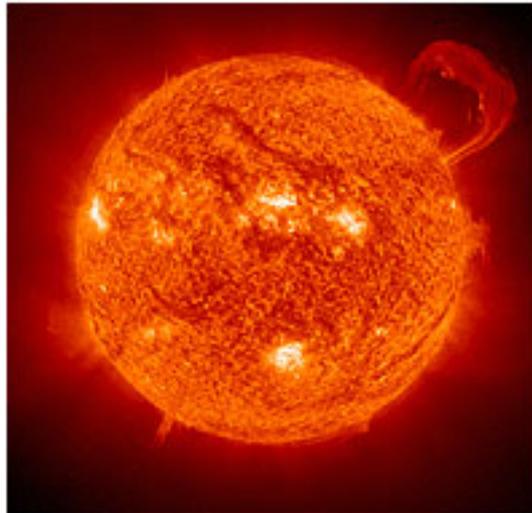


Noms des participants

Noms des participants



L'évolution du Soleil et l'avenir de notre planète

Introduction

Nous savons que la terre est en perpétuelle évolution depuis sa naissance, il y a 4,55 milliards d'années. De plus, c'est une planète qui, entre autre, a la particularité de pouvoir accueillir la vie, grâce au soleil qui permet actuellement de réunir des conditions qui y sont propices.

Cependant le soleil lui aussi évolue depuis sa naissance, une évolution qui, comme toute étoile, le conduit inévitablement à sa fin. Ce déclin aura pour la terre et le système solaire des conséquences fatales. L'astre qui a permis l'épanouissement de la vie sur Terre commandera aussi son extinction, ceci est un processus inéluctable que personne ne peut nier. Mais plus généralement et à beaucoup plus long terme, que va-t-il advenir de notre planète, l'évolution du soleil va-t-elle à l'encontre de sa survie ?

Pour tenter d'y répondre, nous allons étudier en premier lieu le soleil depuis sa naissance jusqu'à aujourd'hui, son mode de fonctionnement et sa structure, et en seconde lieu son évolution future donc l'évolution du système solaire ainsi que les méthodes qui permettent d'effectuer ces prévisions, qui malgré leurs précisions relatives resteront invérifiables.

I. Résumé de la vie du soleil

1) Du big-bang à nos jours

Le big-bang a eu lieu il y a environ 15 milliards d'années. A ce jour l'avancé de la science ne permet pas de savoir à quoi ressemblait l'univers au moment même du big-bang, mais 10^{-43} seconde après. A ce moment, l'univers n'était pas plus gros que la pointe d'une épingle et sa température était de 10^{32} °K.

A 10^{-32} secondes, se sont formés les quarks (électrons qui constituent la matière), antiquarks et positons (leurs antiparticules), de charge électrique opposée qui forment l'anti-matière, neutrines, anti-neutrines et photons. S'il y avait eu autant de particules que d'antiparticules, l'Univers n'aurait pas continué sa formation mais il y a eu 1 000 000 001 particules pour 1 000 000 000 d'antiparticules ce qui lui a permis de générer de la matière.

A 10^{-6} secondes après le big-bang, l'Univers se dilate et se refroidit, c'est alors que les quarks se soudent par trois pour former les protons et les neutrons.

Trois minutes plus tard, des protons s'assemblent avec des neutrons pour former des noyaux d'hélium. Les protons restant seuls deviennent des noyaux d'hydrogène.

300 000 ans s'écoulent pendant que l'univers continue son expansion et son refroidissement.

Au bout d'un milliard d'années, les atomes d'hydrogène et d'hélium se regroupent sous l'effet de la gravité : la température augmente et les premières étoiles et galaxies apparaissent.

La cause la plus probable de la naissance du soleil serait l'explosion d'une étoile (supernova) à proximité d'un nuage de gaz, une nébuleuse protosolaire. Tous les objets du système solaire ont évolué en fonction de leur trajectoire, de leur distance au soleil, de leur masse etc. Avec sa chaleur le soleil a fait perdre aux planètes les plus proches, Mercure, Vénus, Terre et Mars. Le soleil s'est formé dans un nuage de composition chimique suivante : 70% d'hydrogène, 28% d'hélium et 2% d'éléments plus lourds.

