L'univers, dis moi ce que c'est? : Épisode 13 : les étoiles, quatrième partie

Autor(en): **Barblan, Fabio**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **56 (1998)**

Heft 284

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-897458

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

L'Univers, dis moi ce que c'est?

Episode 13: Les étoiles, quatrième partie

FABIO BARBLAN

6. Les étoiles variables
(suite)

6.3 Etoiles éruptives

Une autre grande catégorie d'étoiles variables sont les étoiles éruptives. La variation de luminosité est, en principe, unique (une seule fois dans la vie de l'étoile) et elle prend une forme cataclysmique. Parmi les étoiles éruptives on trouve les supernova, les étoiles à sursauts et, dans la catégorie des étoiles binaires (deux étoiles liées gravitationnellement), les nova, les étoiles symbiotiques et les étoiles à rayons X.

6.3.1 Etoiles binaires éruptives

Si, dans un système binaire, la distance qui sépare les deux étoiles est faible (par exemple de l'ordre de grandeur du diamètre de la plus grande d'entre elles), l'intensité des forces de gravitation et la rotation rapide des étoiles autour de leur centre de masse commun, peuvent amener la plus grande des deux étoiles aux limites de stabilité. Un flux de matière s'établit alors de l'étoile secondaire (la plus grande et la moins dense) vers l'étoile primaire, formant ainsi un disque d'accrétion autour de cette dernière. L'impact du flux de matière sur le disque d'accrétion produit une 'tache chaude' qui, périodiquement, fait changer la luminosité de l'étoile primaire (Fig. 1).

Parmi les étoiles binaires éruptives, on trouve les:

a) Les nova

Les observations des nova dans la Voie Lactée et la galaxie d'Andromède montrent qu'on peut s'attendre de 25 à 50 événement de ce type par année. Le processus nova est le suivant:

I) Stade prénova: étoile de type spectrale B à A, de magnitude absolue environ 4.
II) Rapide montée de la luminosité, d'une amplitude de 5 à 6 magnitudes, le spectre est à ce moment de type A, avec un fort décalage vers le violet indiquant des vitesses d'expansion de l'ordre de 1000 Km/sec.
III) Luminosité maximum avec type spectral F I, la livraison d'énergie à l'enveloppe en expansion n'étant plus suffisante pour maintenir la température dans la photosphère, il y a refroidissement et changement de type spectral.
VI) Décroissance progressive de la luminosité

On distingue quatre types de nova:

- les nova rapides: la montée en luminosité est très rapide, de un à quelques jours; la diminution de luminosité de 3 magnitudes se fait en moins de 100 jours;
- les nova lentes: la diminution de luminosité de 3 magnitudes se fait en plus que 100 jours, généralement de 4 à 5 mois;
- les nova très lentes : montée en luminosité très lente, permanence au maximum de luminosité pour une période très longue (des années) et, ensuite, diminution de la luminosité toute aussi progressive et lente (des années);
- les nova récurrentes: en principe, comme déjà indiqué, le phénomène nova se produit une seule fois. Mais on a mis en évidence un certain nombre de nova où la montée en luminosité se reproduit périodiquement.

Le mécanisme qui donne lieu à une nova est le suivant:

