

milieu de l'anneau, des condensations partielles se sont effectuées; d'énormes amas ont formé des Soleils, et le nôtre est du nombre.

Pouvons-nous dire quelque chose de vraisemblable sur la nature des mouvements dont ces astres intérieurs sont animés?

La meilleure solution du problème consiste à admettre qu'en ces régions centrales, les deux mouvements direct et rétrograde ont dû prédominer au commencement, mais bien vite l'attraction de l'anneau extérieur s'est fait sentir; chaque Soleil s'est donc vu dans l'obligation de fuir le centre et de se diriger vers la périphérie. Ainsi ont pris naissance ces processions de Soleils que nous observons couramment dans le ciel. Par des tracés obliques, les chefs de file mènent ces longues théories vers l'anneau de la Voie lactée, dont l'attraction s'exerce à des milliards de kilomètres. La trajectoire de notre Soleil est donc la résultante des attractions de ses voisins, combinée avec celle de l'anneau extérieur. Notre marche ne serait donc pas une ligne droite, mais une sorte de spirale dont le rayon de courbure est si peu prononcé, que nos observations sont impuissantes à le déceler en un petit nombre d'années.

Tout l'ensemble formerait donc une vaste nébuleuse spirale, mais bien différente de celles que nous connaissons, puisque les mouvements s'y effectueraient à rebours, c'est-à-dire du centre à la circonférence.

Quand arriverons-nous au but? Personne ne peut le conjecturer d'une façon vraisemblable. Arrivé au terme du voyage, notre Soleil sera obscurci depuis longtemps; la vie aura abandonné les planètes qu'il traîne à sa suite, et la Voie lactée comptera un système de plus dans les millions d'astres morts tournant sans discontinuer dans l'immense domaine de l'anneau galactique.



CHAPITRE IV

L'AVENIR DU SOLEIL

Le Soleil est la source de la chaleur et de la lumière qui vivifient notre globe; il est le principe de tous les mouvements qui se produisent autour de nous et en nous; c'est le réservoir où nous puisons toutes les forces que l'homme a pu assouplir, diriger et mettre à son service. Or, quelle est l'origine de sa puissance calorifique? Où prend-il encore cette chaleur qu'il distribue à profusion sans se refroidir? Quelle est la raison de la merveilleuse constance de sa radiation? Mais surtout, et c'est là un point capital pour l'humanité, combien cette source vivifiante et unique durera-t-elle de temps encore et entretiendra-t-elle sur la Terre la vie sous ses manifestations variées?

A la grande distance qui nous sépare de l'astre central, 149 000 000 de kilomètres en chiffres ronds, la radiation moyenne est d'environ deux calories par centimètre carré et par minute. L'émission totale du Soleil est donc d'environ

$$2 \times 4 \times \frac{22}{7} \times (14\,900\,000\,000\,000)$$

2 calories par minute!

Les feux ordinaires du charbon sont dus à la combinaison de carbone avec l'oxygène. Or, sauf dans les taches, il ne se produit pas de combinaisons dans le Soleil. La température est si élevée que la plupart des composés sont aussitôt dissociés en leurs divers éléments. Cependant, le Soleil émet une telle radiation, que si rien ne venait lui restituer la chaleur envoyée dans l'espace, il ne tarderait pas à se refroidir. Même depuis les temps historiques, nous devrions constater une diminution marquée de la température superficielle de la Terre.

Or, la Géologie nous apprend que, pendant plus de 50 milliards d'années,

la température de notre globe n'a pas dû varier de plus de quelques dizaines de degrés. Sans doute, aux temps primaires, il régnait sur toute la Terre, depuis les Pôles jusqu'à l'Équateur, une température élevée et uniforme permettant aux organismes coralliaires, par exemple, de se développer jusque dans les mers polaires. Mais leur existence simultanée près de l'Équateur est la preuve que ces régions jouissaient d'une température analogue à celle qu'on y trouve actuellement. Par conséquent, le climat torride des zones polaires était dû non pas au Soleil, mais à quelque autre cause, peut-être à la chaleur interne du globe traversant la croûte encore très mince sur laquelle la vie commençait à se manifester.

