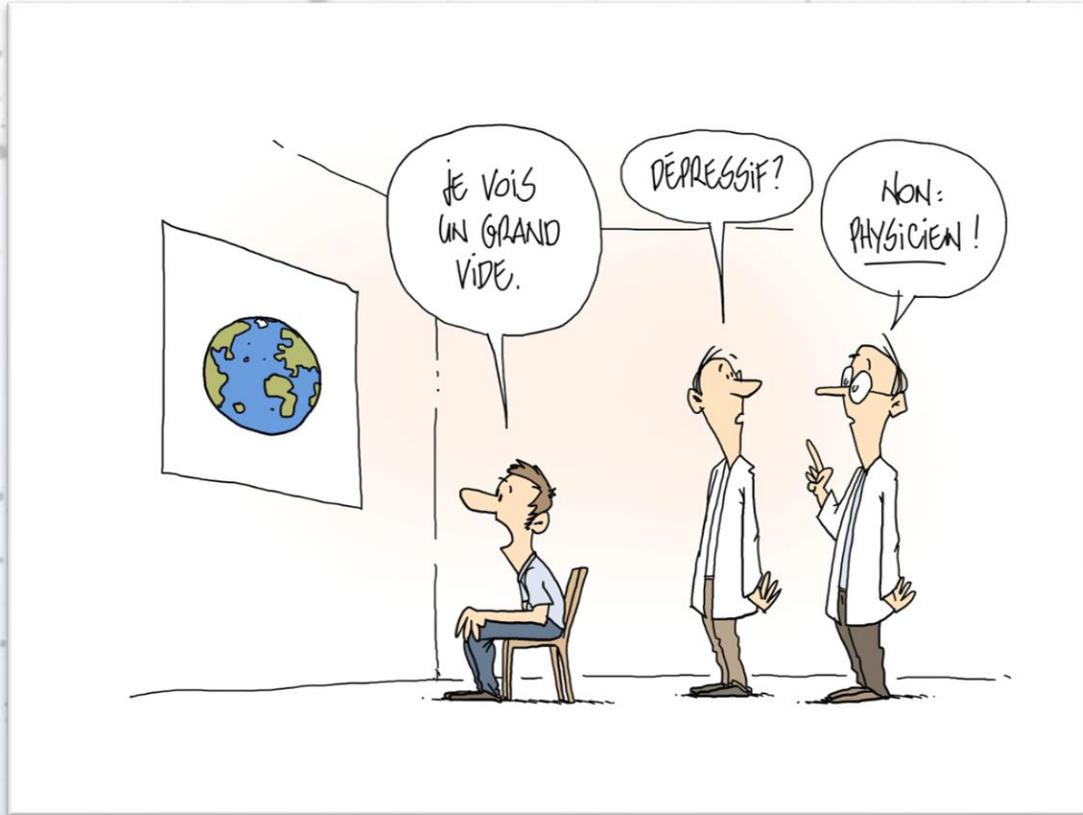


# Sommaire

1. L' «étoile de Noël»
2. La «nova stella» de **Tycho**
3. La limite de **Chandrasekhar**
4. **Zwicky** = Monsieur Supernovae
5. Le destin explosif de **Colgate**
6. La classification des supernovae



**La Terre est vide. En partie à cause du «Principe d'exclusion de Pauli».**



### 3. La limite de Chandrasekhar

## Subrahmanyan Chandrasekhar (Lahore, 1910 – Chicago, 1995)

L'année 1930 a vu...

Arthur Eddington être anobli par le roi et le jeune Chandrasekhar arriver à Cambridge.

Un des grands faits d'arme d'Eddington :

Pour les étoiles :  $Luminosité \div (Masse)^3$

exemple  $M' = 10M \Rightarrow L' = 1000L$

Pour les naines blanches (surface à  $\approx 15'000$  K), cela ne marche pas

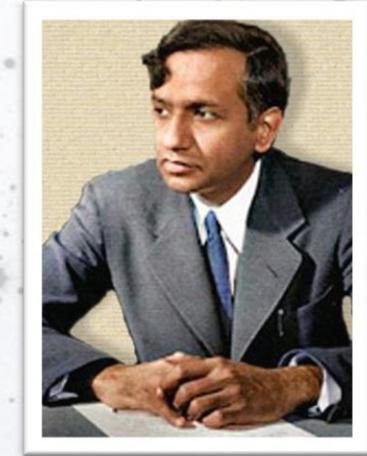
exemple 40 Eridani B :  $M = 0.5M_{Soleil}$  mais  $L = 0,01L_{Soleil}$

Travaux de Chandrasekhar lors de sa traversée Inde - GB :

1) Si  $M_{NB} \nearrow$  alors  $R_{NB} \searrow$

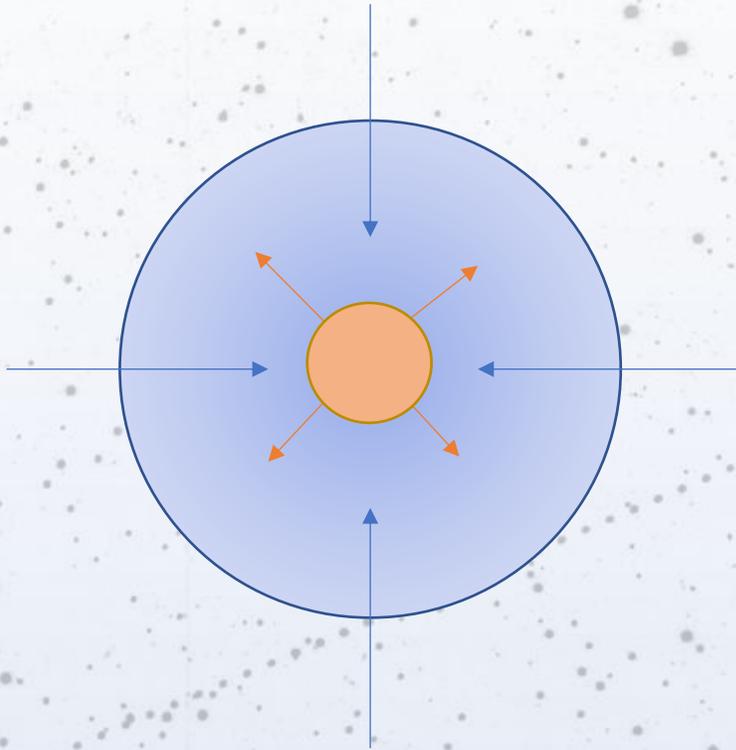
2) Une naine blanche ne peut pas dépasser  $1,4 M_{Soleil}$

$\Rightarrow$  Limite de Chandrasekhar («clownerie céleste» selon Sir Eddington)



Dans une étoile normale:

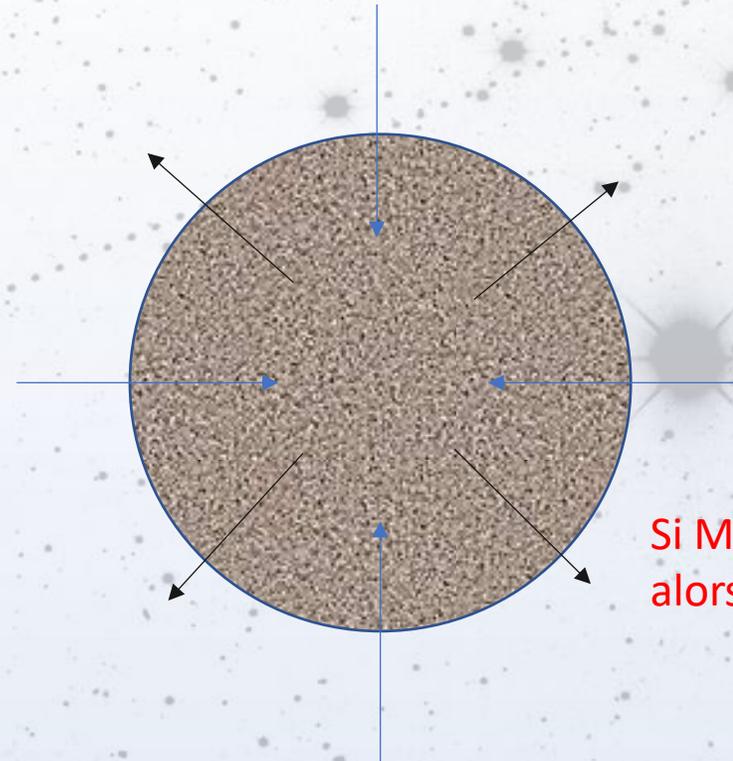
**pression de radiation** vs gravitation