La première étape de la vie de notre soleil est la proto-étoile. Les modèles théoriques montrent qu'un nuage moléculaire peut, dans certaines conditions de température et de densité, se condenser sous l'action des forces d'attraction mutuelle des particules et libérer d'importantes quantités d'énergie, qui d'ailleurs dans un premier temps s'en échappent librement, la température reste constante et basse ($T < 100$ °C.) A ce stade, notre étoile n'était qu'une source thermique, puis sa contraction entraîne une agitation moléculaire. La matière tombe vers le centre du nuage, et la température du noyau central ainsi formé augmente en permanence.

Les nombreux paliers d'élévation de la température interne achèvent l'ionisation de la proto-étoile jusqu'au moment où, la température centrale atteignant 1 million de degrés, les réactions thermonucléaires de combustion de l'hydrogène s'enclenchent. Par la suite, après « évaporation » du nuage, l'événement donne naissance au soleil qui est visible, dont la température superficielle avoisine les 4 000°C et sa luminosité étant 100 fois supérieure à celle actuelle.

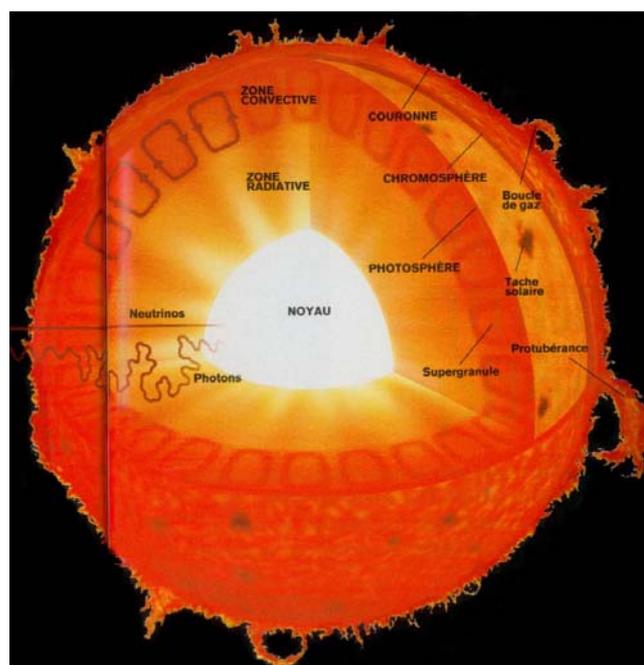
Lorsque température et pression sont suffisamment élevées au centre de la proto-étoile, les réactions nucléaires commencent : elle a alors atteint le stade de la séquence principale où elle y passera la majeure partie de sa vie. Le soleil est toujours dans cette période qui dure environ 10 milliards d'années. Durant cette phase il dégagera une énergie importante.

2) De nos jours

De nos jours, le soleil en est au stade de la naine rouge. Il est composé de 25% d'hélium et 75% d'hydrogène, les autres éléments sont à l'état de traces. Il transforme donc son hydrogène en hélium par la fusion thermonucléaire à raison de 2 atomes d'hydrogène pour un hélium. Cette fusion thermonucléaire sert à contrer la force gravitationnelle qui tend à faire s'effondrer l'astre sur lui-même. Son diamètre est d'environ $1,4 \cdot 10^6$ Km pour une masse de $2 \cdot 10^{27}$ tonnes. On remarque aussi une activité : les tempêtes solaires : elles perturbent le fonctionnement des appareils électroniques sur Terre et comme en 1989, elles peuvent priver un pays d'électricité : le Québec. Ces tempêtes sont d'une telle violence qu'un astronaute en sortie dans l'espace ou en visite sur la Lune ou Mars subirait une irradiation digne de Tchernobyl.

Le soleil est constitué essentiellement de 3 couches :

- La zone convective : c'est la surface du soleil, sa température varie de 5700K à la surface à 2MK à sa base.
- La zone radiative : l'énergie s'y transporte par collisions électrons-photons. La température varie de 2MK à 7MK vers le cœur.
- Le cœur du soleil : sa température est d'environ 15MK. Il est le siège de nombreuses réactions, dont la réaction thermonucléaire.