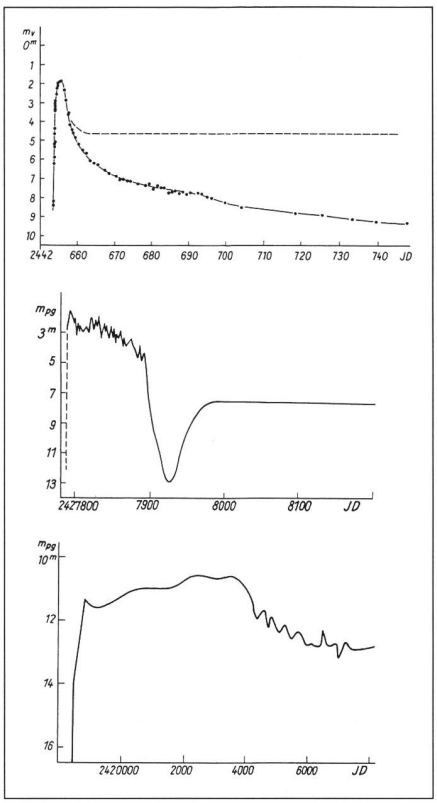


Figure 3. Quelques courbes de lumière de nova, respectivement V 1500 Cyg (1975), DQ Her (1934) et RT Ser (1909).

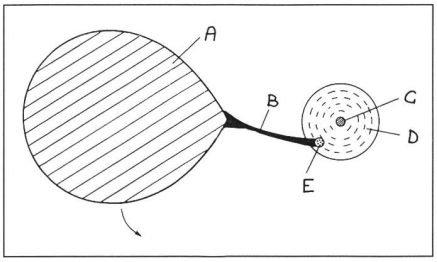
Parmi les matériaux «livrés» par l'étoile secondaire à l'étoile primaire, on trouve, évidemment, de l'hydrogène. Cet hydrogène s'accumule à la surface de l'étoile primaire et est, progressivement, comprimé et, par conséquent, échauffé. Lorsque la température critique de la fusion de l'hydrogène est atteinte, on assiste à une gigantesque explosion thermonucléaire, c'est le phénomène nova. (Fig. 2, 3 et 5)

b) Les étoiles symbiotiques

Tout objet dont le spectre possède les caractéristiques suivantes:

- des raies d'absorption de spectres tardifs (bande du TiO, Ca I, Ca II etc.),

Figure 1. Modèle d'une binaire éruptive; A Etoile froide, B Flux de matière, C Naine blanche, D Disque d'accrétion et E Point chaud.



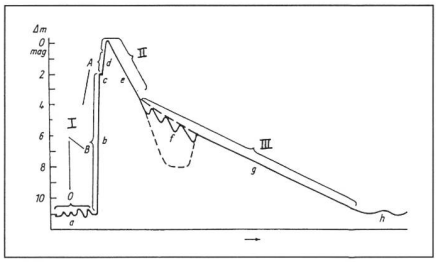


Figure 2. Courbe de lumière schématique d'une nova :
a Prénova; b montée en luminosité; c pause avant le maximum de luminosité; d montée finale; e première phase de décroissance de la luminosité; f phase de transition; g décroissance finale; h postnova. I spectres de type A, B et O, II spectre de l'enveloppe, III spectre de la nébuleuse.

– des raies d'émission de ions fortement excités (He III, O III, etc.), et qui présente des variations de luminosité de plus de 3 magnitudes, avec une période de plusieurs années,

est considéré comme une étoile (binaire) symbiotique. Le modèle théorique actuel d'un système binaire symbiotique est le suivant:

généralement, une étoile secondaire de type M, de rayon de quelques centaines de rayons solaires et, comme étoile primaire, une naine, voire une naine blanche très chaude de température effective d'environ 100000 degrés Kelvin, de moins de 0.5 rayon solaire. La distance réciproque est d'environ 5 U.A et la période de révolution de une à plusieurs années. Les deux étoiles sont enveloppées d'un ou plusieurs nuages de gaz commun. (Fig. 4, 7, 8 et 9)

Figure 7. Modèle d'une étoile symbiotique (A composante froide, B composante chaude, C nébuleuse).

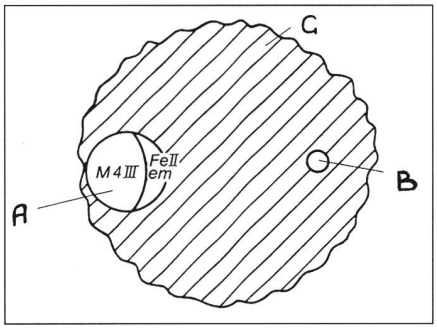


Figure 8. Une sélection d'étoiles symbiotiques. Signification des colonnes: nom de l'étoile, magnitude maximale, magnitude minimale, période selon les vitesses radiales, période selon la variation de lumière, type d'étoile (EA=variations du type Algol, x=objet particulier unique).

