

COMMENT L'ON CONÇOIT ACTUELLEMENT LA FORMATION DU MONDE SOLAIRE

Par E. BELOT

VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE FRANCE

Depuis la parution de La Mécanique céleste, de Laplace, qui contenait le premier exposé vraiment raisonné de la formation du monde stellaire, les moyens d'investigation physique se sont tellement étendus qu'il a été nécessaire de développer des hypothèses encore plus complètes pour tenir compte de tous les nouveaux phénomènes que les savants ont été à même d'observer. Notre éminent collaborateur, M. Belot, a bien voulu exposer ici les théories dont il est l'auteur, et qui donnent une explication rationnelle de l'évolution du monde solaire. Grâce à ces théories, on peut, en quelque sorte, suivre pas à pas la « vie » du Soleil, depuis sa naissance, due à la rencontre de deux « nébuleuses noires », jusqu'aux temps actuels et prévoir ce que cet astre et son cortège de planètes deviendront à l'avenir.

Le Soleil est une étoile naine

LE Soleil, dont nous avons déjà étudié la constitution actuelle (1), est une étoile naine, malgré son rayon de 700.000 kilomètres ; il a une grande densité (1,41), malgré sa haute température qui, à la surface, atteint 6.000°. C'est son puissant rayonnement qui assure sur la Terre la vie des végétaux et des animaux ; le passé de la Terre, étudié par la géologie, doit d'abord nous renseigner sur les variations les plus récentes du rayonnement solaire. Or, dans l'ère carbonifère, remontant peut-être à 250 millions d'années, une végétation puissante s'étendait sur tout le globe, puisqu'on a trouvé de la houille au Spitzberg, en même temps que des récifs coralliens s'édifiaient dans les régions polaires. Il y a donc là un indice qu'à cette époque le Soleil avait une température plus élevée et, peut-être aussi, un rayon plus grand.

Par contre, à la fin du pliocène et au début du quaternaire, c'est-à-dire il n'y a peut-être pas plus de 100.000 ans, l'Europe et l'Amérique du Nord ont subi au moins trois phases glaciaires qui ont couvert de glaciers plus de la moitié de ces continents. Est-ce que le Soleil avait pu, alors, réduire à plusieurs reprises sa radiation pour la recouvrer ensuite ? Non, évidemment : le plus simple est, selon nous, de supposer que le Soleil, entraînant son cortège de planètes dans l'espace sidéral à la vitesse de 20 kilomètres-

seconde (soit, en un siècle, une distance égale à 420 fois celle du Soleil à la Terre), avait pu lui faire traverser quelques nuées cosmiques, comme on sait qu'il en existe dans l'espace, et qui, assez peu denses pour ne pas perturber les mouvements planétaires, étaient cependant suffisantes pour absorber une partie de la radiation solaire.

Le système planétaire et la préhistoire du Soleil

Voilà tout ce que la Terre peut nous apprendre de la préhistoire du Soleil ; mais le système planétaire va nous en faire connaître beaucoup plus long. Dès 1905, j'ai établi et démontré la loi des distances planétaires (1), dont le premier terme est 62,3, ce qui veut dire qu'aucune planète ne peut exister à une distance moindre que 62,3 rayons solaires, d'où l'on conclut que le Soleil primitif (protosoleil) avait un rayon 62,3 fois plus grand à l'époque où il émettait à son équateur ses anneaux planétaires qu'actuellement. Mais, pour que ceux-ci aient pu échapper facilement à l'attraction centrale, il fallait que le protosoleil fût très aplati, avec une vitesse équatoriale de 55 kilomètres-seconde, ce qui correspond à une rotation en 57 jours.

Il importe de répondre de suite à des objections qui m'ont été faites au sujet de ces résultats numériques de mes recherches, objections qui pourraient venir à l'esprit de

(1) Distance de la n^e planète : $62,3 + 1,886^n$ (en rayons solaires) ($n : 8$ pour la Terre).

(1) Voir *La Science et la Vie*, n^o 76, page 303.

nos lecteurs : existe-t-il donc des étoiles géantes, comme le protosoleil, et dont la rotation soit aussi rapide, alors que la vitesse équatoriale du Soleil n'est que de 2 kilomètres-seconde? Or, en 1923, Michelson, avec son interféromètre, a mesuré les rayons d'étoiles vraiment *supergéantes*, Bételgeuse et Antares, qui atteignent respectivement 230 et 320 fois le rayon solaire, c'est-à-dire capables de contenir, l'une l'orbite de la Terre, l'autre l'orbite de Mars. Par ailleurs, récemment, Shawn et O. Struve ont observé que la raie $\lambda = 4.481$ du magnésium ionisé, très fine dans le laboratoire, s'élargit beaucoup dans les spectres de certaines étoiles géantes, ce qui indique, d'après le principe Doppler-Fizeau, que ces étoiles ont une rotation rapide dans un plan qui contient à peu près le rayon visuel. Pour soixante étoiles géantes, la largeur de cette raie correspond, en moyenne, à une vitesse équatoriale de 60 kilomètres-seconde, valeur qui diffère peu de celle (55 kilomètres-seconde) que nous avions admise pour le protosoleil.

