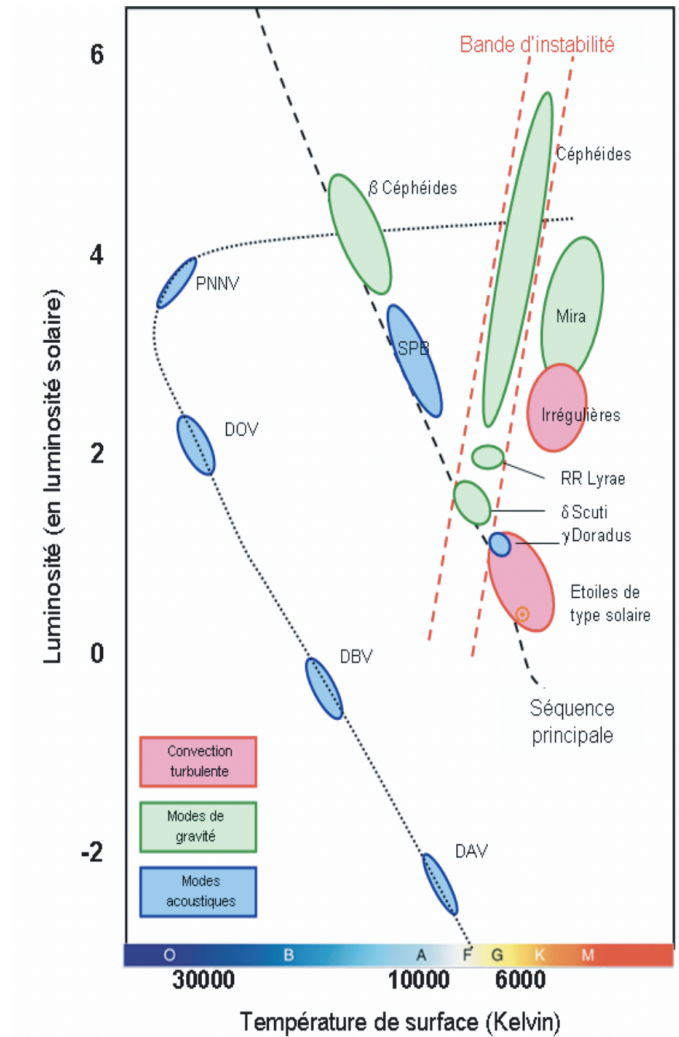
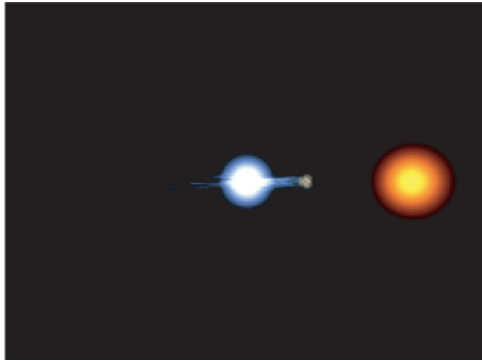


Les étoiles variables



LES ÉTOILES VARIABLES

30.000 étoiles variables clignent au-dessus de votre tête : c'est à dire la grande fréquence de ces étoiles dont l'éclat varie au fil du temps. Mais il faut savoir être patient pour les débusquer, leurs changements d'éclat demandant des jours, parfois des semaines pour être observés. Plusieurs de ces étoiles sont cependant très facilement visibles dans le ciel.

Il y a plusieurs sortes ou catégories d'étoiles variables :

1. Les étoiles variables de type « Algol » ou « variables à éclipses »
2. Les étoiles variables de type « Mira », typique des « Céphéides »
3. Les étoiles variables de type RR Lyræ avec des variations plus rapides que les céphéides
4. Les étoiles variables de type « Nova » (Novæ au pluriel)

I – Algol et les variables à éclipses

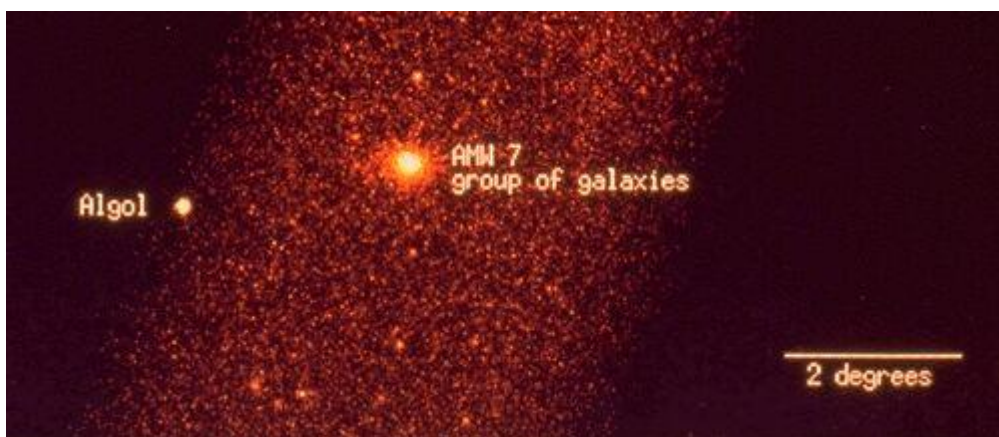
Voici plusieurs documents sur Algol, qui sont parfois redondants et parfois complémentaires :

A) ALGOL (1)

Algol A est une étoile « variable à éclipses », de couleur bleu-blanc qui est plus grande, plus brillante et plus chaude que Sirius A.

Résumé du système

Algol, ou Beta Persei, est un système compact à trois étoiles qui se situe à 92,8 années-lumière du Soleil. Cette étoile est dans la partie centrale et à l'ouest de la constellation de Persée, le héros grec mythique qui s'est servi de la tête tranchée de Méduse, la plus dangereuse des trois gorgones, pour transformer Cétus (monstre marin assimilé à une baleine) en pierre pour délivrer Andromède, est au sud-ouest de Mirfak (Alpha Persei). Parmi d'autres choses, les grecs de l'antiquité se référaient à Algol comme « l'œil diabolique » de Méduse, probablement à cause de la régularité avec laquelle cette étoile changeait de luminosité et de couleur.



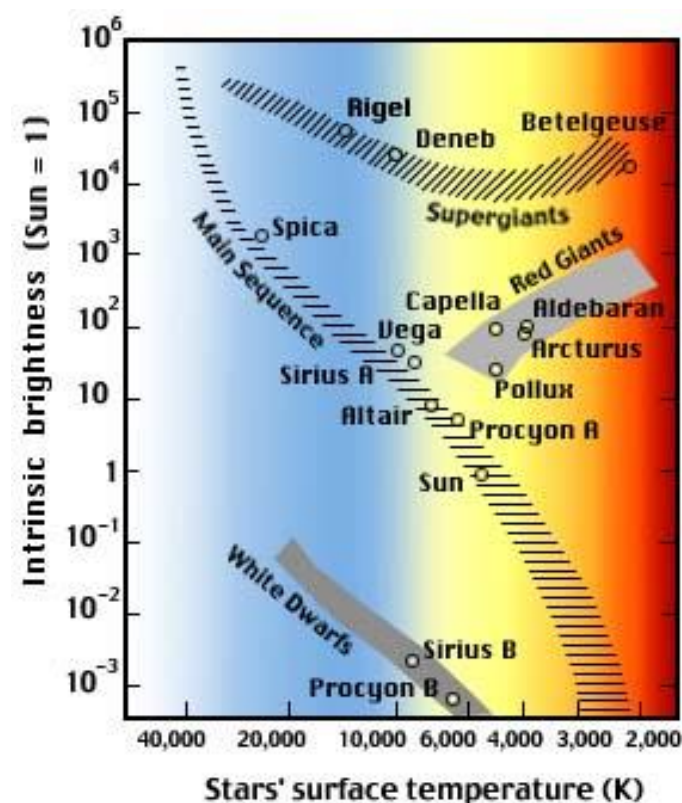
Max Planck Institute, ROSAT – Le système d'Algol brille en rayons-X.

