Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 22 (1940)

Artikel: Essai de détermination de la durée de l'évolution des étoiles
Autor: Rossier, Paul
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-741662

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 31.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Essai de détermination de la durée de l'évolution des étoiles

PAR

Paul ROSSIER

---

1. — Dans l'état actuel d'avancement de la science astronomique, on peut admettre que nous connaissons approximativement le rayon, la masse et la température d'étoiles appartenant aux diverses phases de l'évolution stellaire. D'une manière générale, le rayon et la masse d'une étoile diminuent lorsque l'astre passe de l'état de géant froid à son maximum de température, pour ensuite devenir un nain déclinant.

La théorie de la relativité permet d'expliquer très simplement la diminution continue de la masse des étoiles: elle est due au fait que l'étoile perd constamment de l'énergie par rayonnement, donc de la masse, en conséquence du principe de l'équivalence de la masse et de l'énergie.

2. — Nous nous proposons de soumettre le problème au calcul et de chercher des valeurs numériques. Pour cela, nous ferons les hypothèses suivantes.

Les étoiles rayonnent comme des corps noirs; la loi de Stefan leur est donc applicable et la puissance w rayonnée par l'unité d'aire est

$$w = \sigma T^4 .$$

T est la température effective et σ la constante de Stefan, égale à 5,75 ergs sec^{-1} cm^{-2} $degré^{-4}$.

Les étoiles possèdent la symétrie de la sphère, tant géométriquement que physiquement. Soit R le rayon de l'étoile. La puissance totale rayonnée par l'étoile est

$$W = 4\pi R^2 \sigma T^4 .$$

La vitesse de variation de la masse $\mathfrak{M}$ est ainsi

$$\frac{d\mathfrak{M}}{dt} = \frac{4\pi\sigma}{c^2} R^2 T^4 ,$$

où c est la célérité de la lumière.

L'intégration de l'équation différentielle précédente serait possible si nous possédions deux relations entre les trois variables $\mathfrak{M}$, R et T. Cela n'est pas le cas, aussi sommes-nous réduits à opérer par intégration numérique pour résoudre le problème. Pour cela, nous admettrons les valeurs numériques de rayons et de masses telles qu'elles figurent dans le catalogue de ces grandeurs que nous avons établi récemment [1].

3. — La discussion de cet ensemble de valeurs nous a conduit à la conclusion qu'il est probable que l'évolution des étoiles ne se fait que rarement sans cataclysme; en particulier, les étoiles n'atteignent probablement pas de températures très élevées sans subir de catastrophes: collision, explosion, état de Nova.

Nous distinguons donc deux évolutions possibles. Celle que nous appelons simple est caractérisée par les état suivants. L'étoile part de l'état de géant froid de classe spectrale M; sa température croît; elle atteint successivement les classes spectrales K, G, F et peut-être A; l'étoile se refroidit enfin, pour passer par les états successifs de nain des types F, G, K et enfin M.

Cette évolution simple est peut-être exceptionnelle. Il semble que fréquemment un cataclysme conduit l'étoile à des températures très élevées; son spectre montre des caractéristiques la

[1] P. Rossier, Magnitudes bolométriques, Diamètres, Masses et Densités d'étoiles. *Mémoires de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève* 42, 1, 1939.

rapprochant des Novae ou des étoiles de classe O. Se refroidissant, elle passe par les classes B et A pour rejoindre, comme celles à évolution simple, l'état final de nain.

4. — Dans la discussion numérique qui suit, nous admettrons les valeurs d'équivalent colorimétrique (ou de température) de rayon, de masse admises ou fournies par notre catalogue. Les unités choisies sont le rayon et la masse $\mathfrak{M}_\odot$ du Soleil. Pour faciliter le calcul, il est bon de répéter les formules précédentes dans ce système d'unités. Utilisons pour cela des valeurs plus familières aux astronomes que celles des physiciens.

La puissance rayonnée par le Soleil est

$$W_0 = 2{,}9 \times 10^{33} \text{ calories : an} = 12{,}1 \times 10^{40} \text{ ergs : an} .$$

La vitesse de variation de la masse du Soleil est donc

$$\frac{d\mathfrak{M}_\odot}{dt} = \frac{12{,}1}{3^2} \times \frac{10^{40}}{10^{20}} = 1{,}34 \times 10^{20} \text{ gr : an.} =$$

$$= \frac{1{,}34 \times 10^{20}}{1{,}94 \times 10^{33}} = 0{,}69 \times 10^{-13} \frac{\mathfrak{M}_\odot}{\text{an}} .$$

La perte de masse est proportionnelle au carré du rayon et à la quatrième puissance de la température absolue.