Peut-on douter aussi que le protosoleil ait passé par la phase de Nova (1), où il a heurté, à grande vitesse, une nébuleuse, alors que, d'après la statistique de Bayley, en 1922, on observe par an au moins dix Novæ plus brillantes que la 10^e grandeur? On le voit, les découvertes de l'astronomie moderne nous ont donné, dans le protosoleil, un repère certain pour la préhistoire du Soleil ; on peut même prévoir que le protosoleil, avant d'être géant, a été *supergéant*, avec un rayon égalant celui de l'orbite terrestre (215 rayons solaires) ou même atteignant celui d'Antares. Alors, sa densité serait réduite à près de 10^{-8} , au lieu de 10^{-5} , mais elle serait sans doute encore notablement plus forte que celle des nébuleuses.

Comment donc notre Soleil supergéant

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 125, page 367

a-t-il pu passer de la densité des nébuleuses à celle de 10^{-8} , acquérir en même temps une rotation intense, et ses radiations ionisées qui différencient les géantes des naines du type *M* à 3.000^e (1)?

Ici, nous devons distinguer entre les deux genres de nébuleuses amorphes connues, celles qui sont *noires* et dont l'opacité correspond sans doute à une forte densité relative, et celles qui, *brillantes d'une luminescence électrique*, ont des radiations d'atomes ionisés et des formes disloquées semblant l'indice

de chocs cosmiques à grande vitesse. Si, en effet, la faible densité des géantes du type *M* facilite l'expansion des électrons dans leur atmosphère, la densité encore plus faible des nébuleuses noires (10^{-10}) ne suffit pas à leur donner une luminescence électrique, et, par ailleurs, on sait que tous les chocs entre fluides ou solides dégagent de l'électricité.

Comment se sont formées les nébuleuses brillantes et les étoiles géantes

Quels sont donc les chocs qui ont pu produire à la fois les nébuleuses brillantes et les étoiles géantes

du type *M*? Notre cosmogonie dualiste, qui a déjà étudié le choc du protosoleil géant sur une nébuleuse, n'avait encore laissé inexploré que le problème du choc de deux nébuleuses noires, dont la solution va nous apprendre l'origine du Soleil, des étoiles et l'évolution qui transforme une nébuleuse noire amorphe en nébuleuse lumineuse. Imaginons deux nébuleuses noires *NN'*, animées de vitesses *V* et *V'*, telles que leur vitesse relative dépasse 1.000 kilomètres-seconde (fig. 1). On a déjà constaté des vitesses de cet ordre dans les étoiles nouvelles et les spirales. Dans ces conditions, la gravitation, force très faible dans les masses très peu denses, n'a plus à intervenir, et, sur toutes les surfaces de choc des nébuleuses, il se produira

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 125, page 367.

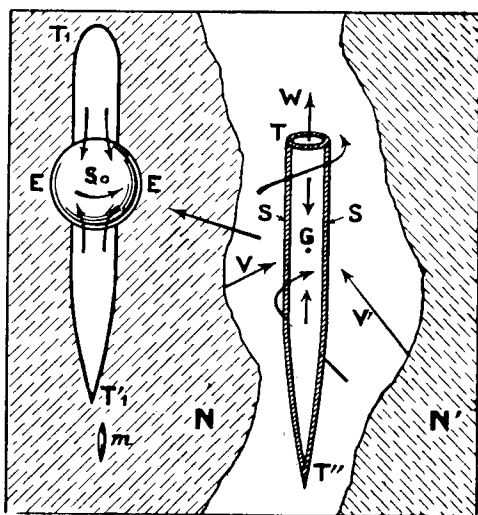


FIG. 1. — DESSIN SCHEMATIQUE MONTRANT COMMENT LE SOLEIL A PRIS NAISSANCE

Le choc de deux nébuleuses noires *NN'* produit un tourbillon analogue à une trombe, qui se condense en une étoile *supergéante* *EE* douée de rotation, de translation et de pulsation par le choc sur les pôles des parties nord et sud du tourbillon.

très rapidement une concentration purement mécanique de matière, avec production de chaleur et d'électricité.