Selon Robert Burnham, Jr. (1931-93), le premier document certifié de la variabilité d'Algol a été faite par Geminiano Montanari (1633-87) de Bologne autour de 1667. La régularité de la période de variation n'a toutefois pas été déterminée avant 1782 ou 1783 par John Goodricke (1764-86), qui a aussi correctement interprété les variations comme étant causées par des éclipses solaires partielles. La nature binaire d'Algol a été confirmée en 1889 par Hermann Carl Vogel (1841-1907) à Potsdam qui a trouvé les décalages périodiques Doppler dans le spectre d'Algol A et dans la superposition du spectre de Algol B.

En plus du système AB très rapproché, on a trouvé un troisième compagnon C. La présence de l'étoile C a été détectée dans les minces lignes spectrales trouvées par Frank Schlesinger (1871-1943) en 1912 et dans les mouvements provoqués par une troisième étoile découverte par Dean B. McLaughlin en 1934. Elle a été trouvée aussi en spectrophotographie par Joseph Algernon Pearce (1893-1988) mais sa découverte, non publiée, n'a été rapportée qu'en 1939 par W.E. Harper. De là, la re-confirimation spectroscopique de cette découverte a été publiée en 1957 par Alan S. Meltzer, Otto Struve et Jorge Sahade.

Beta Persei A

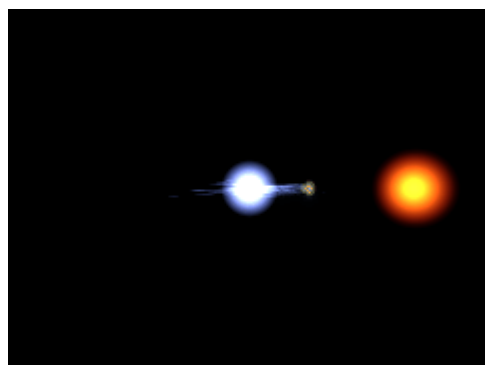
Algol A est une étoile bleu-blanc de la séquence principale de type spectral B5-8 V. L'étoile aurait une masse de 3,59 x le Soleil, 2,88 fois son diamètre et pas moins de 98 fois sa luminosité (autour de 200 fois avec l'ultraviolet). Probablement vieille de moins de 300 millions d'années, elle a une vitesse rotationnelle de 65 km/seconde.



Observatoire de la NASA

Algol A est plus chaude, plus brillante et plus bleue que Véga ou Sirius A, mais elle est moins chaude, moins brillante et plus petite que Spica.

Algol A est une célèbre étoile variable et c'est la première (qui a donné son nom) à la catégorie bien connue des « variables à éclipses de type Algol ». L'étoile est séparée en moyenne de son compagnon B de seulement 0,062 UA (soit 9,3 millions de km) avec un demi-axe de 0,00218" à une distance de la Terre estimée à 92,8 AL. Leur orbite est exactement circulaire ($e = 0,00$) et ne prend que 2,87 jours pour un tour complet. Depuis la perspective d'un observateur sur la Terre, cette orbite est inclinée à $97,69^\circ$ mais il faut ajouter $0,1^\circ$ chaque siècle.

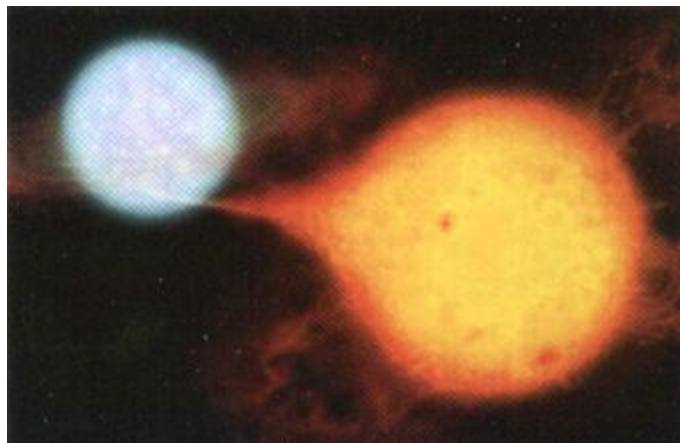


© Jens Dengler (Artwork from John Goodricke in *The Sky over Berlin*)

L'étoile A est séparée de son proche compagnon B par une distance d'un seizième de la distance Terre-Soleil (0,062 AU). L'étoile B éclipse partiellement l'étoile A tous les 2,87 jours et perd du gaz sous forme d'un « courant d'étoile » qui percute l'étoile A avant de rebondir vers l'extérieur en créant un anneau d'accrétion autour de l'étoile A.

Une troisième étoile "C" tourne autour de la paire AB. La paire AB et C auraient une distance moyenne de 2,69 UA (un demi-axe de 0,0946" à la même distance estimée de 92,8 AL). L'orbite excentrique de C ($e=0,225$) fait qu'il faut environ 681 jours (1,86 année) pour faire le tour du couple AB. Cette orbite est inclinée de $83,98^\circ$, vue depuis la Terre. L'orbite de l'étoile C change en fait le spectre du système environ tous les deux ans.

Comme le note le Professeur Jim Kaler dans ses pages sur Algol, Algol est aussi célèbre pour le "Paradoxe d'Algol". Puisque les étoiles de masse supérieure brûlent leur cœur d'hydrogène plus vite, l'étoile B a dû être plus massive que l'étoile A dans le passé tandis qu'elle est déjà devenue une étoile géante dans un passé « récent » et ce malgré le fait qu'elles ont dû naître en même temps. Tandis que B est moins massive que A, les astronomes pensent que B a perdu une bonne partie de sa masse d'origine. Les deux étoiles tournent si près l'une de l'autre (0,062 UA) que, tandis que l'étoile B gonflait pour devenir une géante, son compagnon A a pu produire des marées sur B qui ont provoqué la fuite du gaz de B vers l'étoile A.



L'étoile B a déjà perdu la plus grande partie de sa masse au profit de A

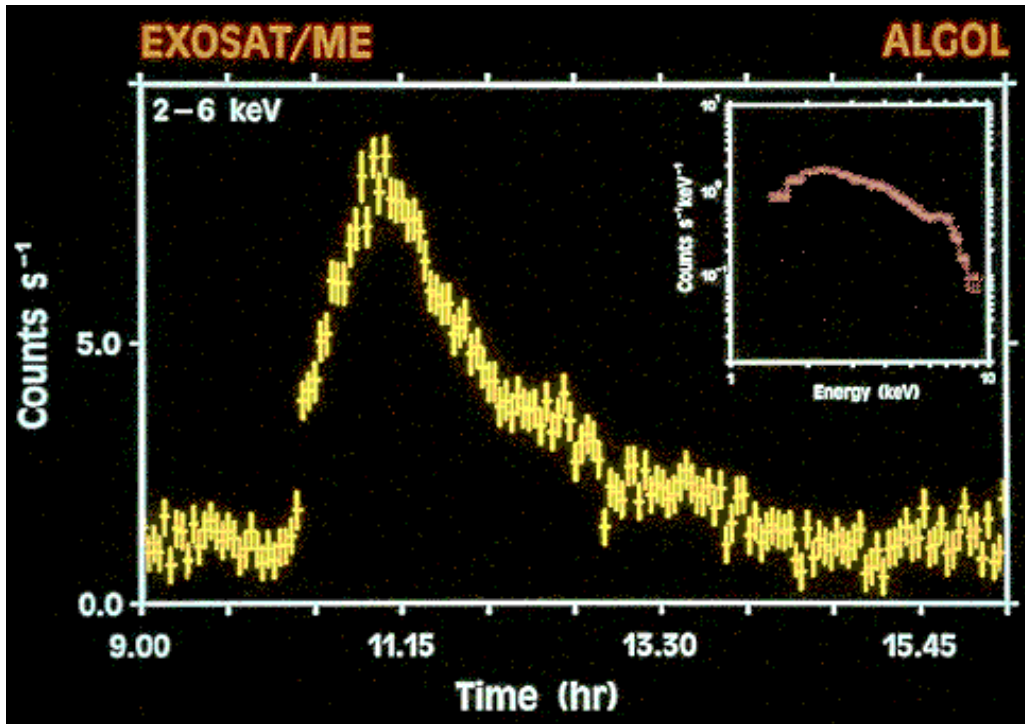
Cela arrive quand le gaz circumstellaire (associé à des émissions radio ou H-alpha) déborde au-delà de la limite de Roche (le volume où le gaz de l'étoile est gravitationnellement contenu) de l'étoile B et est ensuite attiré par des forces de marée dans un courant d'accrétion qui impacte directement l'étoile A avant de rebondir vers l'extérieur pour créer un anneau transitoire autour de l'étoile A dans une chute plus graduelle et moins violente. En perdant de la masse au profit de son compagnon plus brillant au taux de $0,4$ à $2,0 \times 10^{-11}$ masse solaire par an, l'étoile B a déjà rétréci jusqu'à être une sous-géante de $0,8$ masse solaire. Si l'étoile A elle-même gonfle jusqu'à devenir une étoile géante après que l'étoile B se sera débarrassée de son enveloppe gazeuse externe pour exposer son cœur refroidi (probablement de l'hélium) et devenir une naine blanche, alors l'étoile A va voir déborder sa limite de Roche et transférera à son tour du gaz expulsé vers son compagnon (la naine blanche B) et il en résultera probablement des explosions cataclysmiques connues sous le nom de novæ, pouvant à terme culminer en supernova de type « Ia » si la naine blanche dépasse $1,4$ masse solaire.