**naine blanche de la taille de la Terre**  
(pression de dégénérescence des électrons)

Dans une naine blanche, étoile à neutrons :

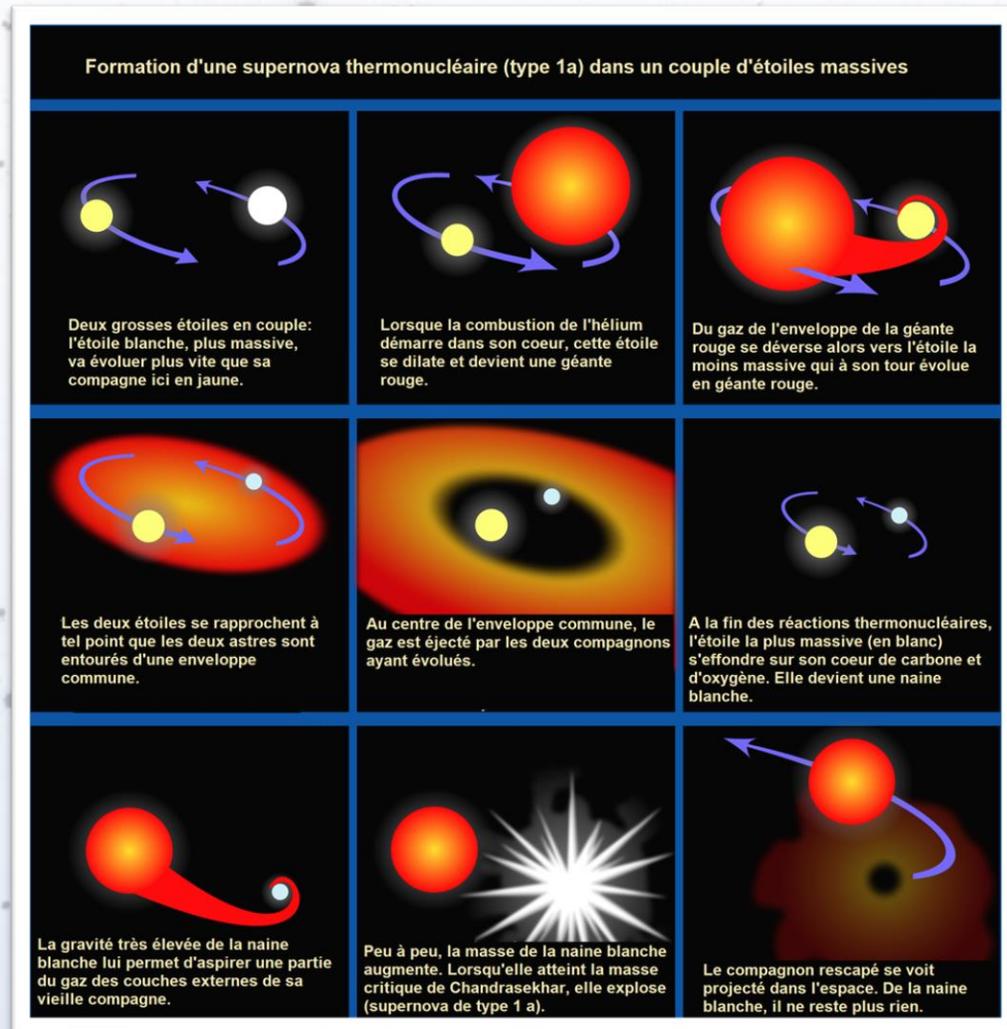
**pression de dégénérescence** vs gravitation



Si  $M > 1,4M_{\text{Soleil}}$   
alors effondrement !

