

LA CONSCIENCE UNIVERSELLE

LES PLANS STELLAIRES

NOTIONS PHYSIQUES

Définition des étoiles :

Les étoiles sont des corps sphériques de très grandes dimensions, constituées de gaz chauds, agglomérés par la gravitation, et suffisamment massifs pour déclencher en leur sein, à un moment de leur existence, des réactions de fusion thermonucléaires, qui produisent un rayonnement. Ces réactions thermonucléaires se font à pression élevée (centaines de milliards de bars) et température élevée (dizaines de millions de degrés). L'énorme pression qui règne au cœur des étoiles provient des forces de gravitation.

L'énergie des étoiles provient principalement de la transformation de l'hydrogène en hélium (fusion nucléaire) provoquée par des bombardements de noyaux atomiques par des particules cosmiques (neutrons, particules alpha, etc.).

D'autres réactions produisent, par fusion d'atomes, du carbone, de l'azote, de l'oxygène, du deutérium, du lithium, du béryllium, du bore, etc., avec des émissions de rayons alpha, gamma, des électrons, des neutrons.

Par exemple, le Soleil contient 67 éléments, dont 92,1% d'hydrogène et 7,8% d'hélium.

A leur mort elles dispersent leur matière qui va participer à la formation de nouvelles étoiles et à celles des planètes qui les entourent. Ainsi sont apparus, au fur et à mesure, de plus en plus d'éléments lourds : Silicium, aluminium, fer, etc.

Après plusieurs millions ou milliards d'années d'existence, arrivées à court de combustible, ces étoiles meurent plus ou moins violemment, répandant autour d'elles ces atomes, (sous forme de nébuleuses), qui vont participer à l'élaboration de planètes et autres éléments cosmiques.

Formation :

Il semble qu'actuellement le taux de formation des étoiles soit plus faible qu'il y a plusieurs milliards d'années. Les deux tiers des galaxies ont une majorité d'étoiles vieilles d'au moins 8 milliards d'années.

97% des galaxies renferment des étoiles qui ont plus de 2 milliards d'années.

Donc, seulement 3% des galaxies ne contiennent que de jeunes étoiles de moins de 2 milliards d'années.

Il est logique de penser que la raison est une diminution des fusions de galaxies.

Suivant le même processus de formation des premières étoiles, l'effondrement de la matière sous l'influence de la gravitation provoque une augmentation de la température et de la densité qui déclenche une fusion nucléaire.

Les réactions nucléaires au cœur des étoiles font monter la température à une dizaine de millions de degrés. Il se produit des fusions nucléaires qui libèrent de l'énergie.

4 protons issus de l'hydrogène fusionnent pour former un noyau d'hélium, en éjectant 2 antiélectrons et 2 neutrinos.

L'énergie ainsi libérée compense la force de gravitation et l'étoile se stabilise.

Lorsque les réserves d'hydrogène deviennent insuffisantes, l'étoile se contracte alors à nouveau.

Densité et température augmentent à nouveau. A 200 millions de degrés, des triplés de noyaux d'hélium fusionnent et donnent des noyaux de carbone. Cette fusion libère de l'énergie qui gonfle l'étoile et alimente son rayonnement. L'étoile est devenue une géante rouge. Quand l'hydrogène et

l'hélium sont complètement épuisés, la gravitation reprend du terrain. Elle comprime l'étoile à nouveau portant son cœur à 500 millions de degrés.

La combustion du carbone commence et crée du néon, de l'oxygène, du sodium, du soufre, magnésium. Des périodes de fusion sont suivies de périodes de contraction. Le cœur de l'étoile s'enrichit en éléments lourds dont le fer constitue le dernier stade. Au-delà de ce stade plus de fusion possible car la fusion d'autres éléments demanderait de l'énergie que l'étoile ne possède pas.

Nota :

Cependant il reste un certain nombre de questions que la science n'a pas encore résolues. Par exemple :

Comment passe-t-on des quelques particules par cm³ à 100 000 milliards de particules par cm³ ?