On a observé dans le système Algol des émissions géantes de rayons-X qui semblent être liées à l'activité de dynamo et des oscillations des champs magnétiques et des interactions avec des transferts de masse ainsi qu'une activité de freinage d'activité stellaire magnétique dans le système AB. De plus, des émissions radio qui s'étendent jusqu'à une UA et qui ne sont pas liées à une activité dans les rayons-X ont été observées. D'après les notes du « Yale Bright Star Catalogue » pour HR 936, l'activité radio semble liée avec des discontinuités périodiques qui sont attribuées à des « tremblements d'étoiles ».

Beta Persei B

Anciennement la plus massive étoile dans ce système triple et récemment devenue une étoile géante hautement évoluée (en termes astronomiques), Algol B est une étoile orange-rouge de type spectral et lumineux K0-2 IV. Elle est devenue une sous-géante moins chaude de faible masse dont les forces de marée de son compagnon A ont déformé l'enveloppe externe de gaz en une forme de larme dans la limite gravitationnelle de l'étoile B avant d'être rejetée en un courant stellaire qui tombe sur son compagnon désormais plus massif. Cette étoile doit maintenant avoir une masse de 79% de celle du Soleil et 3,54 fois

son diamètre, et environ 3,4 fois sa luminosité. Les appellations de cette étoile dans les catalogues sont : Bet Per B, 26 Per B, HR 936 B*, GJ 9110 B, Wo 9110 B, and ADS 2362 B.



EXOSAT, ESA

Cette courbe représente une éruption de trois heures dans les rayons-X a été associée à une boucle magnétique de 0,2 rayon stellaire ancrée sur l'étoile B.

Beta Persei C

Résolue par interférométrie, l'étoile "C" est une naine bleu-blanc de la séquence principale de type A5 V (1989), auparavant classée comme jaune F2 (en 1957). Elle doit avoir 1,67 fois la masse du Soleil, 1,7 fois son diamètre et 4,1 fois sa luminosité. Les appellations de cette étoile dans les catalogues sont : Bet Per C, 26 Per C, HR 936 C*, GJ 9110 C, Wo 9110 C, and ADS 2362 C.

La distance d'Algol ABC où une planète de type Terre serait installée confortablement, avec de l'eau liquide se situe à peu près à 14 UA ou plus, entre les orbites de Saturne et d'Uranus dans le système solaire. À une telle distance de son étoile, une telle planète devrait avoir une période orbitale de plus de 27 ans. Mais il serait très difficile pour les astronomes de découvrir une planète de la taille de la Terre en utilisant les méthodes actuelles de détection.



Le système Algol le 12 août 2009. C'est une image de l'interféromètre CHARA avec une résolution de 0,5 milliarcseconde dans la bande H du proche infrarouge. L'apparence allongée d'Algol Aa2 (ou B) et l'apparence ronde d'Algol Aa1 (ou A) sont réelles, mais la forme d'Algol Ab (ou C) est un artéfact.

B) ALGOL (2)

Algol (Beta Persei, ou Bêta de Persée en français, en abrégé **β Per**) est une étoile variable à éclipses de la constellation de Persée, de magnitude 2, qui varie périodiquement tous les 2 jours et 21 heures environ. Vue depuis la Terre, Algol est une binaire à éclipses, même si elle est en fait un système stellaire composé de trois étoiles : Algol A (maintenant nommée Aa1), qui est la plus massive, Algol B (ou Aa2), qui est plus lumineuse, et Algol C (ou Ab). A et B tournent autour l'une de l'autre, sans jamais s'éclipser totalement, mais entraînant une importante baisse de luminosité de la sous-géante Algol B, qui est de type B8. Elle est d'ailleurs le prototype des variables de type Algol.

Ces trois étoiles (officiellement nommées Algol Aa1, Aa2 et Ab) sont accompagnées de deux étoiles très pâles (Algol B et Algol C) à une distance d'environ d'un arc-minute. Cinq autres étoiles très petites sont également listées comme compagnons d'Algol.

Algol A et B forment un ensemble binaire à éclipses **parce que leur plan orbital contient l'axe de vue depuis la Terre**. C'est une condition essentielle et obligatoire pour voir, depuis notre planète, des systèmes binaires à éclipses.

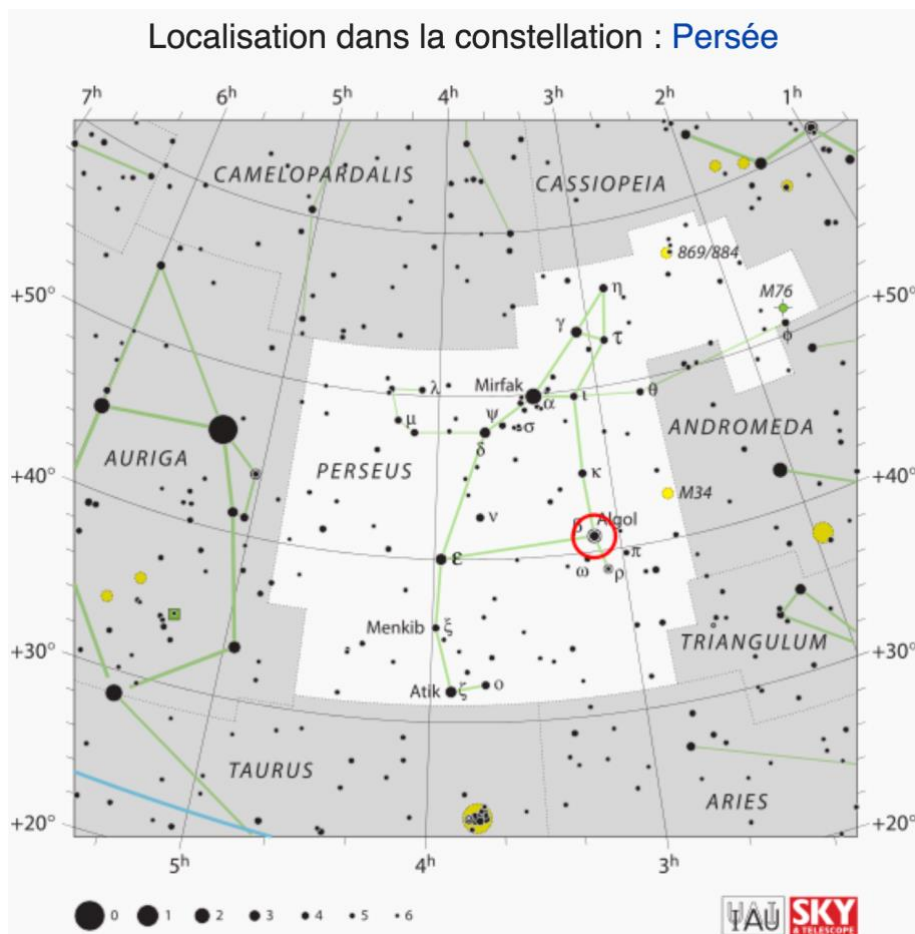
La distance qui nous sépare d'Algol est de 92,8 années-lumière. Dans la Grèce antique, cette étoile était associée au masque de Méduse.