Il y a donc lieu de se demander comment le Soleil a pu pendant si longtemps fournir une température aussi constante. Tel fut le problème que les savants d'autrefois regardèrent comme insoluble.

Mayer fut le premier qui, en 1848, donna de la chaleur solaire une origine rationnelle. « L'espace interplanétaire, disait-il, est sillonné dans tous les sens, non seulement par des comètes, mais par des corps analogues aux aéroolithes, soumis à l'attraction du Soleil, qui se précipiteraient sur lui s'ils n'étaient déviés en chemin par quelque action perturbatrice. Mais, de même qu'un pendule écarté de sa position d'équilibre n'y revient pas tout d'un coup, et n'y arrive qu'au bout d'un certain temps, quand sa vitesse est diminuée par les frottements, de même la chute directe sur le Soleil est un cas exceptionnel. Les astéroïdes décrivent donc généralement des orbites fermées autour du foyer d'attraction; puis, la résistance du milieu répandu autour de ce foyer, ralentissant leur vitesse, resserre leurs oscillations et finit par les amener, encore animés d'une vitesse formidable, sur la masse centrale, où leur force vive s'anéantit brusquement et se transformera en chaleur. »

Ainsi la chaleur solaire ne serait qu'un effet de gravitation; on est donc conduit à admettre que le Soleil s'est formé, à l'origine des temps, par la chute successive de matériaux disséminés dans un espace immense, vers un centre quelconque d'attraction, d'abord très faible, puis croissant peu à peu jusqu'à ce que son état actuel d'incandescence ait été atteint.

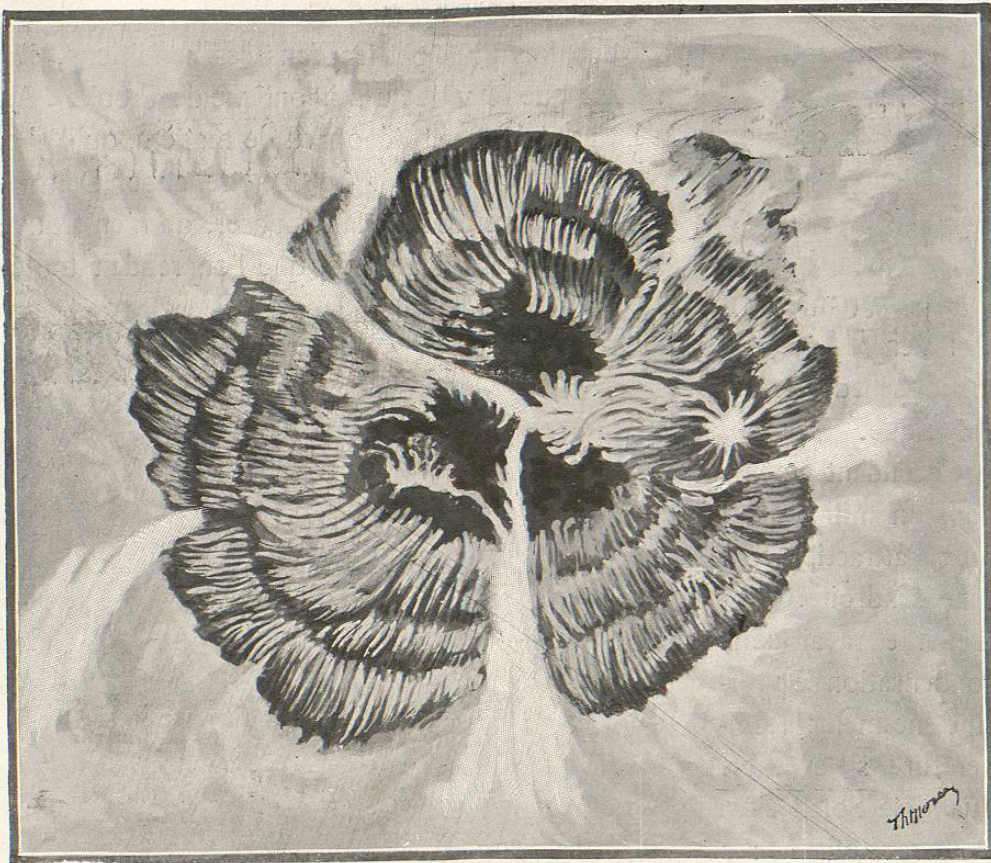
Le Système solaire s'étend aujourd'hui jusqu'à Neptune, 30 fois plus loin que la Terre, à une distance du centre du Soleil égale à 215×30 ou 6 450 rayons de cet astre. Pour fixer les idées, supposons que la masse du Soleil ait été dissiminée, à l'origine, dans une sphère de rayon décuple. Sa densité, aujourd'hui de 1,4, en prenant celle de l'eau pour unité, deviendrait