Lorsqu'une étoile se contracte, elle se met à tourner rapidement. La force centrifuge augmente alors et s'oppose à la contraction du gaz. Cette force forme autour de la protoétoile un disque de matière appelé disque d'accrétion. Comment la contraction peut-elle se poursuivre ?

Pour la majorité des étoiles, durant leur formation, elles produisent périodiquement des jets de matière projetés de part et d'autre du disque d'accrétion à plus d'un million de km/h. Ces jets ralentissent la rotation et favorisent donc l'effondrement (diminution de la gravitation).

Le disque d'accrétion se forme au moment où l'énergie de rotation de la protoétoile est encore trop forte pour permettre aux agrégats de matière de tomber directement sur le noyau central.

Les jets de matière font perdre de la masse à la protoétoile, ils ralentissent sa rotation, ils favorisent donc la force gravitationnelle, permettant la naissance de l'étoile.

Caractéristiques des différentes étoiles observées :

Leurs caractéristiques sont très variables. On les différencie par :

- Leur couleur :

Bleue, blanc, jaune, orange, rouge, avec des variantes.

- Leur température à la surface :

Classement O (couleur bleue = 35 000°), B, A, F, G (couleur jaune = 5 000°), K, M (couleur rouge = moins de 3 600°), avec des subdivisions.

- Leur brillance, appelée magnitude :

C'est l'éclairement produit par la lumière d'une étoile. On distingue plusieurs types de magnitude :

° Magnitude apparente m :

C'est la quantité de lumière arrivant à l'œil de l'observation depuis la Terre. La magnitude apparente dépend de la distance de l'étoile et de sa luminosité.

Référence : Magnitude 0 pour l'étoile Véga au moment où cette étoile culmine au zénith par un ciel très clair. Echelle : De -1,46 pour la plus brillante (Sirius), à 100, magnitude relevée avec les instruments les plus précis. (facteur multiplicatif = racine 5^e de 100).

On a dénombré 20 étoiles dont la magnitude est inférieure à 1,5.

° Magnitude absolue M :

C'est la magnitude apparente qu'aurait l'étoile considérée si elle se trouvait à une distance de 10

parsecs de l'observateur, ou 32,6 années-lumière. De cette façon, les astronomes peuvent classer les étoiles en ne prenant en compte que leur luminosité intrinsèque. Le Soleil, par exemple, a une magnitude absolue de + 4,8.

° A travers une photographie : Magnitude photographique de 1 pour les plus brillantes à 23 pour les moins brillantes (grands télescopes).

- Leur masse :

Entre 0,1 et 50 masses solaires.

- Leur diamètre :

De moins d'1 million à 800 millions de km de diamètre.

- Leur densité :

De un dix millionième de gramme par cm^3 à 100 millions de tonnes par cm^3 .

- Leur durée de vie :

Entre 250 millions d'années et 25 milliards d'années, d'après les moyens actuels de mesures.

- Leurs distances relatives :

La plus proche du Soleil est Proxima du centaure à 4,2 al (années lumières), soit 40 milliards de km. Une année lumière est une unité de distance astronomique équivalent à la distance parcourue par la lumière en un an dans le vide, à la vitesse de 300 000 km par seconde, soit environ 9 460 milliards de km.

- Leur âge :

De plus de 13 milliards d'années à notre temps actuel où certaines sont en train de se former.

- Les éléments chimiques décelés à leur surface.

Nota :

Corrélations entre différentes caractéristiques :

Plus une étoile est chaude, plus elle dégage d'énergie, et plus elle émet des radiations bleues.

Plus une étoile est froide, moins elle dégage d'énergie, et plus elle émet des radiations rouges.

Plus une étoile est chaude, plus elle est lumineuse.

Plus une étoile est massive, plus elle est lumineuse.

Plus une étoile est grande, plus elle est lumineuse.

Plus une étoile est massive, plus elle est chaude, sauf pour celles qui ont brûlé tout leur hydrogène (naines blanches, très chaudes mais peu lumineuses, super géantes rouges, très froides mais très lumineuses).

Les différents types d'étoiles :

En fonction de leurs caractéristiques que nous venons de constater, les étoiles que nous pouvons observer peuvent être très différentes, d'autant plus que leurs caractéristiques propres leur confèrent des évolutions différentes.