La chaleur réduira en vapeurs les poussières contenues dans les nébuleuses : on se trouve donc dans le cas de la rencontre de deux courants gazeux, qui produit toujours des *tourbillons*. Voilà enfin l'explication de la rotation des étoiles, dont aucune théorie météoritique des origines stellaires n'a pu, jusqu'ici, rendre compte.

Mais un tourbillon *TT'*, objet linéaire de matière, est instable au point de vue de la gravitation, ce qui l'obligera à se condenser, vers son centre de gravité *G*, en une étoile supergéante *E* (fig. 1). Le tourbillon *T* aura, en général, une translation *W* dans le sens de son axe ; mais, tout en se condensant dans le sens de la hauteur pour former l'étoile *E*, il sera poussé en *T''T''*, à travers les nébuleuses, par celle qui aura la plus grande vitesse alliée à la plus grande densité.

Ainsi le proto-soleil doit sa vitesse de translation de 20 kilomètres-seconde à celles des nébuleuses noires originelles : il suffit, d'ailleurs, de constater que toutes les étoiles de notre univers sont, comme le Soleil, concentrées dans les deux grands courants de Kapteyn et plusieurs courants secondaires, pour justifier l'hypothèse faite des vitesses de translation *V* et *V'* des nébuleuses *N* et *N'*.

Cherchons à préciser l'histoire du tourbillon solaire en voie de condensation. Dans tout tourbillon, les matières denses sont à la surface *SS*, et les matières légères, le long de l'axe. Cette constitution devra se retrouver dans le Soleil condensé ; et, en effet, les protubérances métalliques ne se produisent que dans la région des taches, c'est-à-dire jusqu'à

la latitude maxima de + 35° ; au delà, ce sont presque exclusivement des gaz légers, hydrogène et hélium, qui constituent les protubérances. Dans un milieu résistant, les matières denses conservent mieux leur énergie de rotation que les matières légères. Dans la condensation tourbillonnaire de l'étoile *E*, qui produira le Soleil, les parties extérieures les plus proches de l'équateur auront une vitesse de rotation plus rapide que celles des régions polaires. Ainsi la rotation de l'équateur se fait en vingt-cinq jours et celle des pôles,

en trente jours. La translation *W* du tourbillon en aplatisse l'extrémité

T et en fermera en pointe l'extrémité *T'*, qui, suivant les circonstances du frottement dans la nébuleuse, a pu abandonner dans son sillage les masses *m*, comme les tourbillons planétaires des planètes principales ont laissé dans leur sillage les petites planètes. Enfin, on peut trouver dans la condensation rapide des parties nord et sud du tourbillon,

sur les pôles de l'étoile supergéante *EE*, l'origine de son renflement périodique à l'équateur qu'on appelle *pulsation* et dont la période undécennale du Soleil est le résidu très amorti.

De la nébuleuse à l'étoile protosolaire

Combien a-t-il fallu de temps au tourbillon *TT'* pour se condenser en étoile protosolaire ? D'après l'épaisseur que nous avons trouvée pour la nébuleuse rencontrée par le proto-soleil (200 fois la distance du Soleil à la Terre), en admettant cette longueur pour celle du tourbillon stellaire du Soleil supergéant avec une masse égale à celle du Soleil, la condensation en sphère n'aurait pas exigé 200 ans. Même avec une masse

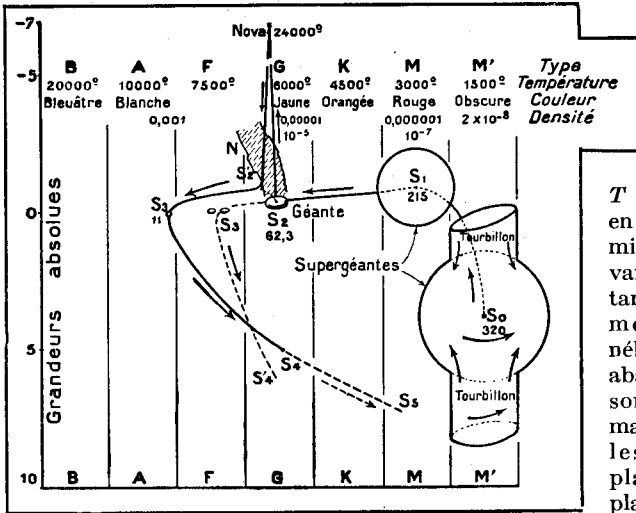


FIG. 2. — SCHEMA DE LA PRÉHISTOIRE DU SOLEIL MONTRANT SA LIGNE DE VIE $S_0 S_1 S_2 S_2' S_3 S_4$

On voit, sur ce schéma, avec leurs dimensions relatives, les rayons successifs de notre étoile, égaux respectivement à 320, 215, 62,3 et 1 rayons solaires, et leurs températures correspondantes à la surface. — En S_2 , le proto-soleil rencontrant la nébuleuse *N* a émis ses anneaux planétaires. — $S_4 S_5$ est la ligne de vie future du Soleil.