On a donc

$$\frac{d\mathfrak{M}}{dt} = 0{,}69 \left(\frac{R}{R_\odot}\right)^2 \left(\frac{T}{T_\odot}\right)^4 \cdot 10^{-13} \frac{\mathfrak{M}_\odot}{\text{an}} .$$

5. — Le tableau I indique les données du calcul et les résultats. b/T est l'équivalent colorimétrique de Kukarkin [1] qui est à la base de nos calculs de masses et de rayons. Pour le Soleil, nous avons admis la valeur 2,04. Comme intervalle d'intégration, nous avons choisi la demi-classe spectrale. L'unité de temps adoptée est 10^{11} ans. ΔZ est la durée de l'évolution de chacune des demi-classes, $Z_\odot$ et Z sont les temps écoulés depuis

[1] B. W. Kukarkin, Vorläufiger Katalog der mittleren Farbenäquivalente von 1207 Sternen. *Publications of the Sternberg State Astronomical Institute*, X, 2, 1937.

que l'étoile a atteint le stade d'étoile solaire ou depuis l'origine de l'évolution, fixée au type M_0. Le tableau I est basé sur les valeurs brutes des données relatives aux types spectraux. Elles fournissent les valeurs $Z'_{\odot}$ et Z'. Les valeurs $Z''_{\odot}$ et Z'' résultent de données un peu différentes, obtenues par interpolation.

6. — Si l'on répète le même calcul pour les valeurs de notre catalogue relatives aux demi-classes, une contradiction se présente: la masse croît de la demi-classe g G_{5-9} à la demi-classe g G_{0-4}. Cette difficulté disparaît si l'on suppose que l'évolution simple, sans cataclysme, se fait, à partir de la demi-classe g $G_{,5-9}$ vers les avortons de classe F, puis peut-être vers la classe A et enfin vers l'état de nain. Le tableau II donne les résultats.

Examinons encore la classe A: les masses des étoiles de la demi-classe A_{0-4} sont supérieures à celles de la demi-classe A_{5-9}. Cela est peut-être dû au fait que, dans leur évolution, les étoiles atteignent leur maximum de température vers le type A_5. C'est ce que nous avons supposé en construisant les tableaux I et II.

Les valeurs du tableau I sont nettement supérieures à celles données par le tableau II. Cela est dû en partie au fait que le second est écourté du côté des nains. D'autre part, les groupes constitués par une demi-classe spectrale sont peu homogènes.

7. — Examinons maintenant l'évolution des étoiles chaudes. Il semble que les Novae atteignent, dans le cours de leur évolution, le stade d'étoiles O, puis suivant une transformation généralement exempte de catastrophe, elles passent successivement par les états d'étoiles B et A pour rejoindre la branche des nains. Dans ce cas, le calcul donne les résultats du tableau III, relatifs tant aux valeurs données par les types spectraux que par les demi-classes spectrales. L'incertitude qui porte sur les températures des étoiles O interdit tout calcul. La température élevée des étoiles B leur impose une évolution très rapide. Il doit en être de même pour les étoiles O, très chaudes elles aussi.

TABLEAU I.

Calcul de la durée de l'évolution.

Type spectral	$\frac{b^*}{T}$	R $\odot = 1$	$\mathfrak{M}$ $\odot = 1$	$\frac{b}{T}$ moyen	R_{moyen}	$\Delta\mathfrak{M}$ $\odot = 1$	$\frac{d\mathfrak{M}}{dt}$ $\mathfrak{M}_\odot$: 10^{11} an	ΔZ 10^{11} ans	$Z'_\odot$ 10^{11} ans	Z' 10^{11} ans	$Z''_\odot$ 10^{11} ans	Z'' 10^{11} ans
g M_0	4,00	60	5,7						— 24	0	— 38	0
				3,75	56	0,3	1,91	0,16				
g K_5	3,49	52	5,4						— 24	0,2	— 38	0
				3,27	37	1,5	1,45	1,03				
g K_0	3,05	22	3,9						— 23	1,2	— 25	13
				2,89	19	0,4	0,62	0,64				
g G_5	2,73	16	3,5						— 22	2	— 25	13
				2,48	13,5	0,0	0,58	0,00				
g G_0	2,23	11	3,5						— 22	2	— 24	14
				2,00	8,9	0,0	0,59	0,00				
g F_5	1,78	6,8	3,5						— 22	2	— 24	14
				1,64	5,95	0,1	0,58	0,17				
g F_0	1,51	5,1	3,4						— 22	2	— 24	14
				1,36	3,65	0,8	0,47	1,70				
A_5	1,21	2,2	2,6						— 20	4	— 23	15
				1,36	2,10	0,8	0,16	4,93				
d F_0	1,51	2,0	1,8						— 15	9	— 18	20
				1,62	1,90	0,3	0,063	4,77				
d F_5	1,73	1,8	1,5						— 10	14	— 15	23
				1,86	1,70	0,3	0,029	10,4				
d G_0	2,00	1,6	1,2						0	24	0	38
				2,13	1,50	0,2	0,013	15,1				
d G_5	2,27	1,4	1,0						15	39	17	55
				2,40	1,35	0,2	0,0066	30,1				
d K_0	2,53	1,3	0,8						45	69	59	97
				2,75	1,20	0,1	0,0030	33,2				
d K_5	2,97	1,1	0,7						78	102	113	151
				3,22	1,05	0,1	0,0012	81,8				
d M_0	3,47	1,0	0,6						160	184	237	275

