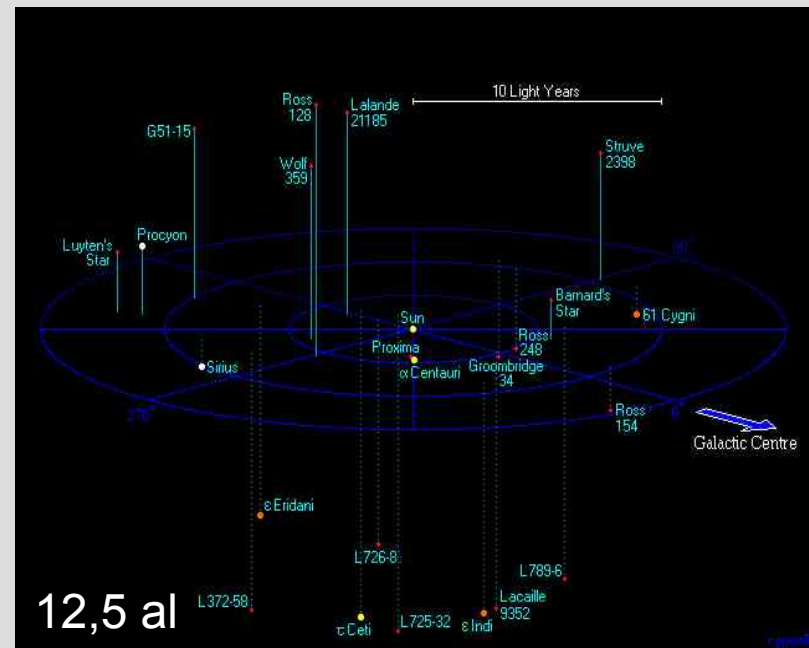
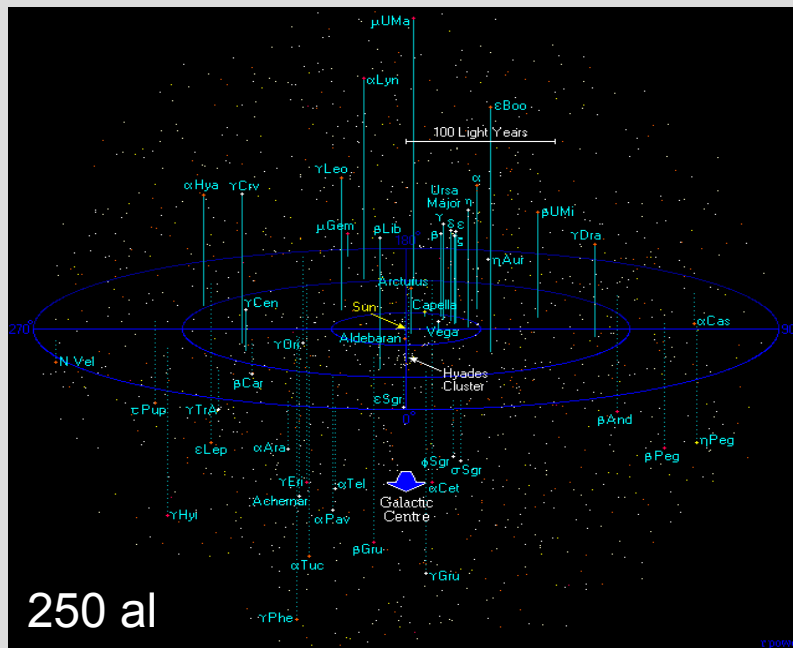
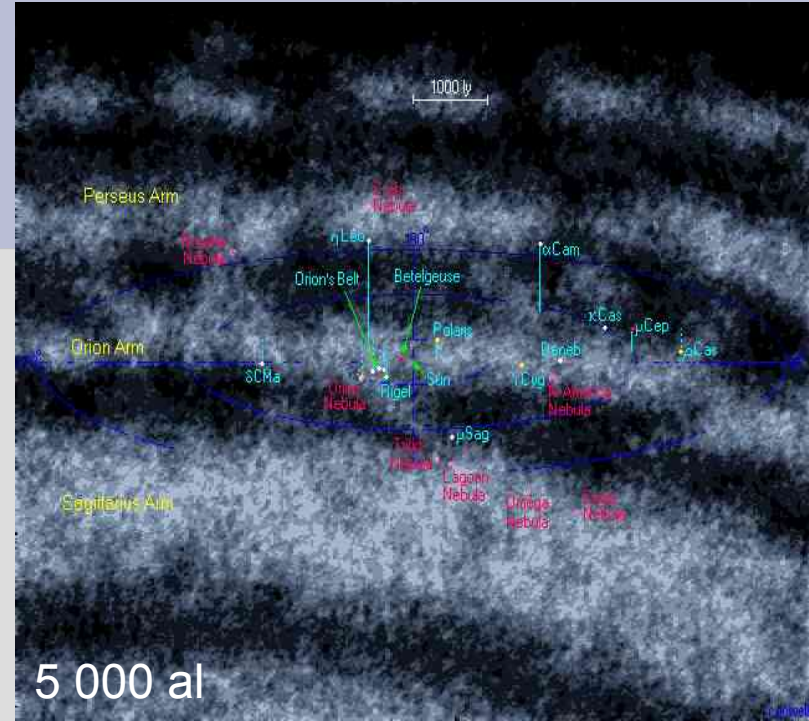
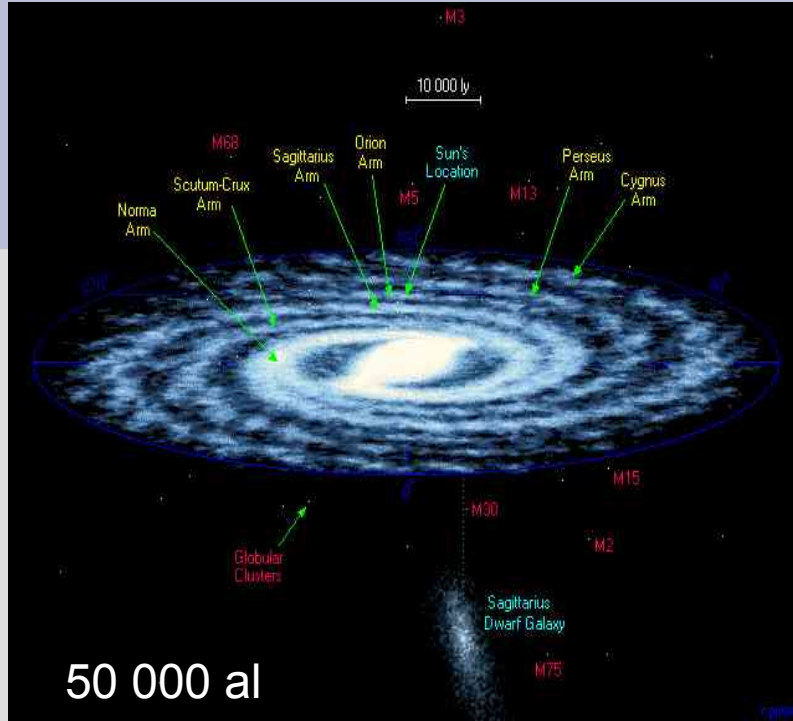