**étoile à neutrons de taille  $\approx 20$  km (densité noyau)**  
(pression de dégénérescence des neutrons)

## Les supernovae thermonucléaires : une naine blanche s'effondre

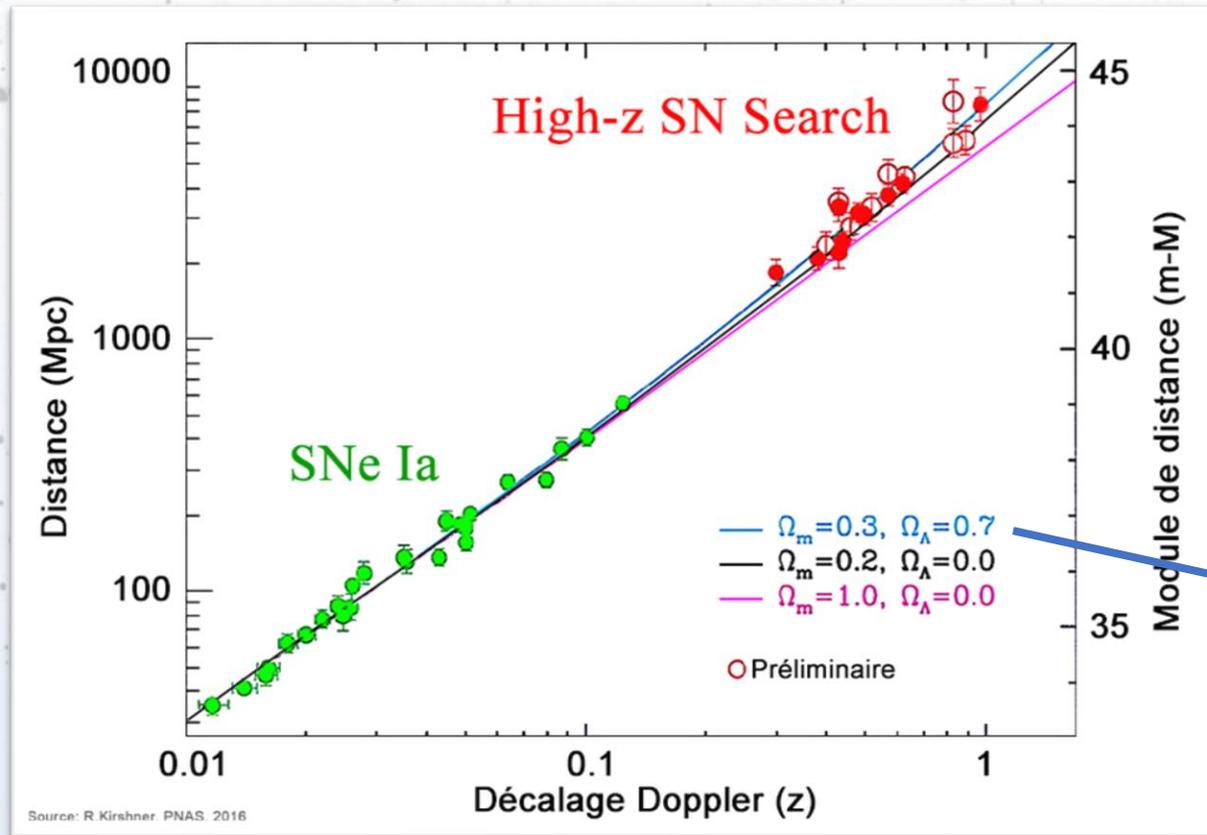


**Important : luminosité constante !**

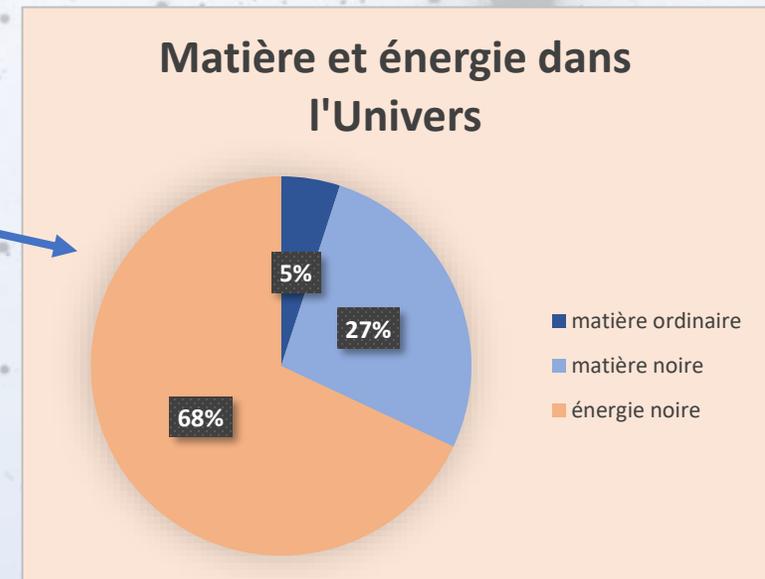
**Les supernovae thermonucléaires sont des phares ou chandelles standards.**



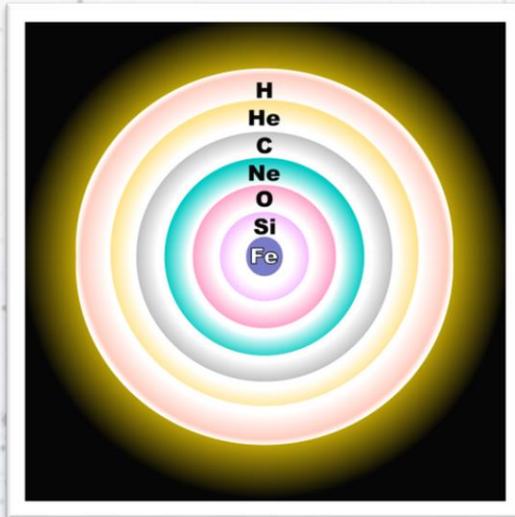
## Prix Nobel de physique 2011 pour la découverte de l'expansion accélérée de l'Univers



Sur ce graphe, chaque point représente une supernova thermonucléaire repérée loin ou très loin dans l'Univers.



## Les supernovae gravitationnelles : le cœur de fer s'effondre



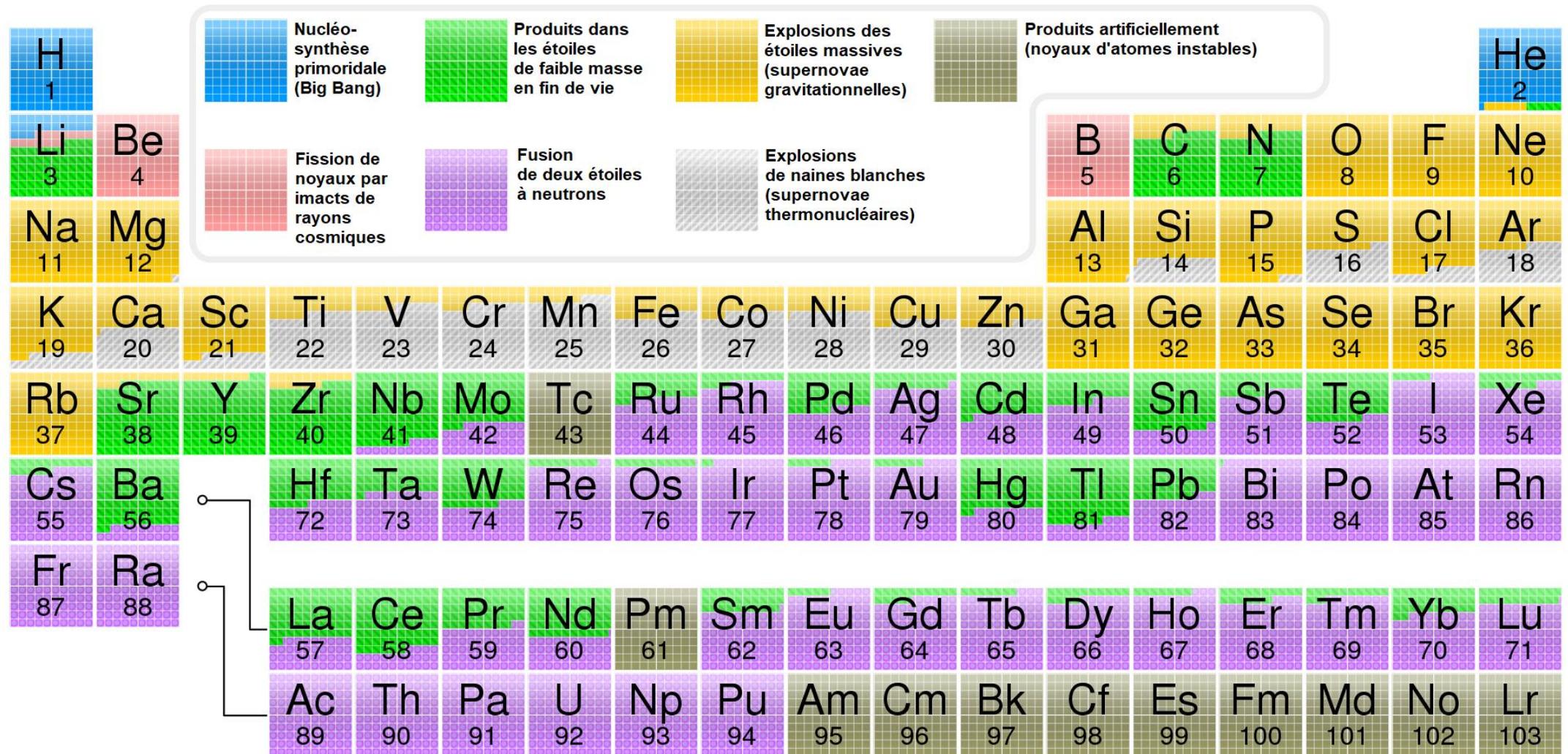
**Important : émission de neutrinos !**

**SN 1987A : 24 neutrinos/3 détecteurs**

	Température	Étoile de 0,3 <u>masse solaire</u>	Étoile de 1 masse solaire	Étoile de 25 masses solaires
<u>Fusion de l'hydrogène</u>	$15 \times 10^6 \text{ K}$	~800 milliards d'années	10-12 milliards d'années	7 millions d'années
<u>Fusion de l'hélium</u>	$1 \times 10^8 \text{ K}$	S'arrête avant d'atteindre ce stade	~200 millions d'années	500 000 ans
<u>Fusion du carbone</u>	$1 \times 10^9 \text{ K}$		S'arrête avant d'atteindre ce stade	200 ans
<u>Fusion du néon</u>	$1,2 \times 10^9 \text{ K}$			1 an
<u>Fusion de l'oxygène</u>	$2 \times 10^9 \text{ K}$			5 mois
<u>Fusion du silicium</u>	$3 \times 10^9 \text{ K}$			~1 jour