64 500³ ou 428 000 000 000 000 fois plus petite; dans ces conditions, elle serait 148 000 fois moins dense que le vide au millionième de Crookes. Au fait, ce vide de Crookes n'est pas tellement dépourvu de matière, qu'il n'en contienne encore 1 293 000 kilogrammes par myriamètre cube. Dans la nébuleuse primitive, telle que nous venons de la supposer, on n'en trouve plus, pour un même volume, que 5 217 grammes, que l'on rendait toute-fois parfaitement visibles en y lançant un jet puissant de lumière électrique.

Cependant, même dans un milieu aussi rare, l'attraction conserve ses droits. Grâce à elle, le travail de la condensation se poursuit lentement; la température s'élève, et, quand le Soleil s'est trouvé réduit à ses dimensions actuelles, un calcul fort simple de thermodynamique montre que le total de la chaleur développée a été de 25 000 000 de fois la dépense annuelle du Soleil d'aujourd'hui. Autrement dit, par le seul fait de sa condensation progressive, la masse solaire a dû gagner assez de chaleur pour alimenter sa radiation actuelle pendant 25 millions d'années.



GRANDE TACHE SOLAIRE DE 16 000 KILOMÈTRES
(Dessin de l'abbé Th. MOREUX.)



TYPE DE TACHE SOLAIRE EN VOIE DE DÉCROISSANCE
(Dessin de l'abbé TH. MOREUX.)

Cette théorie, due à Helmholtz, est universellement admise aujourd'hui. D'après elle, une contraction de 76 mètres par an dans le diamètre du Soleil suffirait à soutenir la radiation solaire actuelle. Dans ces conditions, il faudrait environ dix mille ans pour réduire le diamètre apparent du Soleil d'une seconde d'arc, de sorte que, en ce qui concerne du moins l'observation télescopique, la théorie de la contraction est parfaitement admissible, puisqu'un changement de 1/10 de seconde dans le diamètre solaire ne pourrait être reconnu.