Nous distinguons les différents types suivants :

- Dans le 1^{er} stade d'évolution :

Les géantes bleues.
Les petites blanches ou jaunes.
Les naines rouges.

- Dans le 2^e stade d'évolution :

Les super géantes rouges.
Les géantes rouges.
Les supernovae.

- Dans le 3^e stade d'évolution :

Les naines blanches.
Les trous noirs.
Les naines brunes.
Les pulsars.
Les étoiles à quarks.

Dans cette liste il convient de faire la différence entre les étoiles qui sont en cours de vie, et les étoiles qui ont cessé d'exister en tant qu'étoiles actives.

On les appelle toutes des étoiles mais certaines sont la conséquence d'un processus de transformation de l'hydrogène, et d'autres représentent ce qu'il en reste après que tout l'hydrogène ait été brûlé. D'où la distinction en plusieurs phases que nous allons expliciter.

Evolution des étoiles :

Suivant les conditions qui ont participé à la formation de la protoétoile, notamment la masse accumulée au départ, avant que la fusion ne commence, l'étoile va avoir un destin différent.

1^{er} stade - Etoiles en cours de vie :

A l'origine nous rencontrons 3 types d'étoiles en période de fusion thermonucléaire : Les géantes bleues, les petites blanches ou jaunes, les naines rouges.

2^e stade - Expansion et rétraction :

Lorsque la totalité de l'hydrogène a été transformée, l'étoile s'effondre sur elle-même. En implosant, elle éjecte ses couches externes et seul son cœur très dense subsiste. Là, différents processus démarrent suivant la taille et la température de l'étoile.

3^e stade - Rétraction :

Les géantes bleues deviennent des super géantes rouges qui explosent en supernovae et aboutissent à des pulsars ou des trous noirs, ou des étoiles à quarks.

Les petites blanches ou jaunes deviennent des géantes rouges qui explosent en supernovae et aboutissent à des naines blanches.

Les naines rouges deviennent des naines brunes.

Dans le cas d'une supernovae, les produits des fusions sont libérés et le milieu interstellaire s'enrichit en éléments lourds.

C'est de cette matière enrichie que naîtront les étoiles de la génération suivante, et les planètes.

Définition des types d'étoiles :

- Les Géantes Bleues :

Ce sont des étoiles très chaudes et de grande taille.

Elles évoluent très rapidement, et leur durée de vie est courte, (quelques dizaines de millions d'années).

Ex : Bellatrix, Spica, Shaula.

- Les Petites Blanches ou Jaunes :

Ce sont des étoiles moins chaudes, et de dimension plus petite, (de 0,8 à 3 fois le Soleil).

Leur durée de vie va de 500 millions à plusieurs milliards d'années.

Ex : Le Soleil, Sirius, Véga, Altaïr.

- Les Naines Rouges :

Ce sont des étoiles à faible circulation d'énergie, de petites dimensions, (de 0,1 à 0,6 fois le Soleil).

Leur évolution est lente.

Ex : Etoile de Bernard, Proxima du Centaure.

- Les Super Géantes Rouges :

Phase expansive. Elles proviennent des Géantes Bleues.

Ex : Bételgeuse, Antares.

- Les Géantes Rouges :

Phase expansive. Elles proviennent des Petites Blanches ou Jaunes.

Ex : Aldébaran, Arcturus.

- Les Supernovae :

Phase explosive. Ce sont des Super Géantes Rouges et des Géantes Rouges qui ont explosé.

Après l'explosion, ces Supernovae entament un processus de rétraction rapide avec ce qui leur reste de matière, et elles demeurent des objets extrêmement denses, (pulsars dits étoiles à Neutrons, Trous Noirs).

Il existe 2 types de supernovae :

° Celles qui proviennent d'étoiles de 1 à 1,4 masse solaire. Elles sont issues de l'explosion de Géantes rouges.

° Celles qui proviennent d'étoiles jeunes très massives (plus d'une dizaine de masses solaires). Elles sont issues d'anciennes Géantes bleues qui se sont transformées en Super Géantes rouges, et qui ont explosé.