## Les supernovae forgent les éléments lourds (depuis Helium)



*« L'azote de nos molécules d'ADN,  
le calcium de nos dents ou de nos os,  
le fer qui coule dans notre sang,  
le carbone des tartes aux pommes  
ont été fabriqués au cœur des étoiles  
en effondrement.  
Nous sommes faits de poussières d'étoiles. »*

*Carl Sagan, 1980*

*astrophysicien américain (1934-1996)*



# Sommaire

1. L' «étoile de Noël»
2. La «nova stella» de **Tycho**
3. La limite de **Chandrasekhar**
4. **Zwicky** = **Monsieur Supernovae**
5. Le destin explosif de **Colgate**
6. La classification des supernovae



## **Fritz Zwicky (Varna, 1898 - Pasadena, 1974)**

- *Naissance en Bulgarie, enfance en Suisse, vie en Californie*
- *Parlait 6 langues couramment*
- *Formation brillante à ETHZ; spécialité = physique du solide (Debye)*
- *Bourse de la fondation Rockefeller*
- *Arrivée au Caltech (1925) et rencontre avec Millikan (Nobel 1923)*  
*=> Millikan l'oriente vers l'astrophysique*
- *Professeur au Caltech et consultant chez Aerojet (von Karman)*
- *Une très forte personnalité => dizaines d'anecdotes*

*spherical bastard*

*microZwicky*

*boulon dans l'espace (oct. 1957)*

*Jeder ein Genie (1971)*



## Des rayons cosmiques aux supernovae

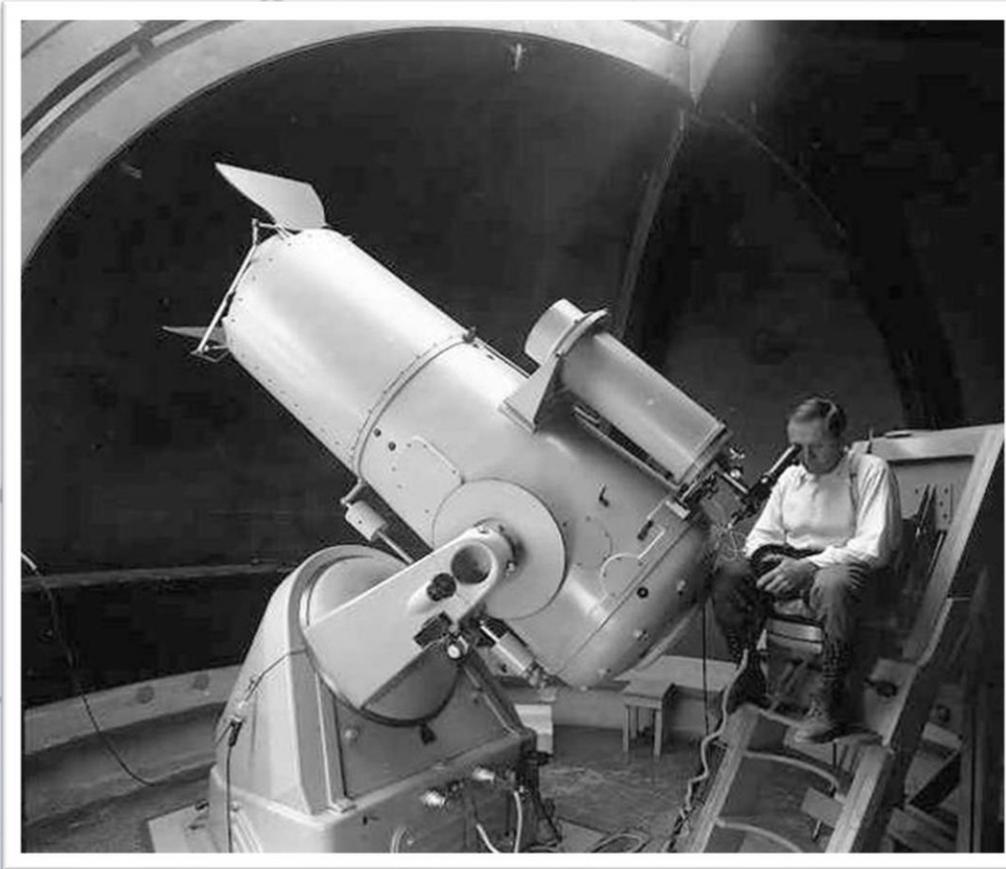
- *Sujet (astro)physique du moment : les rayons cosmiques*
- *Triple prédiction incroyable du couple Zwicky/Baade (1933-1934) :*
  - 1) *une supernova est le stade intermédiaire entre une étoile normale et un objet beaucoup moins massif (énorme émission de lumière et donc d'énergie via  $E = mc^2$ ) en partie faux*
  - 2) *les supernovae sont les émetteurs des rayons cosmiques vrai*
  - 3) *l'objet moins massif est une «étoile à neutrons» (découverte du neutron en 1932) en partie vrai*
- *Ambition de Zwicky: trouver des dizaines de supernovae extragalactiques (< 20 SN détectées jusque-là)*
- *Double problème:*
  - *1 SN visible par siècle dans chaque galaxies*
  - *chaque SN n'est visible que quelques semaines idée => observer les amas de galaxies !*

#### 4. Zwicky = Monsieur Supernovae

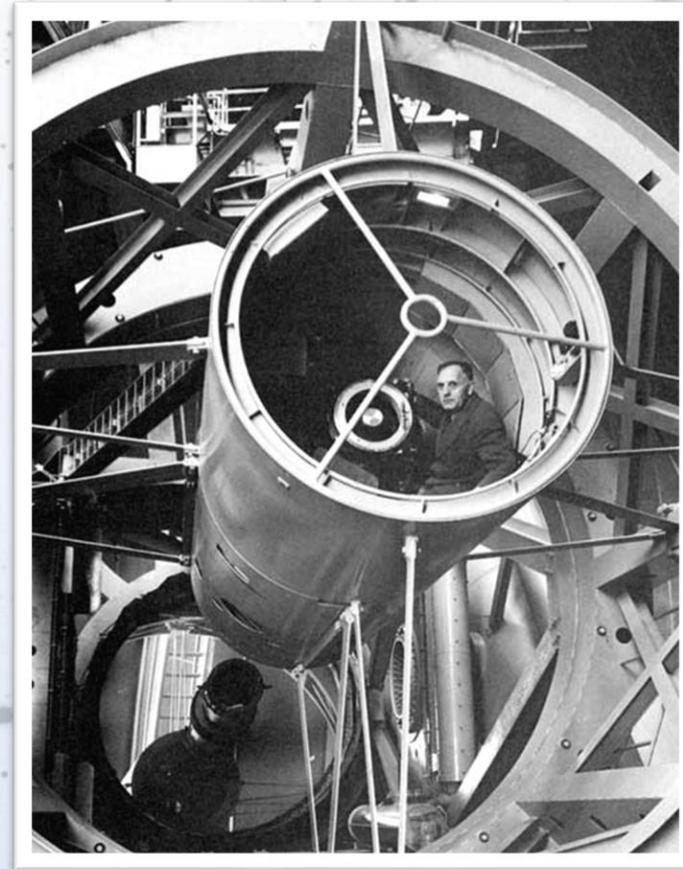
### *La chambre de Schmidt = le télescope grand angle idéal*

*Avant, on observait le ciel par le trou d'une serrure. Avec la chambre de Schmidt, on ouvrait la porte pour ausculter la voûte étoilée.*