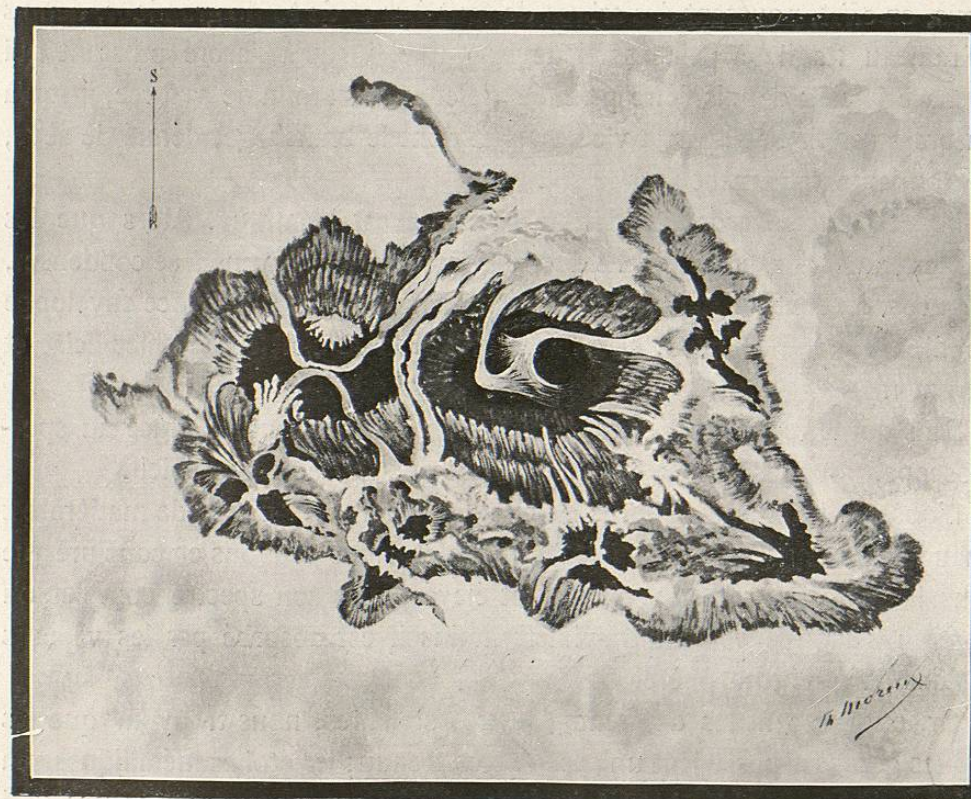
D'après les calculs de Newcomb, le Soleil, pour maintenir sa radiation actuelle pendant encore 7 000 000 d'années, devrait se contracter à la moitié de sa grandeur présente. Comme cette contraction ne peut se poursuivre indéfiniment, et que, pour cette raison, la provision de chaleur solaire n'est pas infiniment grande, nous devons à ce point de vue regarder la durée de la vie dépendant des rayons du Soleil comme ayant eu un commencement

dans un passé plus ou moins éloigné. Pour la même raison, il est certain qu'elle tend vers une fin dans un avenir relativement proche.

Cette action, d'ailleurs, est relativement lente, et depuis les temps historiques, nos observations n'ont pu déceler quoi que ce soit en faveur de la théorie.

« Depuis l'invention du thermomètre, on a recueilli, dit M. Faye, de longues séries d'observations sur une infinité de points du globe. Résultat général : depuis cent ans, les climats n'ont pas varié, et, comme la température superficielle de notre globe dépend presque exclusivement de la radiation solaire, depuis cent ans celle-ci est restée la même.

» Les végétaux sont des témoins tout aussi délicats, tout aussi irrécusables de la température, et leurs indications remontent bien plus haut que celles du thermomètre. Il y a des limites que chaque espèce ne franchit pas. Ainsi la culture de l'olivier, comme arbre de rapport, est restée confinée aujourd'hui en France entre les mêmes limites qu'au temps où Jules César guer-



LA GRANDE TACHE SOLAIRE DU 2 FÉVRIER 1905. 180 200 KILOMÈTRES DE DIAMÈTRE
Cette tache, la plus grande que l'homme ait contemplée depuis l'invention des lunettes, a été découverte par l'abbé MOREUX à son observatoire de Bourges.

royait dans les Gaules. En Égypte, en Palestine, la culture du dattier donne des fruits mangeables; mais un degré de moins dans la température de l'été ferait rejeter ces fruits. La vigne y donne encore du vin, mais un degré de plus ferait abandonner cette culture. Eh bien! les choses en étaient au même point du temps des Pharaons. Conclusion : aussi loin que remontent les témoignages historiques, la chaleur du soleil n'a pas varié. »

Il ne faudrait pas en conclure, néanmoins, qu'il en a toujours été ainsi. Bien que nous ne puissions constater les effets actuels du refroidissement de la masse solaire, l'extinction du Soleil est aussi certaine que la mort des organismes vivants.

Comment nous le savons? En examinant ce qui se passe dans le ciel; mais ici une comparaison s'impose pour mieux faire comprendre notre pensée.