supérieure et une longueur plus grande, on voit que la condensation d'un tourbillon en étoile ne sera qu'une phase très courte dans sa vie, comme la phase embryonnaire est de peu de durée dans la vie de tous les êtres.

Puisque c'est par condensation du tourbillon qu'il a produit notre étoile supergéante de densité 2×10^{-8} , il fallait que sa densité ne dépassât pas 10^{-9} , ce qui conduit, pour les nébuleuses noires génératrices, à une densité un peu inférieure à 10^{-10} : ces nébuleuses vont être maintenant traversées par l'étoile formée, ainsi que le montre la figure 1. Dès que sa température atteindra à sa surface 3.000° (type *M*), étant donné son grand rayon, 215 fois plus grand que celui du Soleil, son rayonnement et sa force répulsive de radiation vaudront 2.600 fois ceux de notre Soleil. Alors, dans sa randonnée à travers les nébuleuses, le protosoleil ne captera que les éléments denses n'ayant

rien à craindre de sa pression de radiation et repoussant loin de son sillage les gaz et éléments légers, de sorte que les *nébuleuses noires*, après avoir subi, par le passage de nombreuses étoiles, cet appauvrissement en éléments lourds, seront transformées en *nébuleuses gazeuses* (*H*, *He*, *OO*⁺⁺, *Az*⁺⁺) de très faible densité (10^{-15}) et brillant d'une luminescence électrique due aux chocs stellaires subis. Voilà l'évolution qui transforme les *nébuleuses noires et denses* en *nébuleuses brillantes et peu denses*, évolution qui est la contre-partie de la génération des étoiles.

Nous connaissons maintenant toutes les

phases principales de la préhistoire du Soleil : il suffit de les joindre par une « ligne de vie » *S₀ S₁ S₂ S₃ S₄* (fig. 2), qui suivra le diagramme de Russel, où les grandeurs absolues (1) sont en ordonnées, et les types *B A F G K M* d'étoiles et leurs températures figurent en abscisses.

Il est logique d'admettre le type *M'* (au-dessous du type *M*) pour le protosoleil primitif obscur, au-dessous de la température de 2.000° , parce qu'il n'était pas encore condensé. Sa grandeur absolue monte rapidement quand sa condensation le fait passer de 320 à 215 rayons solaires (rayon de l'orbite terrestre) au stade *S₁*. De *S₁* à *S₃*, la condensation réduit son diamètre, mais augmente sa température, en sorte que l'éclat global diminue peu. Mais, en *S₂*, la rencontre d'une nébuleuse noire *N* produit le phénomène formidable de la Nova protosolaire, qui donne naissance au

système planétaire. A ce moment, la condensation, en accélérant la rotation du protosoleil, l'a fortement aplati, et sa force centrifuge à l'équateur a été maximum, car elle était très faible en *S₁* et *S₀* et elle est, pour le Soleil actuel (*S₄*), seulement 1 : 12 de ce qu'elle était en *S₂*. On comprend bien ainsi comment les anneaux planétaires ont pu facilement échapper à l'attraction à l'équateur du protosoleil.

(1) On appelle *grandeur absolue* d'une étoile son éclat global apparent si elle était placée à la distance de 32,6 années de lumière ou 10 parsecs, c'est-à-dire 10 fois la distance où sa parallaxe serait de 1 seconde d'arc.