Z And	8^m0	12^m4		694^d	Z And
R Aqr	5.8	11.5	9740^d	387	Mira
CM Aql	13.2	16.5			Z And
TX CVn	9.3	11.6			Z And
RT Car	11.0	11.4			Z And?
o + VZ Cet	2.0	10.1	$3.6 \cdot 10^4$	332	Mira
T CrB	2.0	10.8	288		Nr
BF Cyg	9.3	13.5	750	754	Z And
CH Cyg	7.4	9.1		97	Z And
CI Cyg	9.4	13.7	815	855	Z And + EA
V 407 Cyg	13.3	[16.5		745	Mira + Nova
V 1016 Cyg	10.3	17.5	450		x
V 1329 Cyg	11.5	18	960		x
AG Dra	9.1	11.2		554	Z And
YY Her	11,7	[13.2			Z And
V 443 Her	12.4	12.6			Z And
RW Hya	10.0	11.2	370	370	Z And
SS Lep	4.8	5.1	276:		Z And?
AX Mon	6.6	6.9	232:		x
SY Mus	11.3	12.3		623	Z And?
RS Oph	5.2	12.3			Nr
AR Pav	8.5	13.6	605		Z And + EA
AG Peg	6.0	9.4	830	800	Z And
AX Per	9.7	13,4	600–880	685:	Z And
RX Pup	11.1	14.1			Z And
HM Sge	11	16			x
FN Sgr	9	13.9			Z And
KW Sgr	11.0	13.2		670	Z And (SRc)
V 1017 Sgr	6.2	14.4			Nr (Z And?)
V 2416 Sgr	14.4	[17.6			Z And
V 2601Sgr	14.0	15.3		850	Z And
V 2756 Sgr	13.2	15.2		243	Z And?
V 2905 Sgr	10	14.6			Z And
FR Sct	11.7	12.5			Z And
RR Tel	6.5	16.5			Nl