Fortes d'une matière première abondante, elles épuisent très vite leur énergie en émettant beaucoup de lumière (en quelques dizaines de millions d'années, contre 10 milliards d'années pour une étoile semblable au Soleil). Lorsqu'elles se trouvent à court de carburant, le cœur de l'étoile s'effondre. Les électrons interagissent avec les photons pour donner naissance à un flux de neutrinos qui repousse vivement l'enveloppe vers l'extérieur, provoquant une énorme explosion. Au centre il ne reste qu'un cadavre.

Soit une étoile à neutrons dont la matière a une densité d'un million de milliards de grammes par cm^3 .

Soit un trou noir avec une densité encore plus élevée.

Soit une étoile à quarks.

Les supernovae sont génératrices de vie. Lors de l'explosion elles émettent des particules, des

atomes et des molécules, des rayons Gamma, un fort rayonnement de lumière.

Elles ensemencent donc l'espace d'éléments lourds. Elles fabriquent des éléments plus complexes que le fer.

Les étoiles ne fabriquent des éléments que jusqu'au fer. Elles ne possèdent pas assez d'énergie pour la fusion d'éléments plus lourds.

Le phénomène de la supernovae, en revanche, libère une grande quantité d'énergie qui lui permet de synthétiser de nouveaux éléments comme l'or, l'argent.

Les éléments lourds dispersés dans l'espace interstellaire vont s'assembler sous l'effet de la gravitation pour former de nouveaux nuages qui donneront naissance à de nouvelles étoiles plus riches que les précédentes.

D'ailleurs, l'onde de choc provoqué par l'explosion d'une supernovae dans un nuage interstellaire peut provoquer l'effondrement de ce nuage en une nouvelle étoile qui engendrera de nouvelles planètes.

- Les Naines Blanches :

Ces corps proviennent des ex Géantes Rouges.

Leur taille est comparable à la Terre, mais leur masse est proche de celle du Soleil, soit une densité d'environ une tonne par cm^3 .

Ex : Sirius B.

Les naines blanches brillent d'un pâle éclat. Tirant la plupart du temps la matière d'une étoile compagne, la naine blanche accumule tellement de gaz qu'elle finit par déclencher une détonation de carbone dont elle est faite en majeure partie.

- Les Trous Noirs :

Les Trous Noirs sont appelés ainsi car ces corps sont si denses, donc la gravitation est si forte, qu'aucune matière, et même la lumière ne peut plus s'échapper. Ils sont donc invisibles. Cependant, ils émettent des rayons X.

Il existe des trous noirs 20 000 fois plus massifs que le Soleil.

Un trou noir peut naître à la suite de plusieurs possibilités :

° Cas général : Mort d'une étoile massive :

On désigne par étoile massive une étoile ayant une masse d'au moins 10 masses solaires. Nous avons vu que ces étoiles, les géantes bleues, explosent en supernovae. Dans l'effondrement qui s'en suit, il peut en résulter un trou noir.

Mais un trou noir peut provenir de 2 autres causes :

° Collision de 2 étoiles à neutrons.

° Formation d'un trou noir in situ, sans explosion ni lumière.

Nota :

Certains trous noirs sont accouplés à des étoiles géantes.

- Les trous noirs supermassifs :

Un trou noir est dit supermassif quand sa masse atteint plus d'un million de masse solaire. Certains trous noirs supermassifs pèsent plusieurs milliards de masse solaire.

Les trous noirs supermassifs se forment au cœur des galaxies du fait de l'effondrement de toute la matière accumulée à cet endroit. Certains peuvent rassembler près de 1% de la masse totale de la galaxie. La plupart des centres des galaxies abritent un trou noir.

De la matière (nuages de gaz, étoiles) se trouvant à proximité d'un trou noir supermassif est attirée par lui et tourne autour de plus en plus vite en se rapprochant. Il forme ainsi un disque d'accrétion. Puis la matière est absorbée par celui-ci.
Contrairement aux trous noirs classiques, les trous noirs supermassifs éjectent des jets de matière.

Le centre de notre galaxie abrite un trou noir supermassif appelé Sygnus X-1.
Près de lui, des étoiles se déplacent à une vitesse de plusieurs milliers de km/s.
Ce trou noir a une masse de 2 millions de masses solaires.