*Zwicky et le «petit» Schmidt de 46 cm (18-inch)*



*Hubble et le télescope de 5 m (200-inch)*



*Vue de l'observatoire du mont Palomar*

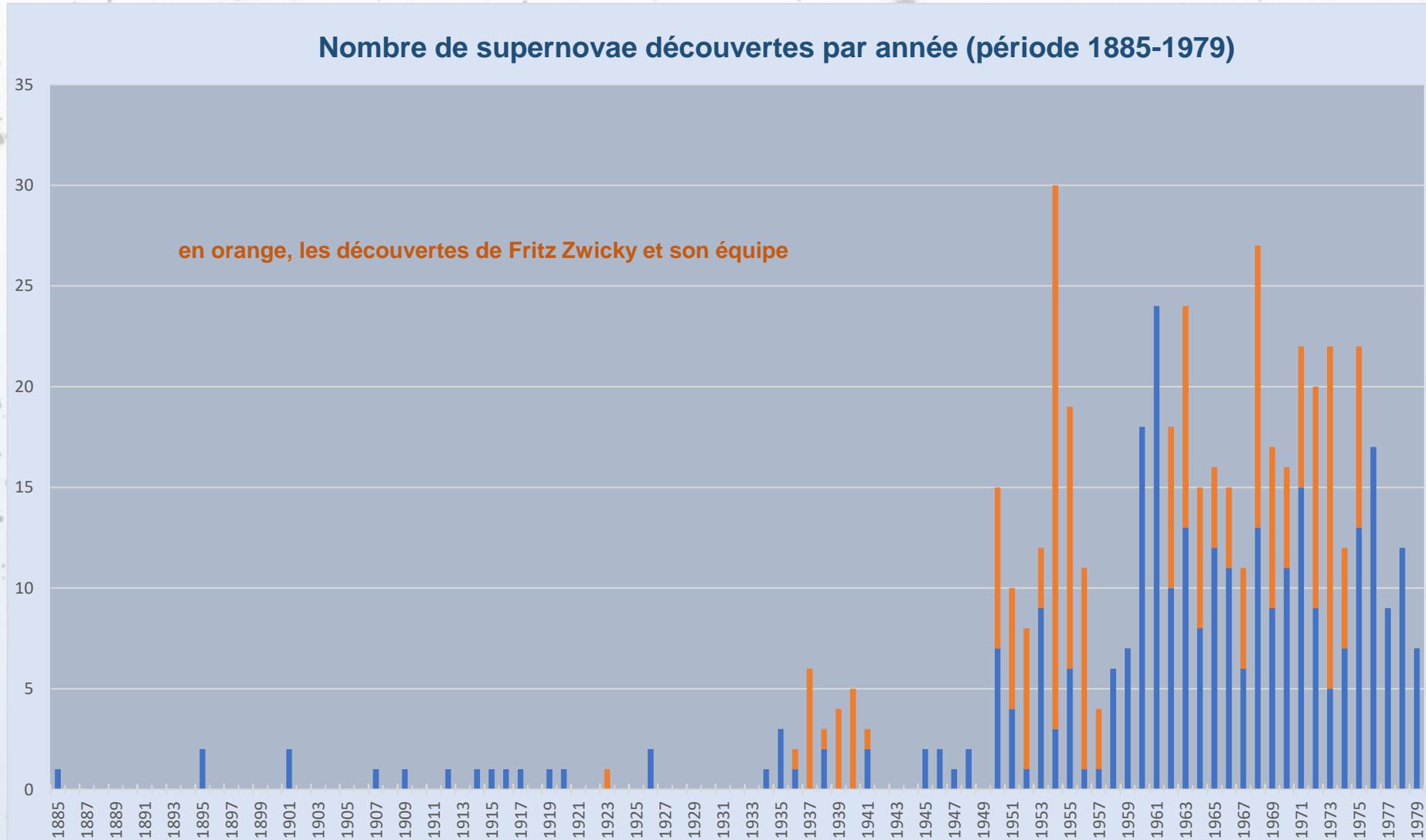


***En auscultant les amas de galaxies, Zwicky a, outre les supernovae,***

- ***Découvert de nombreuses galaxies, amas de galaxies, étoiles éruptives et variables, novae, etc.***
- ***Réalisé les premiers catalogues fournis de galaxies et amas de galaxies (dizaines de milliers d'objets)***
- ***DéTECTÉ la matière noire («Dunkle Materie») dans l'amas de Coma (1933)***
- ***Prédit les lentilles gravitationnelles (lentille = galaxie; pour Einstein : lentille = étoile)***
- ***Permis à d'autres (Baade, Minkowski) d'étudier spectroscopiquement nombre de supernovae***  
***=> première classification des SN (type I, type II...)***

***Zwicky est le précurseur de l'astrophysique des hautes énergies !***

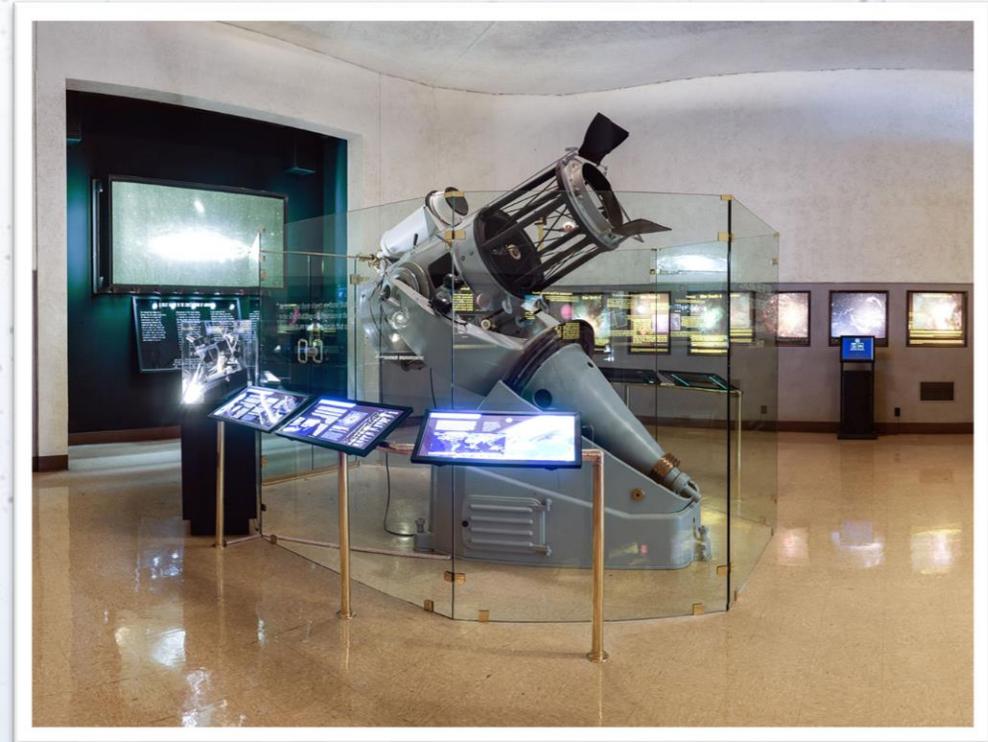
**Les découvertes de SN par Zwicky et son équipe : 271 (123 à lui seul)**



*Schmidt 18-inch: opérationnel de 1936 – mi-1990*

*« En termes de résultats obtenus par dollar investi, cela (le 18-inch) représente probablement une rentabilité supérieure à celle de tous les télescopes actuellement en service (voire de tous les télescopes jamais construits, à l'exception de la petite lunette de Galilée). »*

*Zwicky, 1966*



# Sommaire

1. L' «étoile de Noël»
2. La «nova stella» de **Tycho**
3. La limite de **Chandrasekhar**
4. **Zwicky** = Monsieur Supernovae
5. Le destin explosif de **Colgate**
6. La classification des supernovae