Trajectoire particulière

Possédant un mouvement propre très petit comparé à sa vitesse radiale, Algol est passé non loin du Système solaire il y a 7,3 millions d'années. Il n'est pas exclu qu'elle ait pu perturber le nuage d'Oort en cette occasion, et provoquer un afflux de comètes vers le système solaire interne.

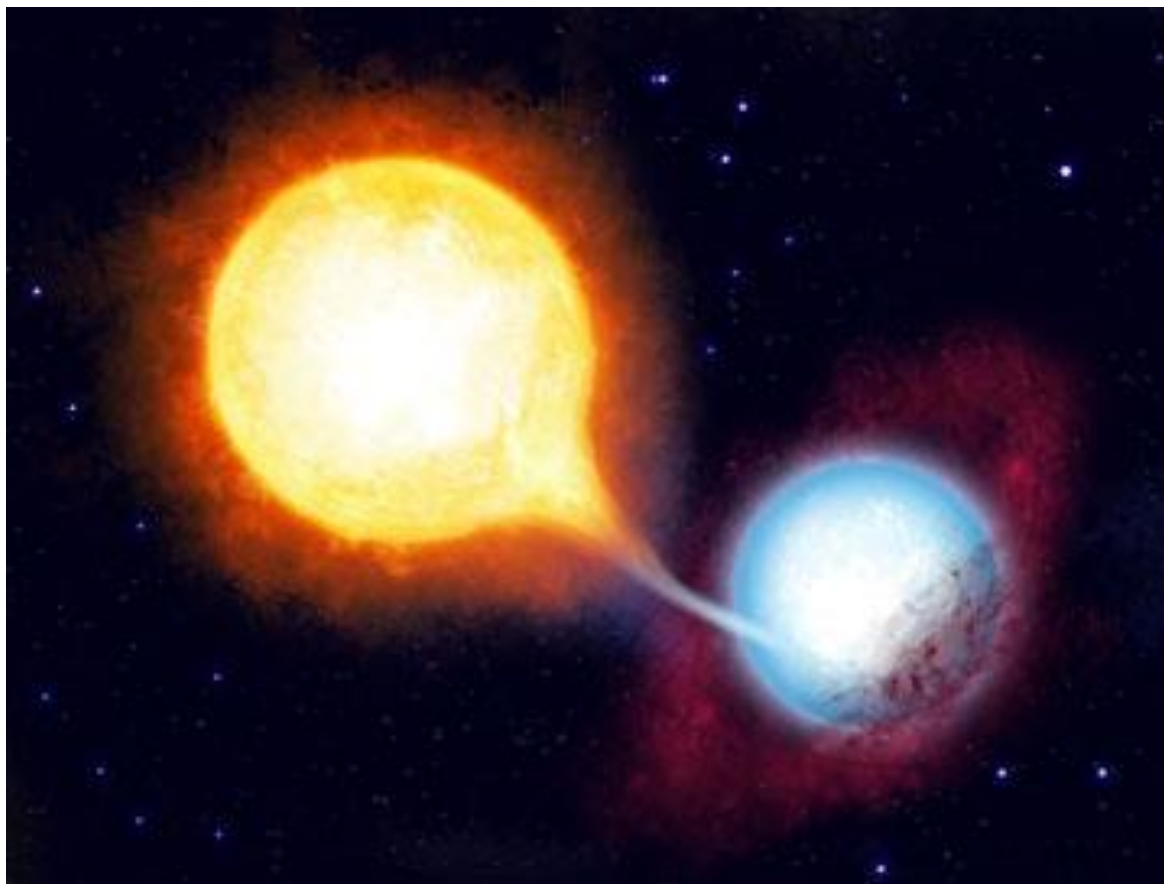
Noms

Algol est le nom propre de l'étoile qui a été approuvé par l'Union astronomique internationale le 20 juillet 2016. Étymologiquement, *Algol* dérive de l'arabe *ra's al-ghoul* رأس الغول : « la tête (*ra's*) de l'ogre (*al-ghoul*, *goule*) ». En astronomie chinoise, cette étoile fait partie de l'astérisme *Daling*, qui représente un mausolée.



C) ALGOL (3)

Algol, l'étoile qui ralentit



Représentation artistique du système binaire d'Algol, dans lequel une étoile arrache du gaz à l'autre. ©O. Hodasava.

Il y a 3.000 ans, Algol était éclipsée plus fréquemment par l'étoile qui gravite autour d'elle. C'est ce qu'ont découvert des scientifiques finlandais, de l'université d'Helsinki, en examinant des calendriers de l'ancienne Égypte. Le peuple égyptien, à l'époque des pharaons, avait déjà remarqué que l'éclat de l'astre, visible à l'œil nu, variait selon un cycle précis. Ce cycle a été reporté pendant des siècles dans des calendriers destinés aux prédictions et à la religion.

Une étoile variable antique

Algol est une étoile de la constellation de Persée distante de 93 années-lumière. Sa luminosité baisse de 1,3 magnitude pendant 10 heures tous les 2,8 jours. Cette diminution d'éclat est due au fait qu'une étoile moins brillante, satellisée autour d'elle, passe devant elle. Cette variabilité était connue des Égyptiens mais n'a été mesurée précisément pour la première fois qu'en 1783 par l'astronome amateur britannique John Goodricke.

Un infime ralentissement

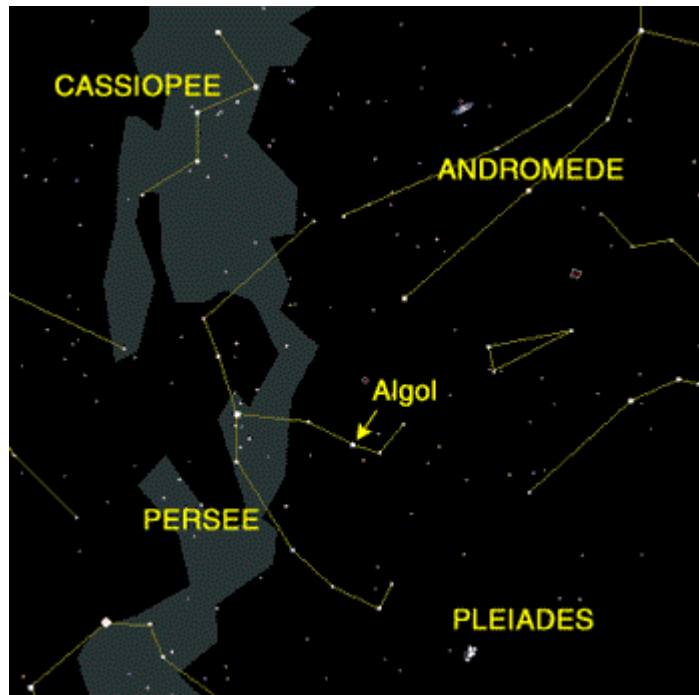
Les Égyptiens de l'Antiquité avaient toutefois noté les périodes d'éclipse d'Algol dans divers calendriers. En les recoupant sur des siècles et en les corrélant avec les mesures de Goodricke, les astronomes finlandais sont arrivés à la conclusion que la période des éclipses d'Algol avait ralenti de 0,017 jour en 3.000 ans.

Pour Lauri Jetsu, qui a dirigé l'étude (à paraître dans *Astronomy and Astrophysics*), « l'augmentation de la période au cours des trois derniers millénaires pourrait avoir été causée par le transfert de masse observé entre les deux membres de l'étoile binaire ».