Conclusion partielle : la naissance de l'univers a donc eu lieu il y a 15 milliards d'années avec le big bang. Ce n'est que 10,5 milliards d'années plus tard que le système solaire est né pour évoluer et obtenir celui que nous connaissons avec la structure en 3 couches que présente le soleil.

II. Avenir du Soleil et de notre planète

1) Comment savoir son avenir ?

Les moyens que nous avons pour approcher et étudier le soleil :

Les étoiles sont classées en trois grandes familles en fonctions de leurs masses et de leurs luminosités :

- Les super géantes : 10000 fois la luminosité du soleil et 1000 fois son rayon
- Les géantes : 100 fois la luminosité et le rayon du soleil
- Les naines : luminosité inférieure ou égale à celle de notre soleil.

Cette catégorie comprend les étoiles comparables au soleil (700 000 km de diamètre), les étoiles en fin de vie comme les naines blanches (5 000 km de diamètre) et les étoiles à neutrons(10 km de diamètre).

Il y a encore peu de temps, on observait les étoiles que grâce à leur émission de rayonnements électromagnétiques(les rayons lumineux visibles).

Il a donc fallu trouver un moyen d'observer les rayons X, y et les infrarouges émis par les étoiles : les satellites de la haute atmosphère (comme le satellite Hipparcos de l'Agence Spatiale Européenne lancé en 1989).



D'autres techniques nous permettent d'observer les étoiles :

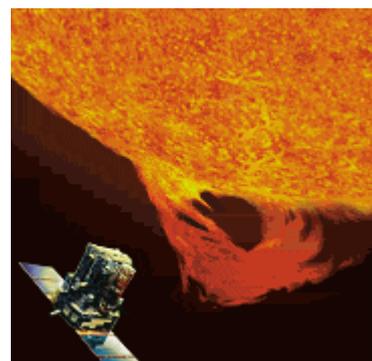
Il y a l'astronomie optique, qui n'étudie que les sources de lumière visible (longueur d'ondes comprise entre 400 et 800 nm). Son instrument de base est le télescope, il nous a permis de voir de très nombreux astres trop petits à l'œil nu, mais ce moyen reste toutefois limité.

Il y a aussi la radioastronomie, plus précise. Le radiotélescope capte des ondes de longueur plus importantes(1 mm à 15 m). Ces instruments permettent au scientifique aussi bien de travailler de jour comme de nuit quelle que soit la nébulosité. Plus puissant, ils peuvent donc détecter des astres plus éloignés.

L'astronomie spatiale emploie des moyens plus onéreux comme les ballons stratosphériques, les fusées, les satellites et les sondes automatiques. Ces techniques nous permettent l'observation des rayonnements arrêtés par l'atmosphère terrestre comme les rayons X, y, ultraviolet et infrarouges.

Actuellement, pour obtenir des informations sur la nature des étoiles, les astronomes emploient principalement deux types d'observations :

La photométrie stellaire qui étudie l'éclat des étoiles dans un domaine de fréquence assez large (tout le spectre visible). La photométrie couleur (ou colorimétrie stellaire) permet d'avoir des renseignements sur le spectre continu des étoiles. Grâce aux variations d'intensité lumineuse du spectre,



les astrophysiciens peuvent déterminer précisément la nature et la composition d'une étoile. Ils ont appris par exemple que plus la température de la surface d'une étoile est élevée, plus son spectre est riche en rayonnement de courtes longueurs d'ondes.

L'autre moyen principalement employé est la spectroscopie. Elle effectue une analyse beaucoup plus détaillé du rayonnement. Et permet de connaître la nature des éléments présents dans les étoiles (grâce à leurs raies d'émission ou d'absorption).