* $b = 14320°$.

Le ou les cataclysmes qui, dans l'évolution probablement la plus fréquente des étoiles, leur font quitter la série spectrale normale pour les faire passer par le stade d'étoiles O ne semble donc pas devoir allonger beaucoup leur évolution. Dans l'ensemble, il semble donc que l'on peut fixer à un nombre de l'ordre de 10^{13} ans le temps que met une étoile pour passer de l'état de géant froid à celui de nain froid, que l'évolution subie soit simple ou compliquée de catastrophes.

La coïncidence de cette durée avec la « longue période » de la Voie lactée est remarquable.

8. — L'examen de la colonne ΔZ du tableau I montre que, relativement au type spectral, l'évolution des étoiles géantes est rapide, surtout celle des étoiles de classe G. Par contre, les nains évoluent très lentement.

TABLEAU II.

Durée de l'évolution.

Classe spectrale	$Z_\odot$ 10^{11} ans	Z 10^{11} ans
g M_{0-6}	— 30	0
g K_5	— 29	1
g K_{0-4}	— 28	2
g G_{5-9}	— 27	3
F_{0-9} av	— 24	6
A_{5-9}	— 23	7
d F_{0-4}	— 17	13
d F_{5-9}	— 9	21
d G_{0-4}	0	30
d G_{5-9}	37	67
d K_{0-6}	69	99

Confrontons ce résultat avec les données de la statistique stellaire. Celle-ci fournit en général deux maxima de fréquence des étoiles en fonction du type spectral. L'un est atteint pour la classe A et l'autre pour les étoiles K.

On pourrait être tenté d'expliquer le maximum relatif à la classe K par la lenteur d'évolution des étoiles naines de cette

TABLEAU III.

Durée de l'évolution des étoiles chaudes.

Spectre	Δz 10^{11} ans	
B_4		
	0,7	
A_0		par les types spectraux
	3	
A_5		
B_{5-9}		
	1,3	
A_{0-4}		par les demi-classes spectrales
	4	
A_{5-9}		

catégorie. Il faut remarquer que les géants K sont au moins aussi nombreux que les nains connus, pour autant que l'on peut distinguer entre les deux catégories.

La fréquence relativement faible des étoiles des classes médianes F ou G peut être expliquée par la rapidité relative d'évolution de ces astres.

Quant au maximum de fréquence des étoiles de classe A, il s'explique peut-être autrement: vers elles convergent les géantes dans leur évolution simple sans catastrophe et les étoiles très chaudes, provenant de la classe B ou même, après un stade d'étoile nouvelle, les étoiles O.

Ces quelques remarques conduisent à la conclusion que l'étude statistique brute de la répartition des étoiles en fonction du type spectral est un problème plus compliqué qu'il ne pouvait paraître à première vue.

9. — Les données précédentes permettent d'examiner la variation du rayon, de la masse, de la densité ρ et de la température en fonction du temps. Pour cela, construisons le tableau IV donnant ces diverses grandeurs en fonction du temps. Nous l'avons établi en partant des valeurs Z' du tableau I.

TABLEAU IV.

Variation du rayon R, *de la masse* $\mathfrak{M}$ *et de la densité en fonction du temps.*