Une étoile double serrée

Algol est en effet une étoile double dont les composantes sont très proches l'une de l'autre : seulement 7,5 millions de kilomètres les séparent. Cela équivaut à 5% de la distance qui sépare la Terre du Soleil.

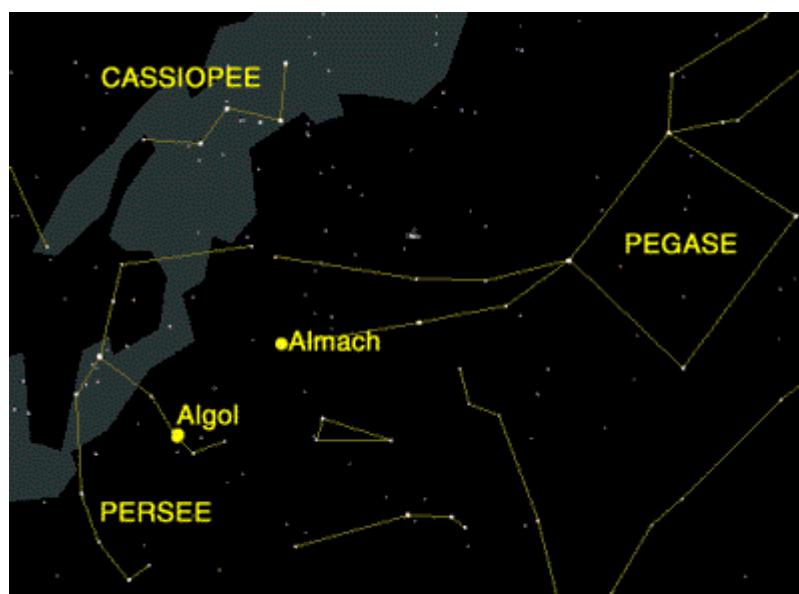
D) ALGOL (4)



Le nom Algol vient du terme arabe Ras El Ghul, la tête du démon. Pour les anciens grecs, cette étoile était l'œil de Méduse, cette terrible créature à la tête couverte de serpents dont le regard changeait en pierre les êtres vivants. Bref, œil de Méduse ou tête de démon, les étoiles variables, dans l'Antiquité, avaient mauvaise presse. Il faut comprendre les anciens astronomes : le ciel était censé être le domaine des dieux, un lieu de perfection immuable. Et voilà qu'au lieu d'être immuable, une étoile se mettait à changer de luminosité selon les jours ! Panique dans le domaine des dieux !

Dans le cas d'Algol, il ne s'agit pas d'une véritable étoile variable, mais d'une étoile double à éclipses : tous les 2 jours 20 heures 48 minutes, un petit compagnon invisible passe devant l'étoile principale dont l'éclat passe alors en 5 heures de la magnitude 2.1 à 3.4. Puis le petit compagnon poursuit sa route sur son orbite et démasque progressivement Algol qui retrouve, 5 heures après, son éclat habituel.

Pour détecter cet affaiblissement, l'étoile Almach (= Gamma d'Andromède), constitue un point de comparaison idéal puisque sa magnitude, constante, est de 2.1, exactement celle d'Algol en dehors des périodes d'éclipse.

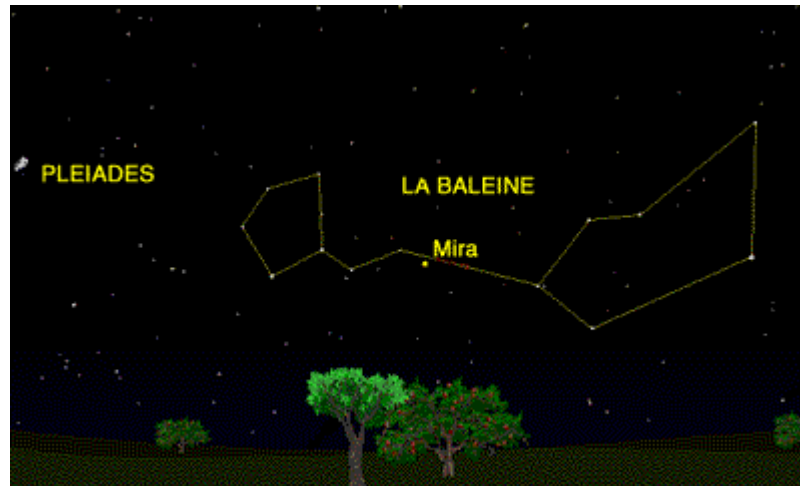


La baisse d'éclat est particulièrement marquée deux heures avant le minimum. Pour bien observer les éclipses d'Algol, le mieux est de l'observer toutes les heures le jour prévu pour le minimum.

II – Mira et les étoiles variables de type « céphéides »

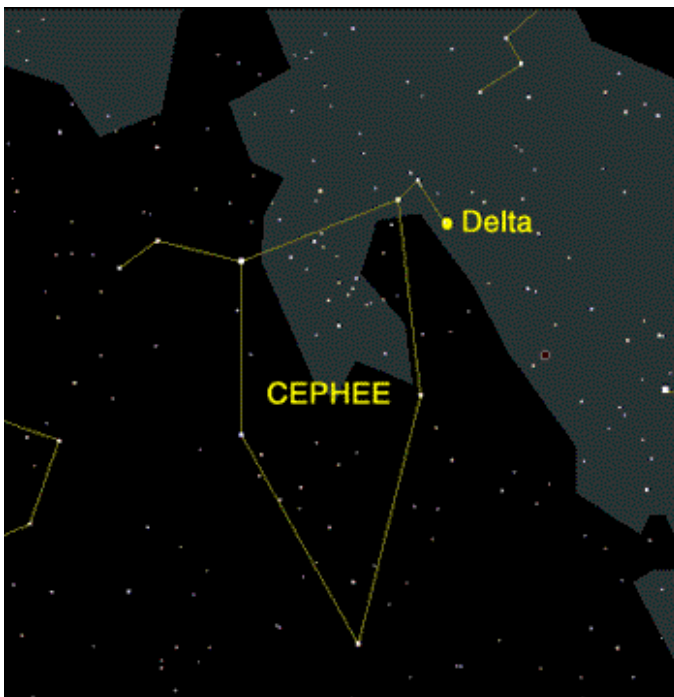
D'autres étoiles variables suivent des périodes infiniment plus longues, comme l'étoile Omicron de la constellation de la Baleine, dont la période entre deux maxima est pratiquement de 11 mois (322 jours très exactement).

Découverte seulement à la fin du XVI^{ème} siècle, les astronomes baptisèrent cette étoile du nom latin Mira, qui signifie "la merveilleuse", tant ils ont été étonnés de voir cette étoile passer de la magnitude 9, invisible à l'œil nu, à la magnitude 3.5, la rendant bien visible durant quelques semaines.



Dans le cas de Mira, les variations de luminosité de l'étoile ne sont pas dues à un obscur compagnon en orbite autour de Mira mais à l'étoile elle-même : Mira est une vieille étoile géante rouge, en fin de vie, qui a de plus en plus de mal à maintenir son équilibre, entre effondrement sur elle-même dû à la gravitation, et rayonnement lumineux vers l'espace. Mira est le type même de l'étoile variable à longue période

Et si l'attente des maxima de Mira vous semble trop long, rabattez-vous sur l'étoile Delta de la constellation de Céphée qui, avec la régularité d'un métronome, voit sa luminosité varier de la magnitude 3.5 à 4.4 en très précisément 5 jours 8 heures et 50 minutes. C'est cette étoile de la constellation de Céphée qui a donné son nom aux Céphéides.



La régularité exceptionnelle de cette étoile a permis de décrire toute une nouvelle classe d'étoiles, appelées les Céphéides, dont les astronomes se servent beaucoup pour calculer la distance qui nous sépare des amas d'étoiles et des galaxies.