T CrB	Nr	227^d6	gM3	V 425 Cas	Nl	3^h35^m	
GK Per	N	45^h36^m	K2IVp	RR Pic	N	3 29	
BV Cen	UG	14 38	dG5–8	V 603 Aql	N	3 29	
DI Lac	N	13 3		VZ Scl	Nl	3 28	
V Sge	Nl	12 20	dG	0623+71	N?	3 27	
QU Car	Nl	10 54		V 1223 Sgr	Nl	3 23	
V 1668 Cyg	N	10 32		V 442 Oph	Nl	3 22	
AE Aqr	Nl	9 53	K5V	V 1500 Cyg	N	3 21	
SY Cnc	UG	9 7		TT Ari	Nl	3 18	
RU Peg	UG	8 54	K0IVn	PG 1012–029	Nl	3 14	
BT Mon	N	8 1		3A 0729+103	Nl	3 14	
Lanning 10	Nl	7 43		MV Lyr	Nl	3 12	M5V
AC Cnc	Nl	7 13	K5V	AM Her	Polar	3 6	M4.5V
EM Cyg	UG	7 0	K5V	TU Men	UG	2 50	
Z Cam	UG	6 56	dK7	AN UMa	Polar	1 55	
V 533 Her	N	6 43		CW 1103+254	Polar	1 54	
SS Cyg	UG	6 38	dK5	H 0139–68	Polar	1 54	
RW Sex	Nl	5 56		PG 1550+191	Polar	1 54	
RW Tri	Nl	5 34	M0V	UU Aql	UG	1 53	
TV Col	Nl	5 29		TY Psc	UG	1 51	
V 1727 Cyg	Nl	5 14		CU Vel	UG	1 51	
HR Del	N	5 8		WX Hyi	UG	1 48	
RX And	UG	5 5		VW Hyi	UG	1 47	
V 3885 Sgr	Nl	4 57		Z Cha	UG	1 47	
T Aur	N	4 54		HT Cas	UG	1 46	
UX UMa	Nl	4 43	dK8–M6	VW Vul	UG?	1 45	
DQ Her	N	4 39	M3V	AY Lyr	UG	1 45	
SS Aur	UG	4 28		1E 1013–477	Polar	1 43	
TW Vir	UG	4 23		1E 1405–451	Polar	1 42	
BD Pav	N	4 18		VV Pup	Polar	1 40	
U Gem	UG	4 15	M5V	EX Hya	UG	1 39	
WW Cet	UG	4 10		RZ Sge	UG	1 38	
H 2215–086	Nl	4 2		EK TrA	UG	1 32	
CN Ori	UG	3 55		OY Car	UG	1 31	
KR Aur	Nl	3 54		V436 Cen	UG	1 30	
PG 1140+719	Nl?	3 54		1E 1114+18	Polar	1 30	
V 380 Oph	Nl?	3 50		V 2051 Oph	UG	1 30	
CM Del	UG?	3 50		T Leo	UG	1 25	
LX Ser	Nl	3 48		SW UMa	UG	1 22	
3A 0729+103	Nl	3 45		WZ Sge	UG	1 22	
E 2003+225	Polar	3 43		EF Eri	Polar	1 21	
WY Sge	N	3 41		GP Com	AM CVn	0 46	DB(?)
H 2252–035	Nl	3 35		PG 1346+082	AM CVn	0 25	
AO Psc	Nl	3 35		AM CVn	AM CVn	0 18	DB(?)

Figure 5. Binaires éruptives avec période orbitale connue. Première colonne: nom de l'étoile, deuxième colonne: type d'étoile éruptive (N=nova, Nr=nova récurrente, UG=U Gem,AM CVn= AM Canum Venaticorum, Polar=AM Herculis, Nl=type nova sans spécification possible), troisième colonne: période orbitale, quatrième colonne: type spectral de la secondaire.

Figure 4. Les caractéristiques des deux composantes des étoiles binaires

Composante primaire	Composante secondaire			
	Etoile de la séquence principale ou sous-géante	Etoile géante	Naine blanche	Etoile à neutrons
Etoile de la séquence principale ou sous-naine froide	Binaires à éclipse classiques en interaction			
Naine blanche, champ magnétique intense	AM Her Novae (?)	Etoiles symbiotiques (Z And, novae très lentes, novae récurrentes)	Etoiles du type AM CVn	
Naine blanche, champ magnétique faible	Novae naines (U Gem), Novae			
Etoile à neutrons, champ magnétique intense	Pulsar à rayons X de faible masse (HZ Her)	Pulsar à rayons X massif, Etoiles à rayons X symbiotiques (V 2116 Oph)	KZ TrA et 4U 1915-05?	Pulsar binaire (PSR 1913+16)
Etoile à neutron, champ magnétique faible				
Objet massif et compact (> ou = trois masses solaire)	?	V 1357 Cyg	?	?