Le trou noir situé au centre de la galaxie M 87 a absorbé une masse de matière équivalente à 3 milliards de Soleils. Il émet 2 jets de particules et d'électrons à une vitesse proche de celle de la lumière. Autour se trouve un nuage de gaz qui tourbillonne à une vitesse de 2 millions de km/h. (+ de 500 tours par seconde).

- Les Micro-trous noirs :

La science a détecté la présence de petits trous noirs dont la masse ne dépasse pas 10 fois la masse du soleil.

- Les Naines Brunes :

Ce sont des ex Naines Rouges qui, ne disposant pas assez d'énergie, perdent celle-ci par à-coups, (Flare Stars).

- Les Pulsars (dits étoiles à neutrons) :

Une étoile à neutrons est un vestige d'une étoile du type géante bleue qui a implosé.
C'est un astre petit mais extrêmement dense (la masse de 5 à 10 étoiles solaires tassée dans un espace grand comme Paris).

Ces étoiles ont une vibration très rapide et émettent beaucoup d'énergie. Ce sont des étoiles intermédiaires entre les Naines Blanches et les Trous Noirs.
Dans ce type de processus, la pression est si forte que la plupart des protons présents dans le cœur capturent les électrons et se transforment en neutrons.

Toute étoile devient alors un gigantesque noyau très riche en neutrons, d'où son nom d'étoile à neutrons. Compte tenu de la densité considérable qui règne au cœur des étoiles massives qui étaient à l'origine, des neutrons réagissent et se décomposent en leurs éléments constitutifs, les quarks. Une étoile dite à neutrons contient aussi des quarks (up et down).
Au sein d'une étoile à neutrons les quarks restent confinés dans les nucléons (neutrons et protons) et se regroupent par triplets mélangeant les saveurs : 2 u et 1 d forment un proton, 1 u et 2 d forment un neutron.

- Les étoiles à quarks :

Il semble que certaines étoiles ne contiennent pratiquement plus que des quarks étranges (quark étrange = interaction entre des quarks up et down avec des électrons). On les appelle les étoiles à quarks. Dans ces étoiles les quarks vivraient librement interagissant entre-eux via des particules appelées gluons.

- Nota :

Nous devons parler aussi d'étoiles particulières :

Beaucoup d'étoiles subissent des mouvements énergétiques très importants, soit à cause de leur cycle interne, soit à cause d'une instabilité d'état, ou par la présence d'un compagnon extérieur perturbateur.

Elles restent, pour la plupart dans les définitions ci-dessus, mais elles sont appelées "variables". On les appelle les Novae.

Ce sont donc des étoiles à éclat variable dont l'éclat a une augmentation brusque suivie d'une diminution lente pour revenir à l'éclat primitif. Il faut parfois une dizaine d'années pour revenir à cet éclat primitif.

Origine : explosion due à l'expulsion en surface d'une partie de matière et de gaz.

Leur nombre est très élevé. Dans notre galaxie, on compte une vingtaine par an dont la magnitude atteint 9.

On a découvert des systèmes binaires constitués d'une étoile à neutrons et d'une naine blanche.

Récapitulation :

Etoile de type Géante bleue --- Supergéante rouge --- Supernovae --- Pulsar ou trou noir ou étoile à quarks.

Etoile de type petite blanche ou jaune --- Géante rouge --- Supernovae --- naine blanche.

Etoile de type naine rouge --- naine brune.

Fusion de 2 étoiles :

Certaines étoiles, dans leurs trajectoires, se rencontrent et fusionnent, constituant une nouvelle étoile plus grande. Lorsque cette étoile massive explose, elle éjecte dans le cosmos des restes carbonisés des anciennes planètes qui tournaient autour des anciennes étoiles.

Cette fusion d'étoiles se situe principalement dans des régions de l'espace où les étoiles sont relativement proches, comme, par exemple vers les centres des galaxies, ou dans des amas galactiques.