Les **(étoiles) variables de type Mira** sont une classe d'étoiles variables, caractérisées par des couleurs très rouges, des périodes de pulsation supérieures à 100 jours, et des amplitudes de luminosité supérieures à une magnitude. Ce sont des étoiles géantes rouges se trouvant dans les dernières étapes de leur évolution stellaire (la branche asymptotique des géantes rouges) qui finiront par expulser leur enveloppe externe en une nébuleuse planétaire et par devenir des naines blanches en quelques millions d'années. Cette classe d'étoile est nommée en référence à l'étoile Mira (o Cet). On pense généralement que les variables Mira ont une masse inférieure à deux masses solaires, mais elles peuvent être des centaines de fois plus lumineuses que le Soleil, à cause de leur enveloppe très élargie. Ces étoiles semblent pulser en se contractant et en s'élargissant de manière cyclique, ce qui conduit à un changement à la fois du rayon et de la température, d'où leur variation de luminosité. La période de pulsation est fonction de la masse et du rayon de l'étoile. Les très larges amplitudes de variation de la magnitude visuelle ne sont pas uniquement dues aux grandes variations de luminosité, mais également à un décalage de l'énergie émise dans les longueurs d'onde infrarouge et visible lorsque les étoiles changent de température lors de leurs pulsations.

Les premiers modèles d'étoiles Mira supposaient que l'étoile restait à symétrie sphérique durant ce phénomène (principalement pour garder une modélisation simple, plutôt que pour des raisons physiques). Une récente étude d'étoiles variables Mira a trouvé que 75 % des étoiles qui pouvaient être résolues avec le télescope IOTA ne sont pas à symétrie sphérique, un résultat qui est cohérent avec les images plus anciennes d'étoiles Mira individuelles, si bien qu'il y a maintenant une urgence à faire des modélisations tridimensionnelles réalistes des étoiles Mira sur des superordinateurs. Les variables Mira peuvent être riches en oxygène ou riches en carbone. Les étoiles riches en carbone telles que R Leporis proviennent d'un ensemble étroit de conditions qui contrecarrent la tendance normale des étoiles AGB à maintenir un surplus d'oxygène par rapport au carbone à leur surface à cause des dredge-ups. Les étoiles AGB pulsantes telles que les variables Mira subissent une fusion en coquilles alternant l'hydrogène et l'hélium, ce qui produit des convections profondes périodiques appelées dredge-ups. Ces dredge-ups font monter en surface le carbone produit par la combustion de l'hélium en coquille et produiront une étoile carbonée. Cependant, dans les étoiles de masse supérieure à environ $4 M_{\odot}$, la combustion "inférieure chaude" se produit. Cela arrive quand les régions inférieures de la zone convective sont assez chaudes pour qu'une fusion significative selon le cycle CN ait lieu, ce qui détruit la majorité du carbone avant qu'il ne soit transporté à la surface. Par conséquent les étoiles AGB les plus massives ne deviennent pas riches en carbone.

Les variables Mira perdent rapidement de la masse et cette matière forme souvent des couches de poussière autour de l'étoile. Dans certains cas, les conditions sont favorables à la formation de masers naturels.

Bien que la plupart des variables Mira soient très similaires en ce qui concerne leur comportement et leur structure, il s'agit d'une classe hétérogène d'étoiles variables, à cause notamment des différences d'âge, de masse, de période de pulsation, et de composition chimique.

Une petite fraction des variables de type Mira semblent changer de période de pulsation au cours du temps, cette période augmentant ou diminuant de façon significative (jusqu'à un facteur trois) sur une durée de plusieurs décennies ou plusieurs siècles. On pense que ceci est causé par des modifications de température, une « coque » d'hydrogène proche de la surface de l'étoile pouvant devenir assez chaude et dense pour commencer des réactions de fusion nucléaire. Ceci modifie la structure de l'étoile, ce qui se manifeste par un changement de période. Ce processus est prévu par la théorie pour toutes les variables Mira, mais la durée relativement courte des pulsations thermiques (quelques milliers d'années) comparée à la durée de vie d'une étoile sur la branche asymptotique des géantes (plusieurs millions d'années) fait que l'on ne constate ce phénomène que sur quelques-unes des milliers de variables Mira connues, dont peut-être R Hydrae. La plupart des variables Mira présentent de légers changements de période cycle à cycle, probablement à cause d'un comportement non linéaire de l'enveloppe stellaire dont des écarts à la symétrie sphérique.

Ci-dessous la liste des céphéides les plus connues :

Étoile	Magnitude maximale	Magnitude minimale	Période (en jours)	Distance (en parsecs)
Mira	2.0	10.1	332	92
Chi Cygni	3.3	14.2	408	181
R Hydrae	3.5	10.9	380	124
R Carinae	3.9	10.5	307	158
R Leonis	4.4	11.3	310	71
S Carinae	4.5	9.9	149	546
R Cassiopeiae	4.7	13.5	430	126
R Horologii	4.7	14.3	405	210
R Doradus	4.8	6.6	338	55
U Orionis	4.8	13.0	377	437
RR Scorpii	5.0	12.4	281	353
R Serpentis	5.2	14.4	356	209
T Cephei	5.2	11.3	388	188
R Aquarii	5.2	12.4	387	362
R Centauri	5.3	11.8	502	385
RR Sagittarii	5.4	14	336	1330
R Trianguli	5.4	12.6	267	294
S Sculptoris	5.5	13.6	367	337
R Aquilae	5.5	12.0	271	422
R Leporis	5.5	11.7	445	413
W Hydrae	5.6	9.6	390	104
R Andromedae	5.8	15.2	409	386
S Coronae Borealis	5.8	14.1	360	541
U Cygni	5.9	12.1	463	518
X Ophiuchi	5.9	8.6	338	
RS Scorpii	6.0	13.0	319	180
RT Sagittarii	6.0	14.1	306	952
RU Sagittarii	6.0	13.8	240	
RT Cygni	6.0	13.1	190	
R Geminorum	6.0	14.0	370	
S Gruis	6.0	15.0	402	446
V Monocerotis	6.0	13.9	341	395
R Cancri	6.1	11.9	357	633
R Virginis	6.1	12.1	146	606
R Cygni	6.1	14.4	426	
R Bootis	6.2	13.1	223	
T Normae	6.2	13.6	244	277

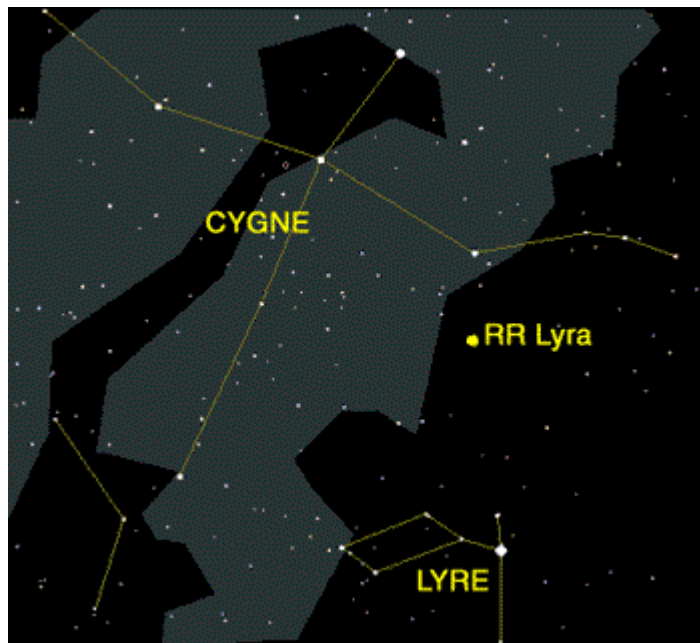
R Leonis Minoris	6.3	13.2	372	347
S Virginis	6.3	13.2	375	1110
R Reticuli	6.4	14.2	281	820
S Herculis	6.4	13.8	304	
U Herculis	6.4	13.4	404	235
R Octantis	6.4	13.2	407	602
S Pictoris	6.5	14.0	422	407
R Ursae Majoris	6.5	13.7	302	415
R Canum Venaticorum	6.5	12.9	329	962
R Normae	6.5	12.8	496	581
T Ursae Majoris	6.6	13.5	257	1250
R Aurigae	6.7	13.9	458	422
RU Herculis	6.7	14.3	481	1040
R Draconis	6.7	13.2	246	769
V Coronae Borealis	6.9	12.6	358	2700
T Cassiopeiae	6.9	13.0	445	1220
R Pegasi	6.9	13.8	378	287
V Cassiopeiae	6.9	13.4	229	467
T Pavonis	7.0	14.0	244	
RS Virginis	7.0	14.6	354	
Z Cygni	7.1	14.7	264	
S Orionis	7.2	13.1	434	1120
UV Aurigae	7.3	10.9	394	
T Draconis	7.2	13.5	422	
W Aquilae	7.3	14.3	490	
S Cephei	7.4	12.9	487	407
R Fornacis	7.5	13.0	386	690
RZ Pegasi	7.6	13.6	437	206
RT Aquilae	7.6	14.5	327	
V Cygni	7.7	13.9	421	366
RR Aquilae	7.8	14.5	395	521
S Bootis	7.8	13.8	271	680
WX Cygni	8.8	13.2	410	
W Draconis	8.9	15.4	279	
UX Cygni	9.0	17.0	569	
R Capricorni	8.5 ¹⁵	15.1	340	16
IK Tauri	10.8	16.5	470	
CIT 13	10.8	13.7	470	
TX Camelopardalis	11.6 B	17.7 B	557	