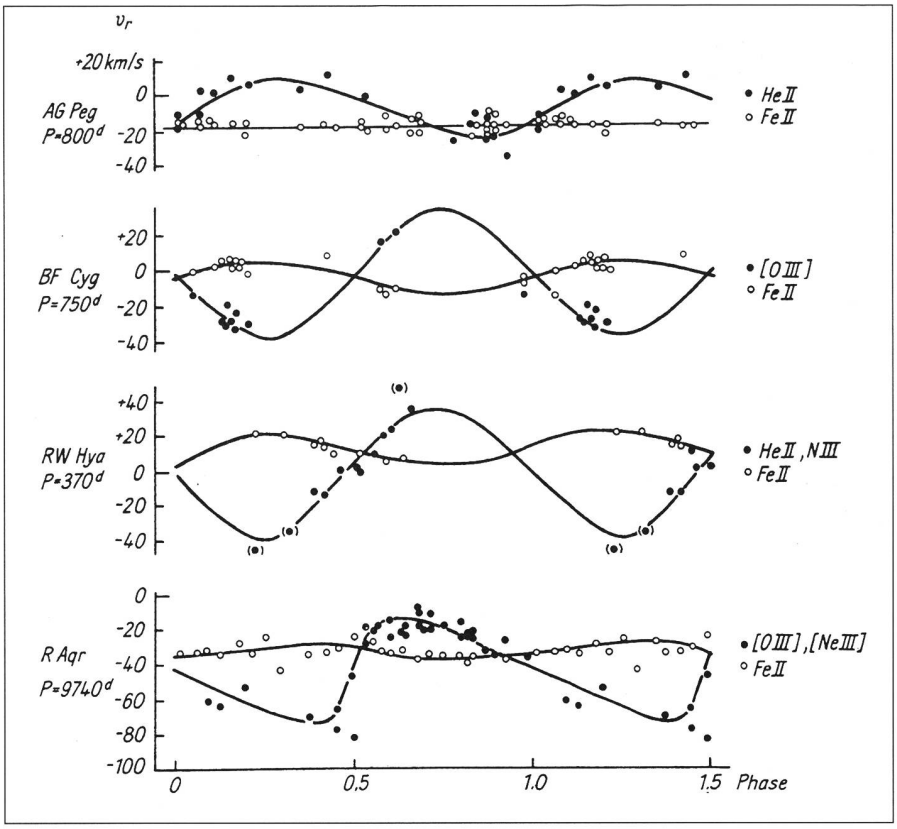


Figure 9. Mise en évidence du caractère «étoile double» d'une étoile symbiotique à travers les courbes de vitesse radiale

c) Les étoiles à rayons X

On les appelle étoiles à rayons X, parce que la majorité de l'énergie observée est rayonnée dans le domaine des rayons X (mais des émissions de rayons X plus modestes existent aussi chez les nova et les étoiles symbiotiques) Le prototype des étoiles à rayons X, est AM-Herculis. Sa variabilité est la superposition de trois phénomènes:

- des variations à long terme
- des variations de courte période (dues à la rotation du système)
- des scintillations très rapides

La modélisation de ce type d'objets est donnée par une étoile froide (type spectral M 4/5 V) et une étoile compacte chaude (naine blanche), avec un flux de matière de l'objet froid vers l'objet chaud (situation standard des binaires éruptives). Mais il manque autour de l'objet chaud le disque d'accrétion (la différence est ici) . Le disque est empêché de se former à cause du champ magnétique intense de l'étoile primaire. L'émission de rayons X est provoquée par l'impact de la matière sur la surface de l'étoile primaire. (Fig. 10 et 11)

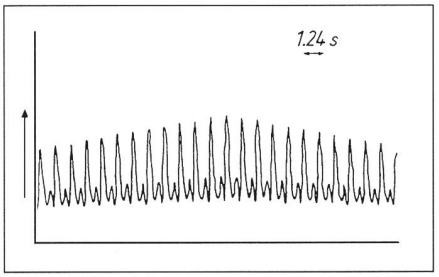


Figure 10. Pulsations de rayons X dans Her X-1. La période de 1.24 secondes n'est pas régulière et montre une modulation avec une période de 1.70017 jours. L'axe verticale indique la magnitude du rayonnement X.

Figure 11. Une sélection de binaires à rayons X, avec période orbitale connue. Signification des colonnes: nom de la source à rayons X, nom de l'objet optique associé à la source, période, magnitude maximum, magnitude minimum, type spectral optique.