Promenez-vous dans une forêt; sans pouvoir assister au processus de la vie ni à son éclosion, vous aurez très nettement la conception du développement organique depuis la naissance de la plante jusqu'à sa mort. Devant vous, en effet, poussent des arbres de tout âge et de toute grandeur, depuis le rameau fragile à peine sorti de la graine, jusqu'à l'arbre puissant qui menace le ciel; depuis l'être plein de vie et au maximum de sa force, jusqu'à l'arbre à moitié brisé par la vieillesse, et dont le branchage, dénué de sève, tombe lamentablement vers le sol.

Maintenant, regardez le ciel; le spectacle est identique. Alors que les étoiles jaune d'or, nous l'avons déjà vu, commencent à peine à se condenser, d'autres, au contraire, attendent le jour fatal où, sous une mince enveloppe solidifiée de toutes parts, elles lanceront dans le ciel leur dernier éclat et seront rayées des catalogues stellaires.

Sans doute, ces corps célestes sont loin de nous; mais, grâce au spectroscope, nous les connaissons aussi bien que notre propre Soleil.

L'observation nous a appris, en effet, que plus une masse de matière est chaude, plus son spectre envahit l'ultra-violet. Nous pouvons en conclure que plus la température d'une étoile est élevée, plus son spectre complet ou continu s'allonge vers l'ultra-violet, moins il est absorbé par les vapeurs froides de son atmosphère.

Or, en groupant les différents spectres stellaires, nous trouvons que les étoiles gazeuses possèdent un spectre très étendu; les étoiles métalliques, un spectre moins considérable, et les étoiles à carbone un spectre plus raccourci encore.

En associant les deux séries de phénomènes, on se trouve donc amené

à cette conclusion, que les étoiles gazeuses ont la température la plus élevée, les étoiles à carbone étant les plus froides, tandis que les étoiles métalliques occupent une position intermédiaire.

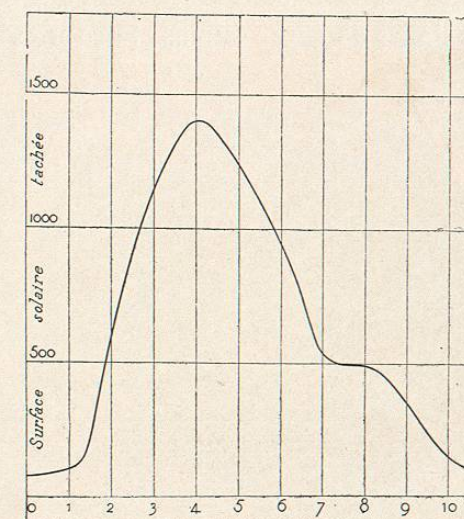
Ainsi, les différences dans les constitutions chimiques apparentes sont associées à des différences de température. Il nous reste maintenant à déterminer en quel point de la courbe thermométrique se trouve telle étoile en particulier; vient-elle de naître seulement, et sa température augmente-t-elle, ou bien a-t-elle déjà passé le minimum et marche-t-elle vers le déclin? Là encore les expériences de laboratoire vont être pour nous d'un précieux secours.

Ces gaz ou ces vapeurs ne possèdent pas un spectre unique, comme on le croyait au début des études spectroscopiques; les Systèmes de lignes brillantes émises par les substances rayonnantes changent avec la température.

Prenons, par exemple, de l'acide carbonique, et photographions son spectre; augmentons maintenant la température, de façon à détruire le composé, nous obtenons évidemment les spectres de ses constituants : carbone et oxygène. Eh bien! les spectres des éléments chimiques se conduisent exactement de la même façon que les spectres des composés connus lorsque nous employons des températures beaucoup plus élevées que celles qui détruisent le composé; dans quelques cas les changements sont même plus marqués.

Ainsi, le spectre du fer, porté au rouge sombre, ne ressemble pas complètement à celui du même élément chauffé par l'arc électrique ou l'étincelle.