Temps 10^{11} ans	R $\odot = 1$	$\mathfrak{M}$ $\odot = 1$	ρ $\odot = 1$	$\frac{dR}{dt}$ $\frac{R_\odot}{10^{11}\text{ ans}}$	$\frac{d\mathfrak{M}}{dt}$ $\frac{\mathfrak{M}_\odot}{10^{11}\text{ ans}}$	$\frac{d\rho}{dt}$ $\frac{\rho_\odot}{10^{11}\text{ ans}}$
0	60	5,7	$2{,}6 \cdot 10^{-5}$			
				—38	— 1,8	$+3{,}3 \cdot 10^{-4}$
1	22	3,9	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$			
				—13	— 0,4	$+4{,}4 \cdot 10^{-3}$
2	9	3,5	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$			
				— 3,9	— 0,4	$+1{,}2 \cdot 10^{-1}$
4	2,2	2,6	$2{,}4 \cdot 10^{-1}$			
				— 0,33	— 0,2	$-2 \cdot 10^{-3}$
10	2,0	1,8	$2{,}3 \cdot 10^{-1}$			
				— 0,03	— 0,05	$+3 \cdot 10^{-3}$
20	1,7	1,3	$2{,}6 \cdot 10^{-1}$			
				— 0,015	— 0,015	$+5 \cdot 10^{-3}$
40	1,4	1,0	$3{,}6 \cdot 10^{-1}$			
				— 0,005	— 0,005	$+3 \cdot 10^{-3}$
100	1,1	0,7	$5{,}4 \cdot 10^{-1}$			
				— 0,001	— 0,001	$+0{,}6 \cdot 10^{-3}$
200	1,0	0,6	$6{,}0 \cdot 10^{-1}$			

La rapidité de variation du rayon et de la masse des géants est considérable, au commencement de l'évolution. Ils passent du stade initial d'étoiles M à leur maximum de température, soit au type A, en quelque 4×10^{11} ans.

Au contraire, la variation des nains est très lente et se ralentit constamment. La durée de la décroissance des nains est de 40 à 50 fois plus longue que celle correspondant à la vie du géant.

Pendant l'évolution à l'état de géant, le rayon tombe à environ 1/30 et la masse à la moitié des valeurs initiales. Durant la seconde période, à l'état de nain, le rayon diminue de moitié et la masse atteint le quart de sa valeur au maximum de température.

La variation de la densité est, elle aussi, extrêmement rapide pour les géants; elle croît, à partir d'une valeur initiale de

l'ordre de 10^{-5}, à 10^{-1} au maximum de température; elle présente alors un palier, puis augmente de nouveau pour tendre vers l'unité chez les nains.

En ce qui concerne la température, remarquons l'acuité considérable de son maximum, sa décroissance ralentie peu après celui-ci et, une fois le type solaire atteint, l'extrême lenteur de sa variation.

Une esquisse de la courbe représentant l'équivalent colorimétrique b/T de Kukarkin indique une allure parabolique assez bien vérifiée par le calcul. On trouve.

$$Z = 60{,}5 - 90{,}7\,\frac{b}{T} + 36{,}2\left(\frac{b}{T}\right)^2,$$

en choisissant 10^{11} années comme unité de temps.

* * *

10. — En terminant, il nous paraît essentiel d'insister sur le caractère conjectural des résultats exposés ici. Ils reposent sur plusieurs hypothèses dont le caractère simpliste est évident. En particulier, nous avons systématiquement négligé l'apport de matière et d'énergie extérieures. Or des géants d'une taille comparable à celle du système solaire doivent probablement capturer une masse appréciable de corpuscules interstellaires.

Les nombres exprimés ici ne doivent être considérés que comme des ordres de grandeur. Par contre, sans avoir peut-être l'ampleur indiquée précédemment, la rapidité d'évolution des géants comparée à la lenteur de celle des nains semble un fait qualitativement bien établi.

Par rapport au temps, notre Soleil serait relativement peu avancé dans son évolution, puisqu'il lui reste peut-être, avant d'atteindre l'état de nain de classe M un temps notablement supérieur à celui qui s'est écoulé depuis qu'il était un géant de la même classe spectrale.

11. — D'autre part, il serait intéressant de confronter les considérations précédentes et ce que nous savons de l'évolution des planètes. Il semble difficile d'admettre que celles-ci sont

nées au détriment de la matière solaire, une fois l'état de nain atteint. Il semble donc probable que l'origine du système solaire doit être recherchée à l'époque à laquelle le Soleil a dû subir probablement une catastrophe, soit peut-être lors de son maximum de température. Cela conduit à attribuer au système planétaire une durée comparable à celle du Soleil, soit de l'ordre des 10^{12} ans. Ce nombre est comparable à ceux proposés par les géophysiciens.

A cette époque, le diamètre du Soleil pouvait être de 2 à 5 fois plus considérable qu'actuellement et sa masse le triple de ce qu'elle est aujourd'hui. Cette conclusion est en contradiction avec les hypothèses cosmogoniques qui font naître les planètes à l'intérieur de la matière solaire. Mais, comme il y a tout lieu de supposer comme probable l'intervention d'une catastrophe dans l'histoire du Soleil, les considérations précédentes appartiennent peut-être davantage au domaine de la fantaisie qu'à celui de la science.

Observatoire de Genève