IRC +10216	11.0 R	14.8 R	630	
OH 231.8+4.2	8.31 J	9.47 J	648	
NV Aurigae	3.3 H	6.2 H	635	
AFGL 2290	7.5 H	9.3 H		
WX Piscium	0.9 K	4.3 K	660	
LP Andromedae	1.8 K	3.7 K	614	
IRC -10529	2.2 K	3.2 K	680	
He 2-104	6.3 K	7.1 K		
OH 26.5+0.6	6.9 K	10.8 K		
LL Pegasi	9.6 K	11.6 K		
OH 127.8+00	1.57 L	3.02 L		
OH 32.8-0.3	3.9 L	7.2 L		
TY Cassiopeiae	11.5 photographique	17.5 photographique	645	
WX Serpentis	12.0 photographique	16.0 photographique	425	

III – Les étoiles variables de type RR Lyræ

En astronomie, les **(étoiles) variables de type RR Lyræ** sont des étoiles variables, nommées d'après l'étoile prototype du genre, RR Lyræ, et souvent utilisées en tant que chandelles standard.

Les RR Lyræ, qui prennent modèle sur une petite étoile située à mi-chemin entre les constellations de la Lyre et du Cygne. Leur période est plus courte que celle des Céphéides. Leur particularité est d'atteindre leur maximum d'éclat très rapidement, une heure environ, ce qui les rend très spectaculaires.



Les étoiles de type RR Lyræ ont une période de variation de luminosité relativement courte, comprise entre 0,2 et 1,1 jour. Certaines peuvent ainsi être vues sur un cycle complet en une seule nuit (voir animation en lien externe ci-dessous).

Ces étoiles sont des variables pulsantes placées sur la branche horizontale du diagramme de Hertzsprung-Russell, ayant une masse d'environ la moitié de celle du Soleil — notons toutefois que ces étoiles subissent une perte de masse importante avant d'atteindre le stade RR Lyræ, et sont donc formées à partir d'étoiles ayant une masse équivalente et même supérieure à celle du Soleil. Elles varient de manière similaire aux céphéides, avec toutefois quelques différences :

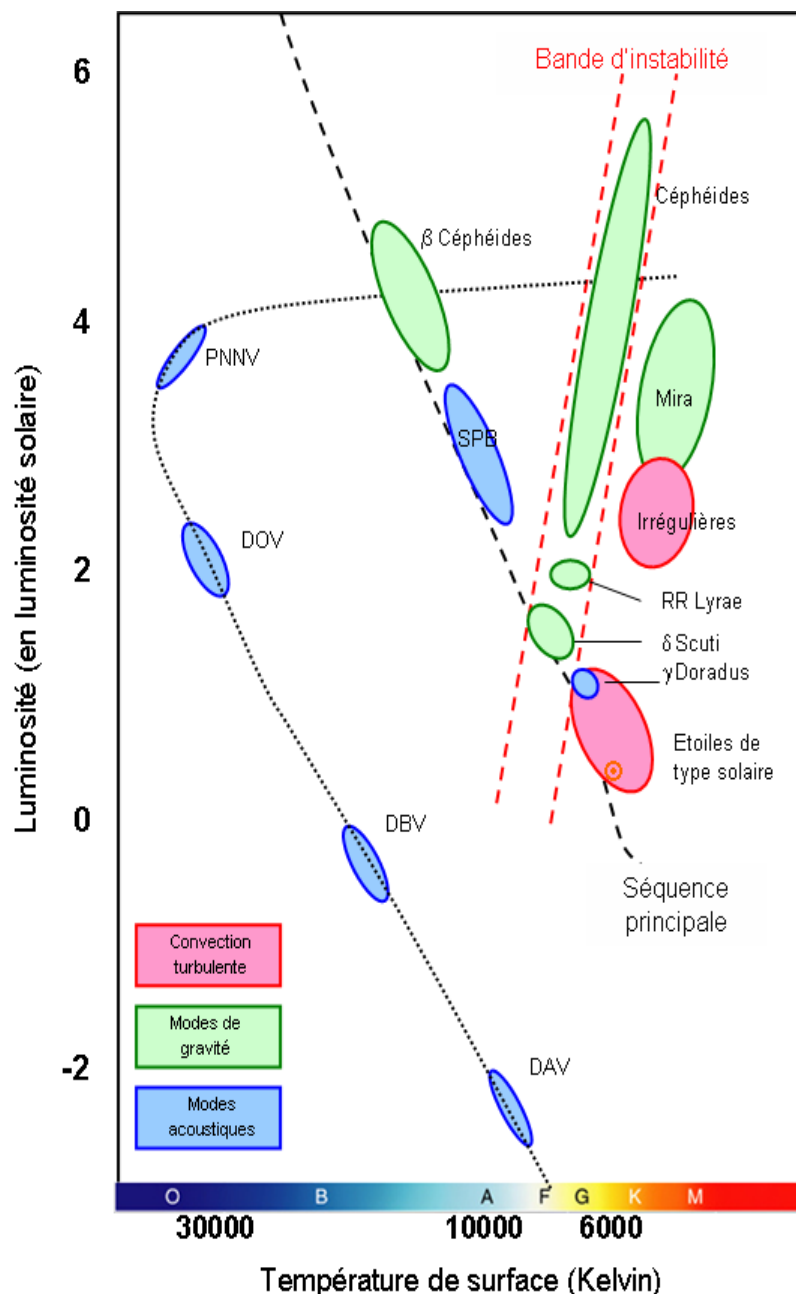
- Les RR Lyræ sont des étoiles relativement vieilles, dites de population II, de faible métallicité.
- Moins massives, elles sont donc plus nombreuses que les céphéides, mais moins lumineuses. La magnitude absolue moyenne d'une RR Lyræ typique est de +0,75 environ, soit 50 fois la luminosité solaire.
- Leur période est plus courte, en général moins d'une journée.

Les RR Lyræ sont classées en trois types principaux : RRab, RRc et RRD. Les RRc sont celles possédant les périodes les plus courtes, et les RRD possèdent deux périodes de pulsation superposées.

- Les RRab oscillent suivant leur mode fondamental de vibration ; leur courbe de lumière est asymétrique, avec une augmentation rapide de luminosité suivie d'une décroissance plus lente. L'amplitude est typiquement comprise entre 0,9 et 1,3 magnitude.
- Les RRc oscillent suivant la première harmonique de leurs modes de vibrations, mais avec une courbe de lumière bien plus régulière, en forme de sinusoïde. L'amplitude des oscillations n'excède pas 0,8 magnitude.