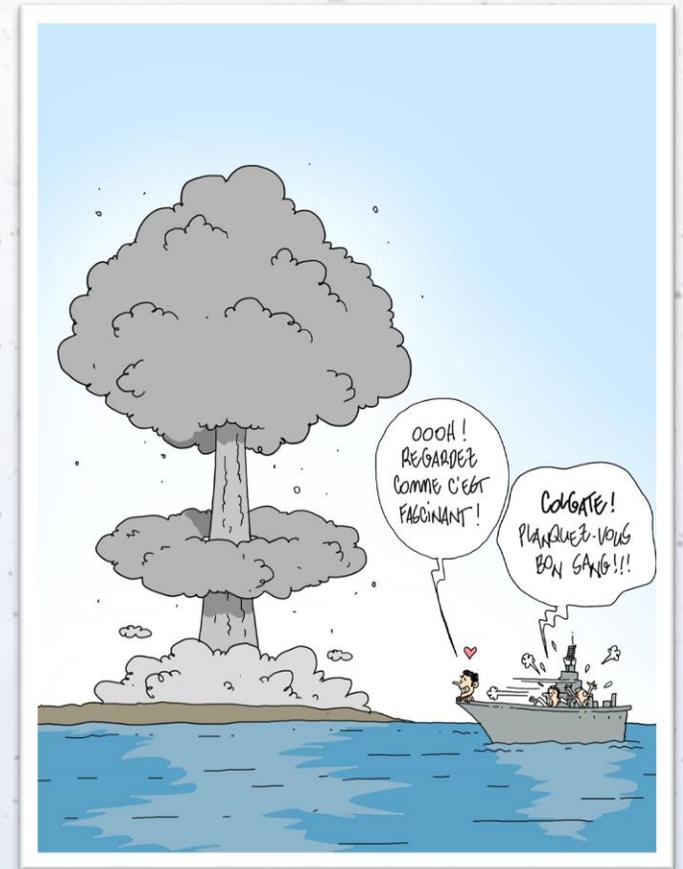
## **Stirling Colgate (1925-2013)**

- *Descendant de la riche famille du même nom*
- *Envoyé à la Los Alamos Ranch School (Nouveau-Mexique)*
  - ⇒ *deviendra le site top secret du projet Manhattan*
  - ⇒ *puis le Laboratoire national de Los Alamos*
- *Diplôme d'ingénieur en électricité à l'université Cornell (New Jersey)*
- *Envoyé comme soldat dans le Pacifique (1944-1946)*
- *Doctorat en physique à l'université Cornell (prof. Robert Wilson)*
- *Débauché par Edward Teller => part à Los Alamos (le retour!)*

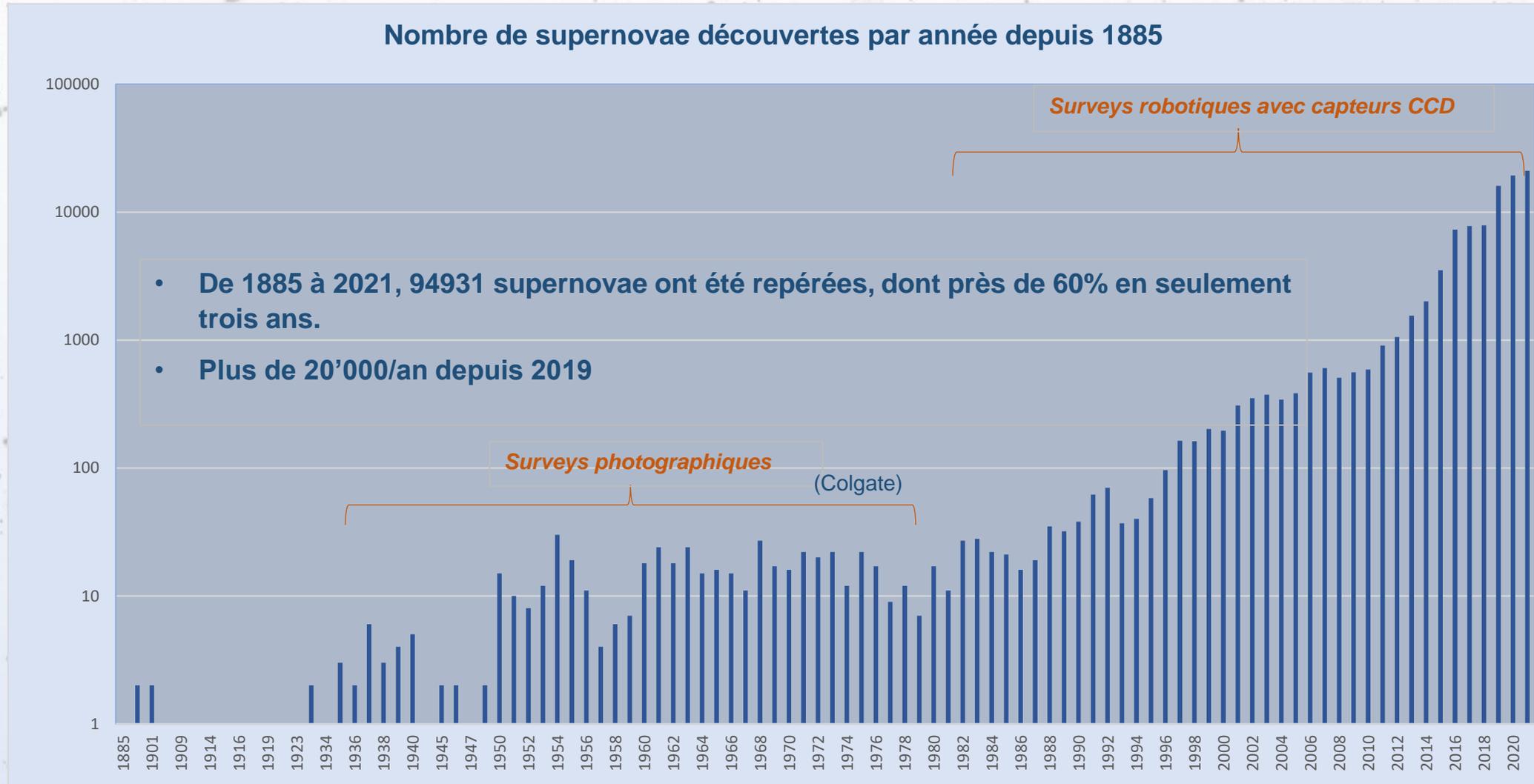


### De la bombe atomique aux supernovae

- 1954 : Colgate déploie ses instruments à Bikini (test Castle Bravo)
  - 1959 : Négociation à Genève en vue de l'interdiction des essais atomique dans l'atmosphère et dans l'espace
- Pavé explosif de Colgate: «Que se passerait-il dans le cas où un Etat prendrait une supernova pour une bombe atomique ?»  
Colgate va alors s'intéresser aux supernovae.
- 1961 : Premières simulations du collapse d'une étoile (avec R. White), grâce à des codes informatiques hérités du projet Manhattan  
=> rôle déterminant des neutrinos pour évacuer l'énergie !
  - 1971 : Il propose à l'Institut des mines et de la technologie du Nouveau-Mexique un programme de recherche automatique de supernovae (télescope de 76 cm sur le mont Magdalena)  
=> flop, 0 SN découverte
- => les travaux de Colgate (théorie/pratique) = une référence !