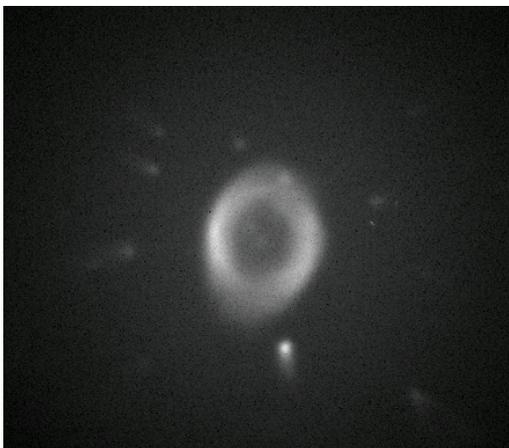
2) Parallélisme entre les futurs stades du soleil au cours du temps et les conséquences sur la Terre

Ici, un tableau peut permettre une vision globale des prévisions de l'évolution du soleil et les conséquences directes de cette évolution sur notre planète en fonction du temps par rapport à aujourd'hui.

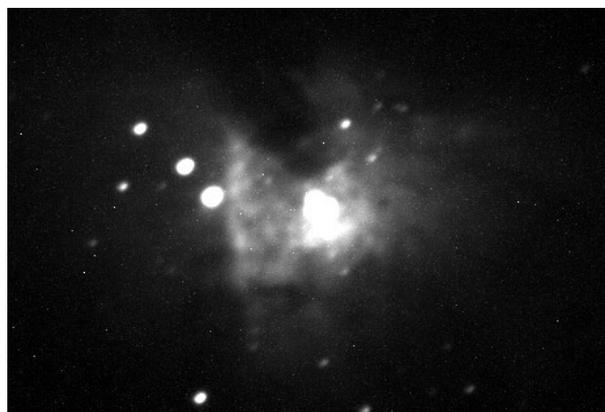
	Stade, structure et mode de fonctionnement du soleil.	Conséquences sur l'état de la Terre.
+ 400 millions d'années	A cette époque, le soleil commence à manquer de réserves d'hydrogène. Sa température et sa luminosité augmentent légèrement.	Sur Terre, le rayonnement augmente de 5% par rapport à aujourd'hui. Cette augmentation provoque une importante baisse de CO ₂ , donc une disparition de 60% des espèces présentes à ce jour et une adaptation des espèces survivantes. La baisse de CO ₂ provoque également une diminution de l'effet de serre, d'où une augmentation de température assez lente, une moyenne de 20°C contre 15°C aujourd'hui.
+ 500 millions d'années		Le taux de CO ₂ ne cesse de diminuer, il atteint les 150 ppm (parties par millions) c'est à dire un seuil où la photosynthèse est pratiquement impossible. Seuls 5% des végétaux comme le maïs ou la canne à sucre qui utilisent une méthode de photosynthèse plus économique en CO ₂ , appelées C4, vont pouvoir survivre encore quelques temps.
+ 800 millions d'années		La luminosité augmente de 8%. Le taux de CO ₂ quant à lui est extrêmement bas, il a atteint les 10 à 20 ppm. Très peu de végétaux et animaux ont survécus. La moyenne de température par contre reste encore raisonnable autour de 25°C
+ 900 millions d'années		Le taux de CO ₂ à 10 ppm implique la disparition des dernières plantes C4. Quelques organismes aquatiques microscopiques pourront peut-être subsister un peu.
		L'augmentation de la température se fait maintenant plus rapide, les fleuves et les