Il existe différentes possibilités :

- Rencontre d'une naine blanche avec une étoile :

La naine blanche traverse l'étoile, provoquant une onde de choc autour de son passage. L'onde de choc comprime la matière de l'étoile, élève sa température, ce qui provoque une éjection dans l'espace d'une partie ou de la totalité de la matière de l'étoile.

- Rencontre d'une étoile à neutrons avec un couple d'étoiles :

Lors de l'impact, une des 2 étoiles est éjectée dans l'espace et devient autonome.

L'étoile à neutrons remplace l'étoile éjectée. La force gravitationnelle de l'étoile à neutrons arrache des lambeaux de gaz de l'étoile compagne jusqu'à la mort de cette-ci. Le transfert de matière chauffe le gaz, ce qui provoque une gigantesque explosion. C'est une nova.

- Rencontre d'un trou noir avec une étoile :

Le trou noir aspire la matière de l'étoile. Il en résulte d'énormes jets bipolaires de matière brûlante, très lumineux, et à très grande vitesse.

- Nota :

Des étoiles se regroupent parfois sous la forme d'Amas globulaires.

Un amas globulaire est une concentration d'étoiles dans un petit espace à la périphérie d'une galaxie.

Nous avons vu que des réactions au cœur des étoiles peuvent produire des quarks.

Nous devons aussi noter la présence des neutrinos.

Nous avons vu que de la matière de plus en plus dense et lourde, est créée dans le sein des étoiles. Nous avons vu que l'explosion de diverses étoiles répand cette matière dans le cosmos environnant. Nous avons vu que les étoiles naissent dans des nuages de plus en plus riches en éléments lourds. On peut donc conclure que, plus le temps passe dans l'univers, plus il s'enrichit de matière de plus en plus riche en éléments lourds.

La quantité de matière augmente avec l'expansion de l'univers.

L'étoile Soleil :

- Caractéristiques :

Il a été plus facile à la science d'étudier l'étoile la plus proche de notre Terre, à savoir le Soleil. Aussi, il me paraît intéressant d'en dire quelques mots.

Le Soleil est une étoile moyenne qui se situe vers l'extérieur d'un des bras de la Galaxie Voie Lactée.

On a estimé son âge à 5 milliards d'années.

Sa distance à la Terre est d'environ 150 millions de Km.

Sa masse est environ 330 000 fois celle de la Terre.

Sa densité est = 1,4, (Terre = 3,3).

Son volume est 1 300 000 fois celui de la Terre.

Son diamètre est = 1.392.000 km, (109 fois le diamètre de la terre).

Sa période de rotation est différentielle, 30 jours aux pôles, 25 jours à l'équateur.

L'étoile est composée de 70% d'hydrogène, et 28% d'hélium.

Le soleil se déplace autour du centre de notre galaxie (qui se trouve à 28 000 al), à la vitesse de 250 km par seconde. Il en fait le tour en 240 millions d'années.

- Formation :

Sa formation est celle des étoiles petites jaunes. Revoyons cette formation.

Soit un nuage interstellaire composé essentiellement d'hydrogène et d'hélium, et contenant également des éléments lourds synthétisés au cœur d'autres étoiles, et expulsés lors de leur explosion.

Instabilité locale, augmentation de la densité de matière en un point, autour de ce point le nuage commence à tourner et à se contracter gravitationnellement.

A un certain stade de la concentration, le nuage s'effondre en un disque perpendiculaire à l'axe de rotation. La partie centrale se concentre en un noyau central dont la rotation s'accélère. Naissance de la proto-étoile.

Sous l'effet de l'effondrement la température et la pression augmentent au centre. Lorsque la température atteint les 10 millions de degrés, les réactions nucléaires démarrent, la proto-étoile est devenue une étoile active.

- Fonctionnement :

C'est donc une immense centrale thermonucléaire, siège de réactions complexes qui aboutissent, par différents intermédiaires, à la transformation de l'hydrogène en hélium, et ceci à la cadence d'environ 564 millions de tonnes par seconde.

La fusion de 4 atomes d'hydrogène produit 1 atome d'hélium, et l'énergie ainsi libérée est évacuée vers l'extérieur.

564 millions de tonnes d'hydrogène sont donc transformés en 56 millions de tonnes d'hélium, les 4 millions de tonnes restant sont convertis en énergie.