## Découvertes des supernovae dans le monde de 1885 à 2021

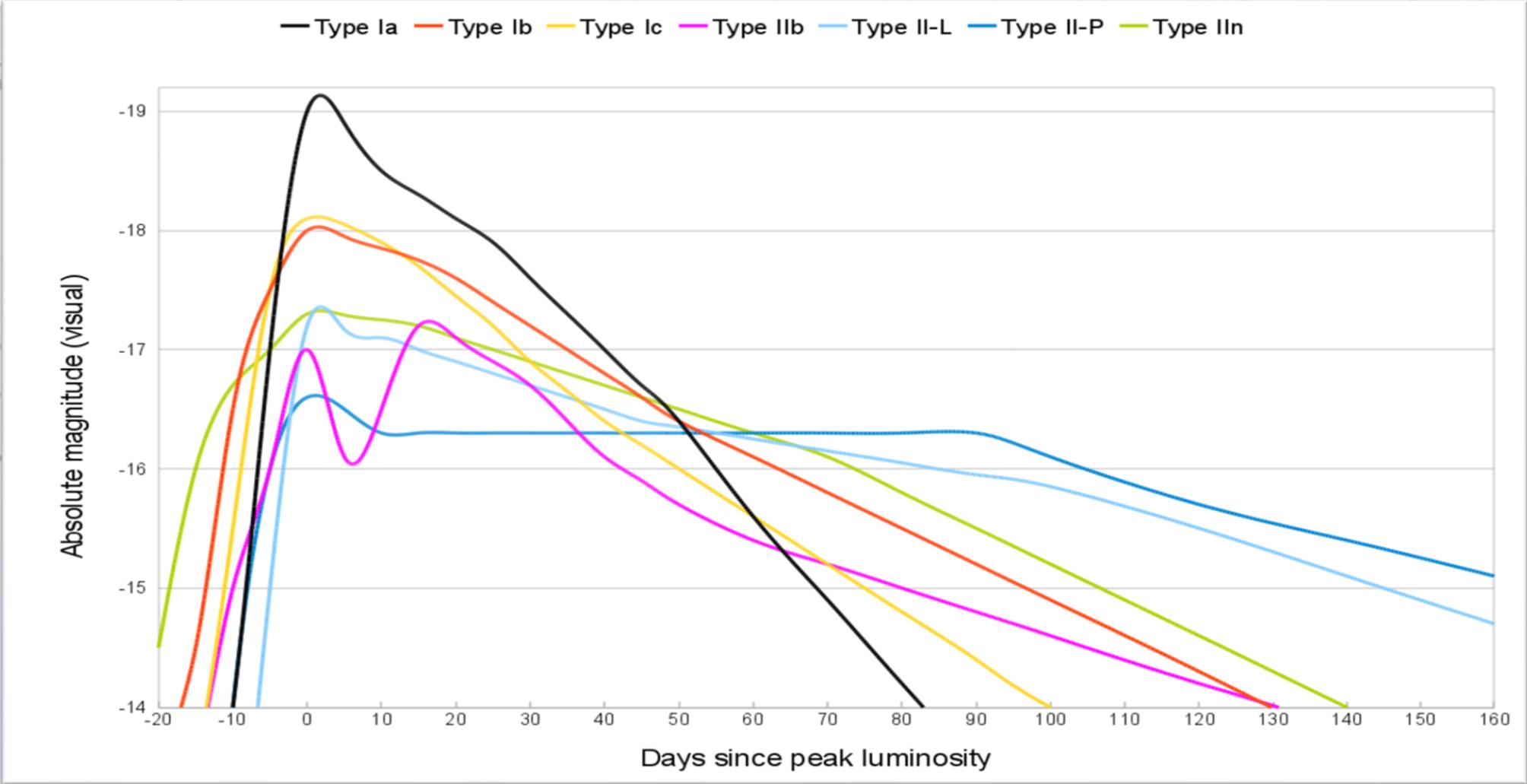


# Sommaire

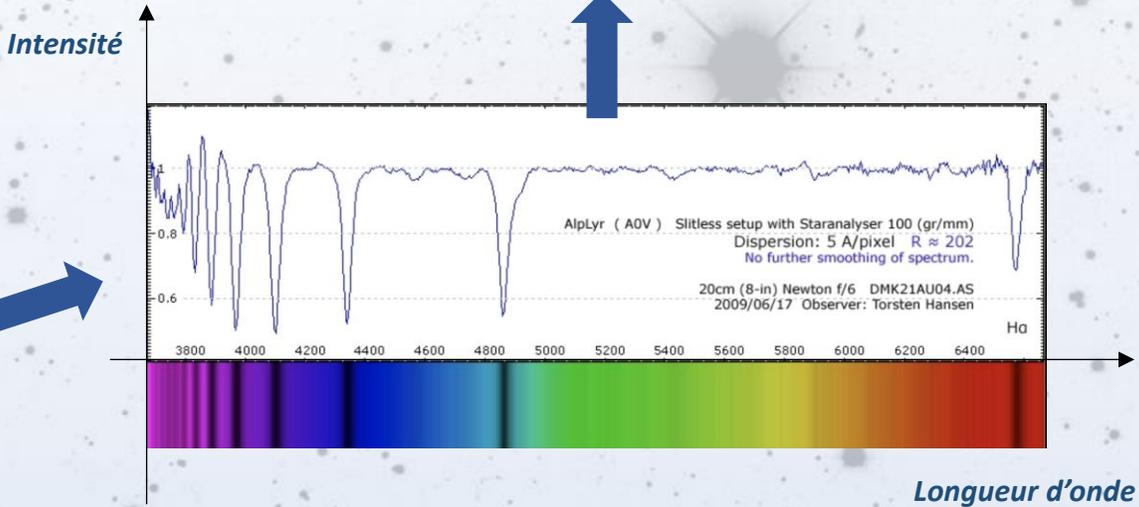
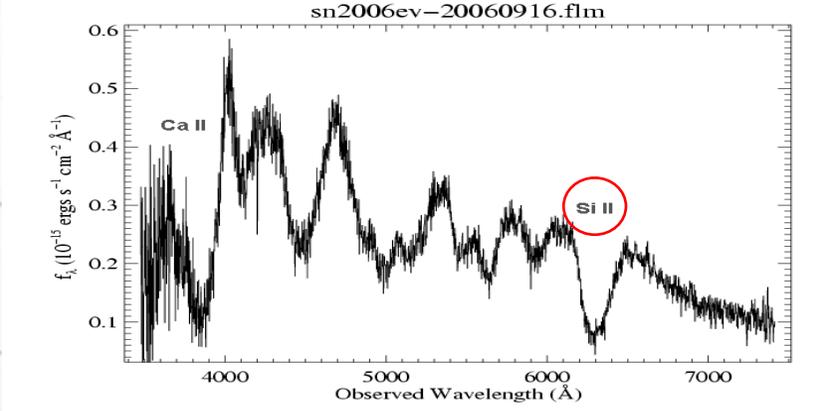
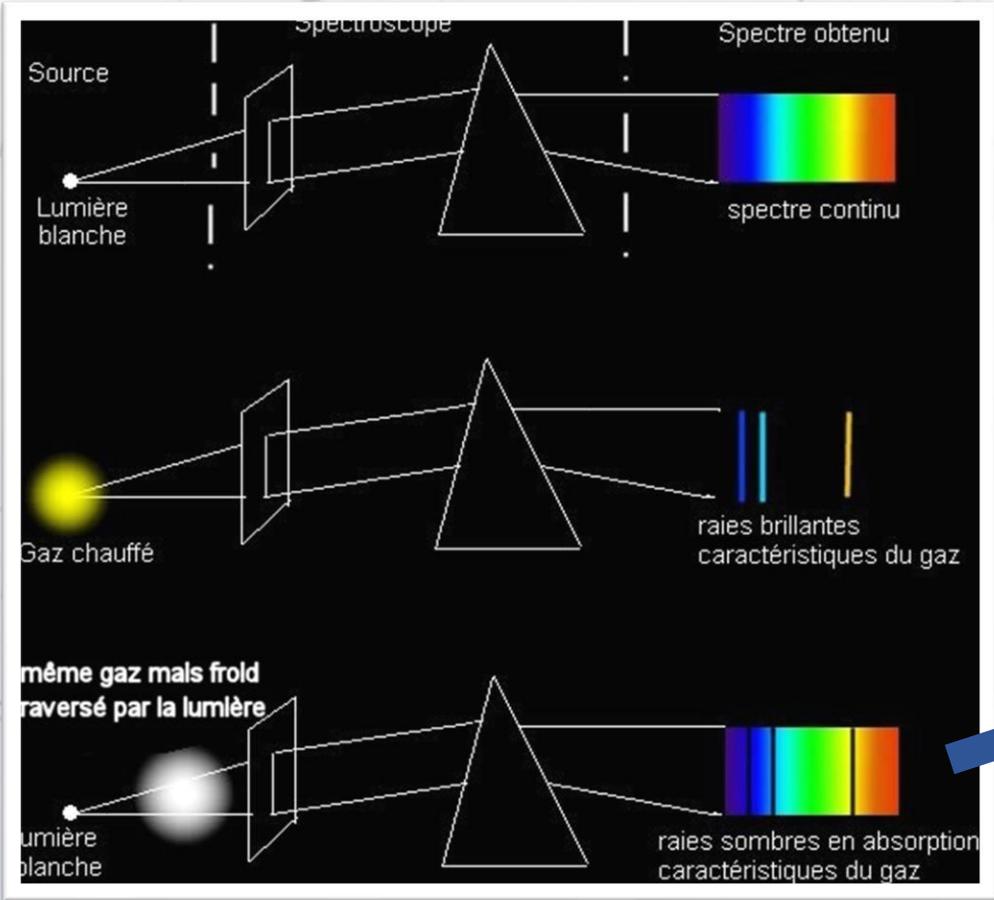
1. L' «étoile de Noël»
2. La «nova stella» de **Tycho**
3. La limite de **Chandrasekhar**
4. **Zwicky** = Monsieur Supernovae
5. Le destin explosif de **Colgate**
6. La classification des supernovae