Dans chaque cas, de nouvelles lignes apparaissent, et les anciennes deviennent plus intenses à mesure que la température augmente. Ces raies ont reçu le nom de *lignes renforcées*. Ce ne sont pas, d'ailleurs, les seules visibles; en dehors de la région à haute température où elles sont produites, les vapeurs en voie de refroidissement nous donnent des lignes froides. Nous



APRÈS UN CERTAIN NOMBRE D'ANNÉES INDIQUÉ PAR LES NUMÉROS DU BAS, LES TACHES SOLAIRES AUGMENTENT, PASSENT PAR UN MAXIMUM ET DESCENDENT ENSUITE. L'INTERVALLE ENTRE DEUX MAXIMA EST DE ONZE ANS ENVIRON

pouvons encore concevoir les lignes renforcées seules visibles à la température la plus élevée dans un espace suffisamment libre de l'action de toutes les températures inférieures, mais nous ne pouvons évidemment reproduire ce dernier cas dans nos laboratoires.

En étudiant attentivement l'apparition de ces lignes renforcées spéciales dans les spectres stellaires, nous arrivons aux conclusions suivantes :

Les étoiles gazeuses, qui ont une température moyenne très élevée, montrent de fortes lignes d'hélium et de faibles lignes renforcées.

Les étoiles métalliques, qui ont une température moyenne, ou bien montrent des lignes d'hélium faibles et de fortes lignes renforcées, ou bien pas d'hélium et de fortes lignes à arc.



PORTRAIT DU R. P. SECCHI,
LE CRÉATEUR DE LA PHYSIQUE SOLAIRE

Enfin, les étoiles à carbone qui sont au bas de l'échelle des températures n'ont que de faibles lignes à arc.

Il est donc évident que non seulement les changements spectraux dans les étoiles sont associés aux changements de température ou produits par ses changements, mais que l'étude des lignes renforcées de l'étincelle et de l'arc nous conduit à la conception d'une thermométrie stellaire rigoureuse, ces lignes étant plus faciles à observer que les longueurs relatives des spectres.

Or, en classant ainsi les différents astres, on a reconnu que les spectres des étoiles les plus froides sont loin d'être semblables entre eux, tandis qu'il n'y a qu'une seule espèce d'étoiles très chaudes, et vous en comprenez la raison. Les astres qui s'éteignent passent par les mêmes stades calorifiques que les étoiles naissantes; mais d'un côté, alors que la température monte, de l'autre elle descend, et, comme les combinaisons chimiques ne sont pas les mêmes, dans les deux cas le spectroscopie nous en avertit.

Dans les étoiles les plus chaudes, nous trouvons à peu près exclusivement l'hydrogène, l'hélium et quelques autres gaz encore inconnus. Aux températures immédiatement inférieures, ces gaz sont remplacés par des métaux dans l'état où nous les observons au laboratoire lorsqu'ils sont soumis aux plus fortes chaleurs de l'étincelle électrique. Enfin, à une température plus

basse encore, les gaz ont à peu près disparu entièrement, et les métaux existent tels qu'ils nous apparaissent dans l'arc électrique.

On peut dès lors disposer de la façon suivante certaines étoiles types montrant ces changements chimiques :

Étoiles dont la température augmente. Étoiles dont la température diminue.
Étoiles très chaudes.

Bellatrix

ξ Taureau	β Persée
Rigel	γ Lyre
α Cygne	Castor
γ Cygne	Procyon
α Orion	Arcturus et le Soleil

Voilà, si vous l'examinez de près, un tableau où vous pourrez lire la destinée de notre Soleil.

Notre horoscope n'a rien de divertissant. La place occupée par le Soleil nous montre à l'évidence que notre astre central est presque au dernier stage de son évolution; c'est un vieillard bien décrépité, et la tombe est sa seule espérance.

Peu à peu les combinaisons chimiques bien visibles dans les taches se formeront sur de plus grandes étendues. Elles deviendront aussi plus stables; puis la température diminuera rapidement, et, dans quelques dizaines de millions d'années, lorsqu'une couche pâteuse recouvrira sa surface, l'astre du jour avec son éclat aura perdu sa place parmi les étoiles de la voûte céleste.

Soleil noir et invisible, épave dangereuse pour les millions d'étoiles lancées dans les abîmes, il n'en continuera pas moins sa course à travers l'immensité.