99% de l'énergie est produite dans à peine 1% du volume du Soleil.

Cette énergie émise se décompose en 40% de photons, (lumière visible), 50% de rayonnement infrarouge, (chaleur), 10% de rayonnement ultraviolet, et d'autres rayonnements en quantité

négligeable tels que rayonnements de grandes longueurs d'onde, (radio), ou de courtes longueurs d'onde, (x, gamma).

Il s'échappe aussi des particules sous forme d'un courant électriquement chargé appelé "vent solaire", ainsi que des neutrinos.

Le vent solaire est une expansion continue d'une partie du plasma. Il résulte de la transformation d'une quantité d'énergie en particules chargées. Il est essentiellement composé d'électrons et de protons. L'hélium y est variable, de 1% à 20%. Des éléments lourds y sont également identifiés, notamment des particules alpha. Ses profils de vitesse et de densité varient en fonction de l'activité solaire. La vitesse est lente au niveau du Soleil et s'accélère en s'éloignant. Au niveau de la Terre elle est comprise entre 300 et 700 km/s, suivant le degré d'activité du Soleil. Il entraîne avec lui une partie du champ magnétique solaire.

Les photons sont fabriqués au cœur de l'astre, et vont subir une série d'absorptions et de réémissions par interactions avec les atomes d'hydrogène et d'hélium, et qui vont étaler leur énergie sur un large spectre, (rayons gamma et neutrinos dégradés en rayons X, puis en ultraviolets, puis en photons). Selon la longueur d'onde, les photons mettent plus ou moins de temps à parvenir à la surface, et s'échapper, 2 millions d'années pour ceux de la lumière visible! Par contre les neutrinos sortent au bout de 2 secondes!

Les photons mettent 8 mn pour atteindre la Terre.

- Structure :

Le Soleil est formé d'enveloppes concentriques de gaz. Sa surface n'est pas délimitée comme le serait celle d'un solide. La matière qui le constitue est fluide. Nous avons, de l'intérieur vers l'extérieur :

° Le noyau :

C'est dans cette zone que se déroulent les réactions nucléaires.

Rayon 200 000 km. Dans un volume égal à 9% du total, il renferme 63% de la masse du Soleil.

La température est de 14 à 15 millions de degrés C.

La pression au centre est de 220 milliards d'atmosphères.

La densité est de 135.

° Une première zone intermédiaire :

Dans cette zone l'énergie est véhiculée vers l'extérieur par rayonnement.

La température varie de 6,6 à 1,8 millions de degrés C.

La pression est de 610 millions d'atmosphères.

La densité est de 1,3.

° Une deuxième zone intermédiaire :

Dans cette zone la matière est brassée par des courants de convection ascendants et descendants assez lents, (un mois pour traverser la zone).

L'épaisseur varie de 100 000 à 200 000 km.

La température varie de 605 000 °C à 110 000 °C.

La pression est de 800 000 atmosphères.

La densité est faible.

° La Photosphère :

La matière se présente, à ce niveau, sous forme d'atomes complets, et non plus sous forme de plasma, (c'est à dire de noyaux et d'électrons dissociés). La lumière que nous recevons est émise ici, et c'est de cette zone que s'échappe le rayonnement électromagnétique.

Nous y observons les taches solaires, structures plus sombres que l'ambiance générale, et qui sont

des centres actifs de température plus faible, (4 500°C), zones fortement perturbées par les champs magnétiques.

L'épaisseur est faible, 400 km.

La température est de 7 000 °C.

La densité est faible.

° La Chromosphère :

Couche externe très perturbée.

On y observe des protubérances. Ce sont des condensations de plasma cent fois plus denses que le milieu environnant, et qui épousent les formes du champ magnétique. Elles peuvent s'élever à 500 000 km au-dessus de la surface solaire.

On y observe aussi des éruptions solaires qui libèrent en quelques minutes d'énormes quantités d'énergie, avec émission importante de rayons X.

L'épaisseur est d'environ 5 000 km.

La densité est faible.

Le champ magnétique est fort.

° La Couronne :

Milieu très raréfié, de structure hétérogène.