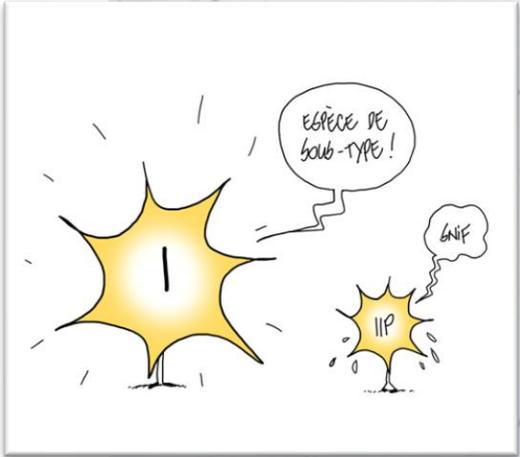
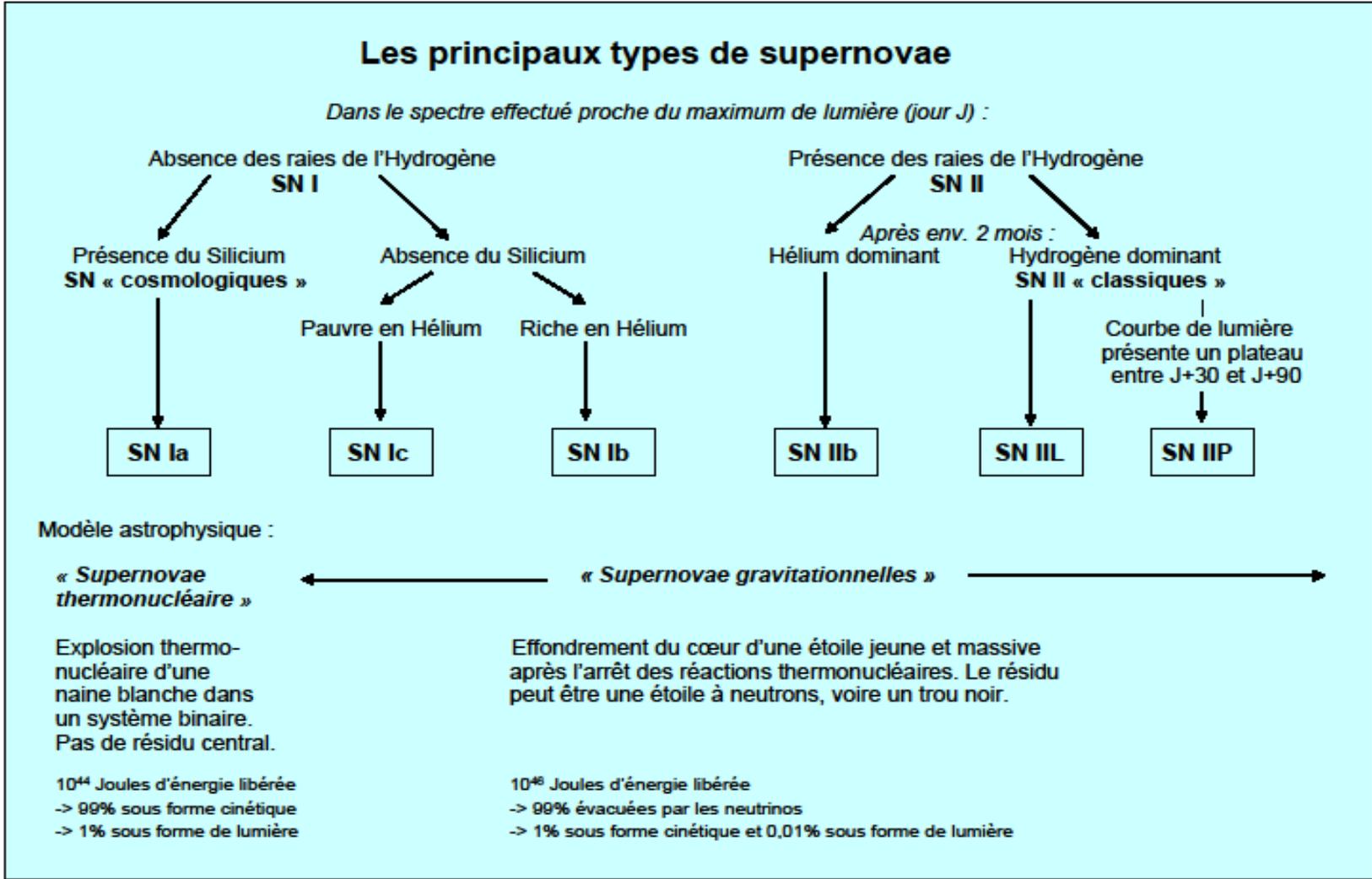
*Courbe de lumière des principaux types de supernovae (photométrie)*



Principe de la spectroscopie



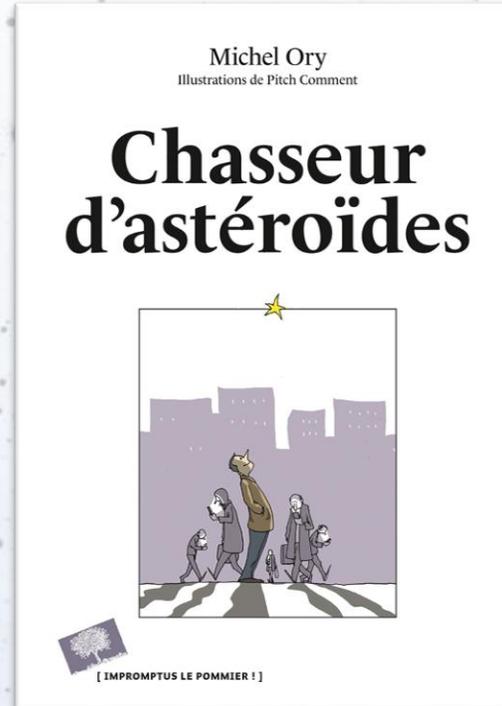
Exemple: spectre de Vega (Lyre)



*Que le spectacle commence...*



*A lire*



*Merci de votre attention...*