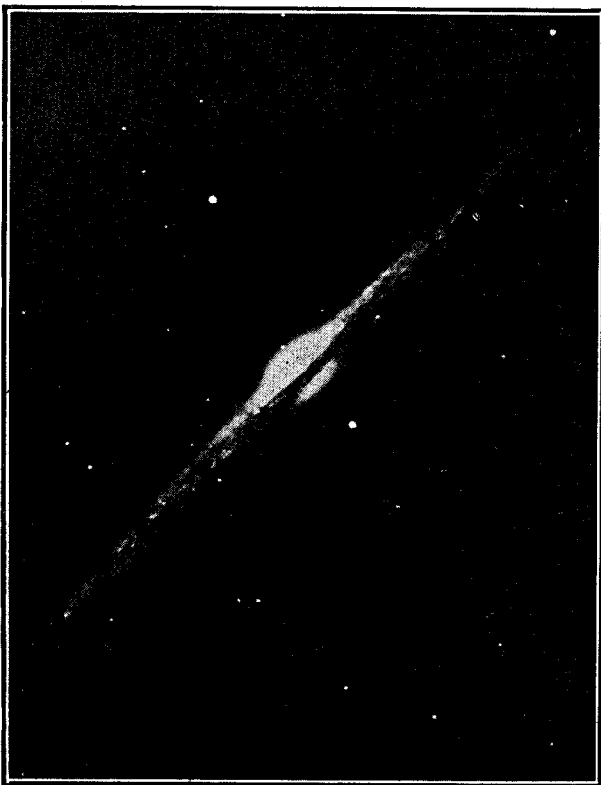


FIG. 3. — MAGNIFIQUE NÉBULEUSE SPIRALE DANS LA CONSTELLATION DE LA CHEVELURE DE BÉRÉNICE

Subitement, la température de la surface du protosoleil monte de 6.000° à 24.000° (Nova protosolaire) par choc sur la nébuleuse, mais elle descend rapidement en S_2 vers 6.000° par le rayonnement vers l'extérieur et vers le centre de l'astre géant. Pour cette raison, le protosoleil ne peut passer par les types *A* et *B*, bien qu'il ait atteint temporairement la température de 24.000° .

Mais en S_2 , le protosoleil va suivre une *ligne de vie* supérieure à celle qu'il a suivie jusque là, parce qu'il a acquis une certaine quantité de chaleur due au choc et un peu de masse (environ 1 : 11 de la masse solaire) en traversant la nébuleuse. Le freinage de la rotation, dû au frottement de la nébuleuse, va progressivement diminuer l'aplatissement du protosoleil. Toutefois ce phénomène n'empêchera pas sa condensation qui devient de plus en plus lente en S_3 , où il a pu, pendant une courte période de sa vie, at-

teindre la température de 9.000 degrés. De S_3 jusqu'en S_4 (Soleil actuel), la condensation ne peut plus produire autant de calories que le Soleil en perd par le rayonnement : sa « grandeur absolue » diminue donc beaucoup, mais très lentement, en sorte que la durée du parcours $S_2 S_3 S_4$ peut être évaluée à 3 milliards d'années, soit 9 fois la durée du protosoleil géant de S_0 à S_2 ; d'ailleurs, de S_3 à S_4 , il est possible, suivant les théories modernes, où l'énergie de radiation correspond à une masse, que le Soleil ait perdu un peu de sa masse par son rayonnement. L'avenir du Soleil est marqué par la ligne

$S_4 S_5$, qui nous fait prévoir une diminution telle de son rayonnement que la vie aura certainement cessé sur la Terre quand le Soleil sera descendu au type *M* nain à 3.000° . Supposons enfin qu'en S_2 le protosoleil n'ait pas rencontré de nébuleuse dont le choc lui a procuré sa famille planétaire. Il aurait continué sa ligne de vie en $S_2 S_2'$, accroissant sa vitesse de rotation au point que son ellip-

soïde, très aplati, se serait coupé en deux dans une forme en *haltère*, pré-ludant à une division en deux étoiles moitié plus petites qui expliquent, suivant Jeans, la formation des étoiles doubles spectroscopiques, si fréquentes dans le ciel. Ces étoiles doubles, de peu de masse chacune, se refroidiraient vite, descendant rapidement de S_2' en S_4' .

Cette évolution, heureusement, n'a pas été celle de notre Soleil : elle fait comprendre cependant qu'il y ait beaucoup de soleils qui restent célibat-

naires et sans famille planétaire. Pour que des enfants planétaires naissent autour d'un soleil, il faut, comme la préhistoire du nôtre l'a montré, et comme nous venons de l'exposer, trois conditions : que le protosoleil atteigne, par sa condensation, un âge adulte où, en S_2 , sa force centrifuge soit maximum à l'équateur ; qu'à cet âge il y ait mariage avec une nébuleuse *N* et qu'enfin leur rencontre ait lieu avec assez d'énergie pour que la pulsation du protosoleil lui fasse émettre des anneaux planétaires par le frottement périodique de son équateur.

E. BELOT.



FIG. 4. — PHOTOGRAPHIE MONTRANT L'ASPECT D'UNE NÉBULEUSE OBSCURE DANS LA CONSTELLATION D'ORION