- Des oscillations plus irrégulières sont parfois observées, et sont en général signe du fait que plusieurs modes de vibrations (en général deux) se superposent. On parle alors de RRd, quand on observe la superposition des deux modes ci-dessus.
- Des irrégularités plus importantes, peut-être signes de la présence d'un troisième mode de vibration se trouvent également dans certaines étoiles de type RR Lyrae, comme XZ Cygni. Ces irrégularités sont connues sous le nom d'effet Blazhko, du nom de l'astronome soviétique Sergei Blazhko qui le premier le mit en évidence en 1907 avec l'étoile RW Draconis. Elles semblent liées à des effets dus au champ magnétique de l'astre.

Les étoiles de type RR Lyrae étant d'une luminosité faible comparées à d'autres populations stellaires, elles sont utilisées pour les mesures de distances dans notre Galaxie ou son environnement proche, le Groupe local. Il est par exemple plus facile d'observer des étoiles de type RR Lyrae, peu lumineuses mais plus nombreuses dans les galaxies naines du Groupe Local, dans lesquelles on peut ne trouver aucune céphéide. Historiquement, c'est grâce à des étoiles de type RR Lyrae que Walter Baade put en 1951 estimer pour la première fois la distance du Soleil au centre galactique, par l'étude de tels astres, au sein de l'amas globulaire NGC 6522 situé à proximité immédiate du centre galactique, dans une région appelée la fenêtre de Baade.

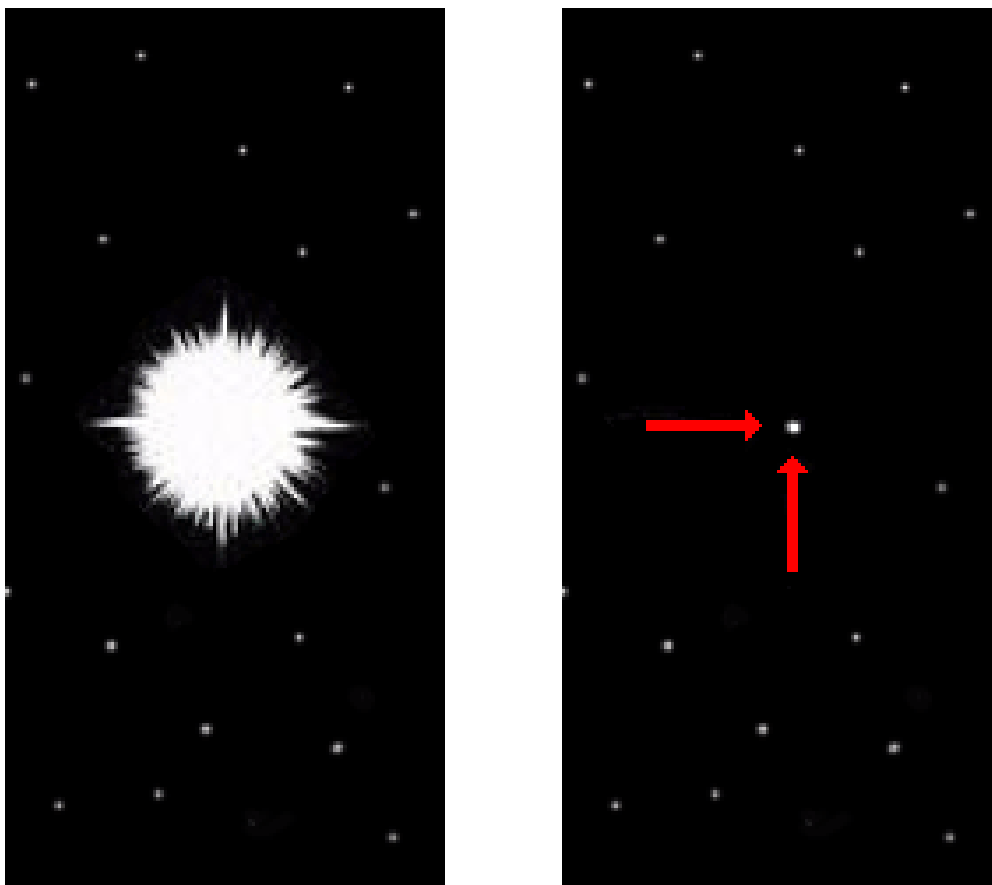


IV – Les étoiles variables de type Nova

Enfin, il existe une dernière catégorie d'étoiles variables complètement irrégulières et imprévisibles. C'est le cas des **Novæ**. Il s'agit en fait d'étoiles doubles très serrées, dans lesquelles une partie de l'atmosphère de l'une des étoiles est aspirée de temps en temps par sa compagne. Un exemple de ces étoiles se trouve dans la constellation du Cygne et est appelée SS Cygni.

L'étoile UV Ceti, dans la constellation de la Baleine, elle, est une étoile variable de type explosif, et qui connaît de temps en temps des éruptions à sa surface, comme cela se produit pour notre Soleil. La différence est que UV Ceti est une étoile naine rouge, de magnitude 13, à la limite de la visibilité même dans un télescope de 200 mm de diamètre. Alors, forcément, une éruption, ça se remarque sur une étoile aussi minable : lors de ces éruptions, UV Ceti passe à la magnitude 7. Mais il faut avoir un sacré coup de pot pour avoir l'œil collé à l'oculaire de son télescope justement le jour où se produit une de ces éruptions !

Une **nova** est une étoile qui devient très brutalement extrêmement brillante, avec une grande augmentation de son éclat, qui peut être de l'ordre de 10 magnitudes. Cette vive luminosité ne dure que quelques jours, et l'étoile reprend ensuite progressivement son éclat initial.



Nova, pendant et après l'explosion

La connaissance de ce phénomène provient principalement de l'étude spectrographique des novas. Les étoiles qui deviennent des novas, appelées *prénovas*, sont en général de type spectral A, et peu lumineuses.

La subite augmentation de la brillance est en fait due à un système stellaire binaire de forte excentricité, qui est très rapproché pendant seulement quelques heures. L'une des deux étoiles est une naine blanche et l'autre est une étoile en voie de devenir une géante rouge. En devenant une géante rouge, l'étoile remplit entièrement son lobe de Roche et c'est alors que le processus de transfert s'amorce.

La géante perd de sa masse, qui déborde du lobe, au profit de la naine blanche par l'intermédiaire du point de Lagrange. Ceci forme un disque d'accrétion autour de la naine blanche avant de tomber sur l'étoile. Les gaz ainsi capturés consistent principalement en hydrogène et en hélium, les deux principaux constituants de la matière dans l'Univers. Les gaz sont écrasés à la surface de la naine blanche par son énorme gravité, comprimés et chauffés à des températures de l'ordre de la dizaine de millions de kelvins, pendant que de la matière additionnelle continue à s'ajouter.

À un certain moment, les pression et température de la couche d'hydrogène deviennent assez grandes pour déclencher une explosion thermonucléaire qui convertit rapidement une grande quantité d'hydrogène en hélium et engendre d'autres éléments plus lourds.

La masse de réactifs nucléaires est de l'ordre de celle d'une planète : 10^{20} à 10^{21} tonnes, ce qui dégage très vite une énergie de l'ordre de 10^{38} à 10^{39} J.

L'énergie libérée par ce processus expulse les gaz de la couche de surface de la naine blanche dans l'espace et produit un éclat extrêmement lumineux mais de courte durée.

Au moment de l'explosion, le spectre se rapproche de celui des supergéantes, mais avec un déplacement de toutes les raies vers le violet, proportionnellement à leurs longueurs d'onde. L'interprétation de ce décalage est que le rayonnement lumineux est émis par un gaz en expansion qui s'échappe de la surface de l'étoile, avec des vitesses de l'ordre de 1000 km/s. Cette expansion, qui provoque un refroidissement, explique l'extinction rapide de la nova.

Le mot *nova* étant emprunté au latin, le pluriel peut être *novæ* ou *novae*, même si *novas* est également une forme correcte en français. Les astronomes qui les découvraient les considéraient comme de *nouvelles* étoiles, puisqu'elles apparaissaient là où ils ne voyaient pas d'étoile précédemment, et les ont ainsi appelées des *novas*.

Certaines novas sont récurrentes, et ont subi plusieurs explosions depuis qu'elles ont été observées, avec des intervalles de l'ordre de plusieurs décennies.