GX 301 – 2	BP Cru	41ᵈ4	10ᵐ8	10ᵐ9 V	B2Iae
Cir X-1	BR Cir	16.59	13.5	16 r	OBI
Cyg X-2	V 1341 Cyg	9.84	14.8	15.4 B	FIII – IV
2S 0921 – 630	–	8.99	15.3	16.5	GIII:
Vel X-1	GP Vel	8.97	6.7	6.9 V	B0.5Ia
A 0620 – 00	V 616 Mon	7.8	12	20 B	K5 – 7V
Cyg X-1	V 1357 Cyg	5.60	8.8	8.9 V	O9.7I
SMC X-1	Sk 160	3.89	13.3	B	B0I
3U 1700 – 37	V 884 Sco	3.41	6.5	6.6 V	O6f
Cen X-3	V 779 Cen	2.09	13.4	B	O6.5V – III
Her X-1	HZ Her	1.70	12.8	15.1 B	B8 – F3V
Aql X-1	V 1333 Aql	1.3:	14.8	19.2 B	G7 – K3V
Sco X-1	V 818 Sco	0.79	11.1	14.1 B	pec.
Cen X-4	V 822 Cen	0.31	12.8 >	19 B	K3 – 7V
2A 1822 – 371	V 691 CrA	0.23	15.4	16.4	
4U 2129 + 47	V 1727 Cyg	0.22	16.9	18.6 B	
Cyg X-3	V 1521 Cyg	0.20			
4U 1915 – 05	–	0.035	> 22		
4U 1627 – 67	KZ TrA	0.029	18.2	18.7 B	

6.3.2 Les supernova

Ces objets représentent une amplification gigantesque du phénomène nova, puisque leur luminosité maximale est en moyenne 10 000 fois plus grande que celle d'une nova ordinaire.

L'événement supernova est nettement plus rare que celui de nova. C'est pour cette raison que les astronomes du monde entier attendaient avec impatience de pouvoir assister, en direct, à un phénomène supernova. En effet, toute la connaissance de ce type d'étoile était paradoxalement à établir en l'absence de l'objet en question, soit sous forme de présupernova, de supernova ou de postsupernova.

Les seules informations disponibles étaient celles des supernovae historiques:

- en 1006 dans la constellation du Loup, citée par les Arabes, les Européens du sud, les Chinois et les Japonais, elle a probablement atteint une magnitude de -9 à -10.
- en 1054 dans la constellation du Taureau, citée par les Chinois et les Japonais, de magnitude -4
- en 1572 dans la constellation de Cassiopée, observée par TYCHO BRAHE, de magnitude -4
- en 1604 dans la constellation d'Ophiuchus, observée par J. KEPLER, de magnitude -4

La supernova 1987A, dans le Nuage de Magellan, a comblé cette lacune et a permis aux astronomes d'assister, en direct, à ce type de phénomène. Inutile de dire que la somme d'observations effectuées a été, et continue à être considérable.

Les courbes de luminosité et les spectres permettent de définir deux classes de supernova.

Les supernova de type I:

La courbe de lumière de ce type d'étoiles ressemble assez à celle d'une nova rapide. La décroissance de 3 magnitudes se fait en une période de 25 à 40 jours et, par la suite, elle perd, environ, une magnitude tous les 60 à 70 jours.

Les supernova de type II:

Pour ce type de supernova, la décroissance de luminosité se fait plus lentement et elle est multiforme. Trait caractéristique, une bosse dans la courbe de décroissance apparaît environ 20 jours après le maximum.