<p>+ 1 milliard d'années</p>		<p>océans commencent à s'évaporer et créent un nouvel effet de serre à la vapeur d'eau. <i>Les dernières formes de vie sont définitivement détruites.</i></p>
<p>+ 1,4 milliards d'années</p>		<p>La température moyenne à la surface du globe atteint maintenant 50°C.</p>
<p>+ 1,6 milliards d'années</p>		<p>La température moyenne s'élève à 100°C. Les fleuves et les océans sont évaporés, la terre est stérilisée, l'hydrogène s'évanouit dans l'espace et la vapeur d'eau se dissocie dans l'atmosphère, à cause du rayonnement solaire.</p>
<p>+ 2,5 milliards d'années</p>		<p>N'ayant plus de vapeur d'eau, la Terre est maintenant dépourvue d'atmosphère et n'est donc plus à l'abri des pluies de météorites, elle ressemble à Vénus.</p>
<p>+ 7,6 milliards d'années</p>	<p>Le soleil manque d'hydrogène, pour compenser ce manque, son cœur se contracte dans le but de transformer l'hélium présent en carbone et hydrogène. Ses couches externes se mettent à gonfler et menacent les planètes les plus proches, Mercure, Venus, la Terre et Mars. Malgré cette augmentation de volume, le soleil perd 20% de sa masse, en effet, en gonflant, les couches externes s'éloignent du centre de gravité, ressentent ainsi moins l'attraction gravitationnelle et sont expulsées dans l'espace.</p>	
<p>+ 7,65 milliards d'années</p>	<p>Le soleil est sur le point de mourir, il est 100 fois plus volumineux qu'aujourd'hui, il occupe tout le ciel de la Terre.</p>	<p>La surface de la Terre atteint 1000°C, elle n'est plus qu'un immense lac de lave.</p>
<p>+ 7,67 milliards d'années</p>	<p>Notre étoile est maintenant devenue une GEANTE ROUGE. L'hydrogène ne représente plus qu'une fine couche à la périphérie du noyau. Il ne cesse de grossir et son rayon dépasse l'orbite de mercure, c'est à dire 58 millions de kilomètres puis celui de Vénus, 108 millions de kilomètres. Ces deux planètes n'ont pu échapper à la catastrophes et sont englouties par le soleil. Les millions d'années qu'il lui restent à vivre sont comptées !</p>	<p>La Terre devrait échapper à l'agonie dévastatrice du soleil. En effet, son orbite devrait être éloignée d'environ 150 à 185 millions de kilomètres ce qui lui laisserait une distance salutaire de 17 millions de kilomètres entre elle et le soleil. Sa température ayant atteint les 1800°C, la surface ayant fondue, la Terre se refroidie et la lave se solidifie.</p>
<p>+ 7,68</p>	<p>L'astre se met à dégonfler brusquement, en effet, l'hydrogène est</p>	

milliards d'années	maintenant absent et le soleil n'a plus que de l'hélium à transformer en carbone et oxygène, c'est bien trop peu pour qu'il puisse maintenir son volume. Son rayon ne dépasse plus une petite dizaine de kilomètres.	La Terre est épargnée, en tous cas pour une centaine de millions d'années.
+ 7,79 milliards d'années	Dans un dernier soubresaut il recommence à gonfler et son rayon s'élève à 172 millions de kilomètres. Cependant, il a perdu le tiers de sa masse.	L'orbite de la Terre est une nouvelle fois repoussée de 220 millions de kilomètres.
+7,8 milliards d'années	Sa taille diminue une seconde fois, il est devenu une NAINE BLANCHE qui émet une faible lueur ultra violette, sa taille est 100 fois plus petite qu'aujourd'hui. L'expulsion de son enveloppe externe donne naissance à une superbe nébuleuse planétaire que le noyau, c'est à dire la naine blanche, fait briller de sa chaleur.	La Terre, même si elle a été épargnée ne ressemble en rien à celle que nous connaissons aujourd'hui, elle n'est plus qu'un pauvre astéroïde recouvert de lave durcie qui contemple au loin la pâle lueur de celui qui avait autrefois été sa source vitale.



Nébuleuse de la Lyre



Nébuleuse de la constellation d'Orion

Conclusion partielle

Aujourd'hui, à l'aide des nombreuses connaissances scientifiques, nous pouvons facilement prévoir l'avenir du soleil. Et ainsi, le sort tragique de notre planète, futur astéroïde faiblement éclairé par une naine blanche. Une naine blanche qui pourtant aura été notre soleil. Un astre déchu après une lente agonie.

Conclusion : L'hypothèse sur la fin de notre étoile, le soleil, nous permet d'entrevoir le devenir de notre planète. En effet, on a pu établir des prévisions quant à l'évolution du soleil. Celui ci, au cours de son agonie va d'abord en se réchauffant faire de la Terre une planète

totallement stérile, semblable à Vénus. Et c'est de peu que la Terre verra son orbite repoussée par un soleil qui, dans un ultime souffle de vie, pourra augmenter cent fois son volume. Ainsi, nous pouvons observer que la Terre réchappera à la mort cataclysmique du soleil mais dans un état tel que nous ne pouvons considérer qu'elle aura réellement « survécue ».