Le mécanisme d'une supernova a déjà été partiellement abordé à l'occasion des nébuleuses planétaires. Lorsque, pour une étoile de masse plus grande que 1.4 masses solaires, la réaction nucléaire dans le noyau cesse il s'en suit un effondrement gravitationnel qui amène la partie centrale de l'étoile au stade d'étoile à neutron. Une énorme quantité d'énergie gravitationnelle est libérée dans ce processus ultra-rapide (deux secondes) qui engendre une violente onde de choc, qui expulse la majeure partie

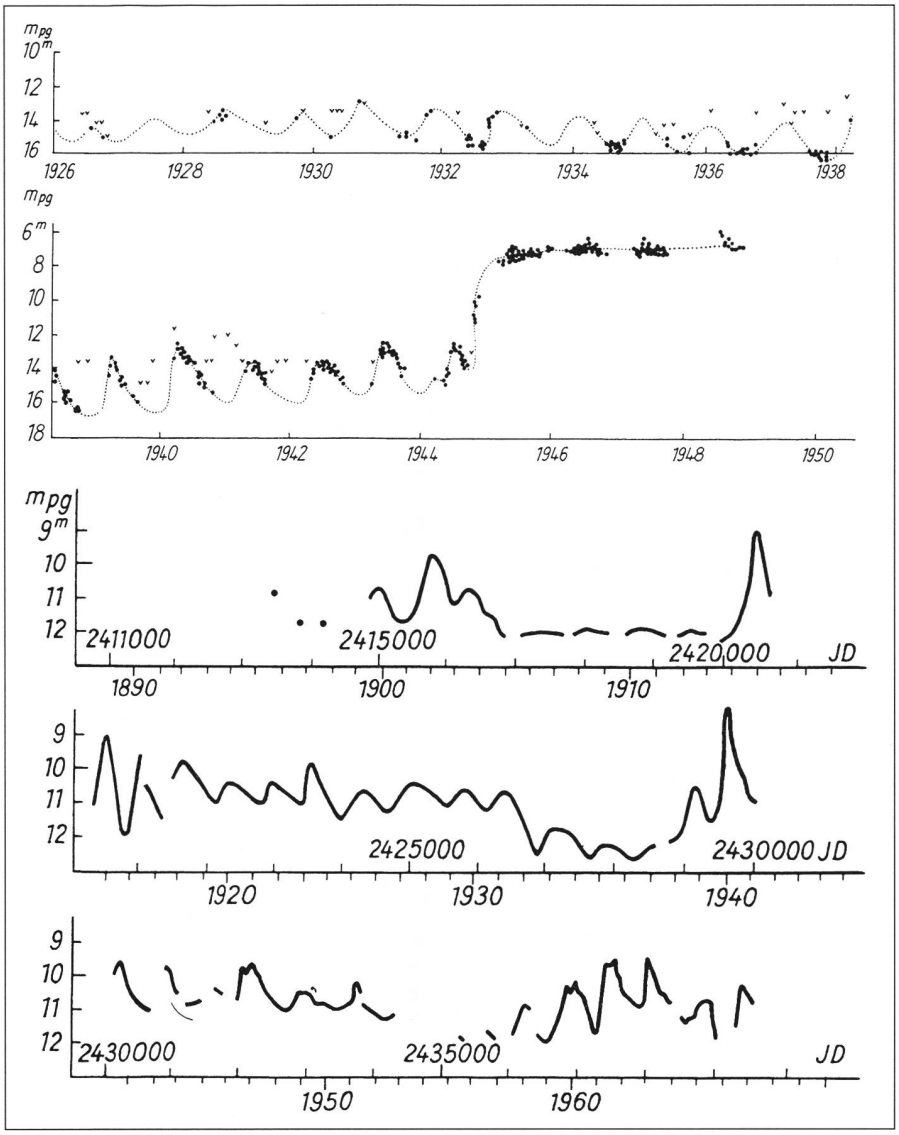


Figure 6. Les courbes de lumière de RR Tel (courbes 1 et 2) et Z And (courbes 3, 4 et 5), dans ce dernier cas on constate que des fluctuations quasi-périodiques sont brusquement interrompues par des «explosions» de plus de 4 magnitudes d'intensité.

Figure 13. Structure possible d'une supernova d'une vingtaine de masses solaires

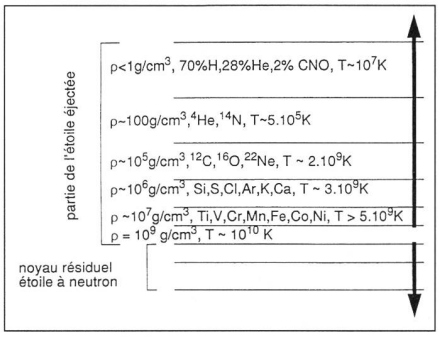


Figure 12. Courbes de lumière de SN 1987A de l'ultraviolet à l'infrarouge. Sur l'axe horizontal on peut lire le nombre de jours qui se sont écoulés depuis JD 2446849.82.

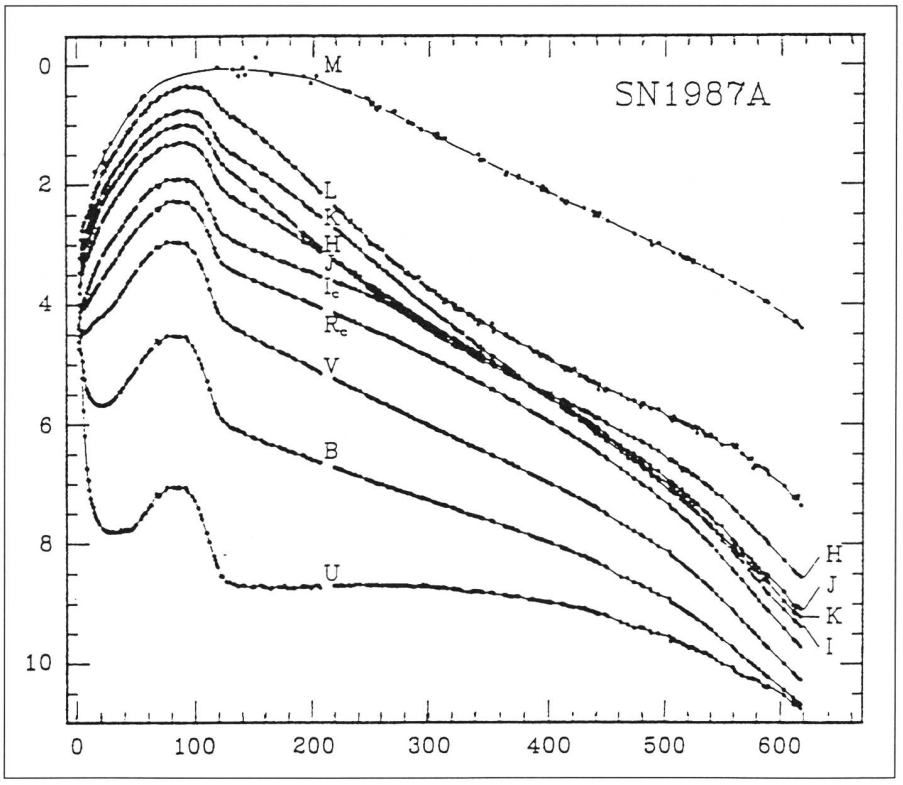
de la masse de l'étoile avec des vitesses très élevées. C'est cette éjection de matière qu'on observe sous forme d'explosion de supernova. (Fig. 12 et 13)

6.3.3 Les étoiles à sursauts

Le trait caractéristique de ce groupe est un fort changement de luminosité qui ne dure souvent que quelques minutes. Il peut être répétitif à des intervalles irréguliers espacés par un laps de temps beaucoup plus long que le flash. Le prototype est l'étoile UV Cet, une naine rouge avec des raies d'émission de l'hydrogène.

Pour le moment le mécanisme physique qui donne naissance à ce phare lumineux reste largement incompris et inexpliqué.

FABIO BARBLAN
Ch. Mouille-Galand 2a, CH-1214 Vernier



Bibliographie

C. HOFFMEISTER, G. RICHTER, W. WENZEL; *Variable Stars*; Springer Verlag 1985. Source des illustrations.