Le Soleil



Le soleil dans la galaxie



Au Commencement: Naissance du Soleil

- Il y a environ 4,5 milliards d'années une étoile massive a explosé (Supernova) à proximité de l'endroit où se trouve le soleil actuellement dans la galaxie.
- Cette explosion cataclysmique a entre autres créé des éléments chimiques comme le carbone, l'oxygène, l'azote etc.. et le nuage de gaz et matière, qu'elle a éjecté, aensemencé l'espace en éléments variés qu'on va retrouver dans le Soleil (en analysant sa lumière) et dans le système planétaire associé.
- Ce nuage va lentement s'effondrer sous l'effet de la gravitation par un mécanisme complexe pour constituer une nébuleuse qui va structurer lentement pour donner d'une part une étoile qui va concentrer 99% de la masse et allumer des réactions nucléaires et un cortège de corps qui gravitent autour qui concentrent 99% du moment angulaire..

Naissance du Soleil



1er une nébuleuse solaire s'effondre sous son propre poids



2ème la nébuleuse prend progressivement la forme d'un disque aplati en rotation



3ème sous l'effet de leurs collisions mutuelles, les grains engendrent de petits planétoïdes de dimensions kilomètres



4ème la formation d'embryons planétaires d'environ 1 000 km de diamètre a lieu et le Soleil s'est condensé dans la partie centrale.

Le mystère de l'énergie du Soleil

Quelle est la puissance du Soleil lui-même ?

Combien de temps brillera-t-il, avant d'épuiser son carburant?

Quel carburant utilise t'il?

Depuis quand transmet-il son énergie ?

Au début du 19 ième siècle, on a naturellement envisagé le charbon, mais cela ne lui assurait que quelques milliers d'années,

Le premier à considérer sérieusement ces questions fut le grand physicien allemand **Hermann von Helmholtz**, , qui soulignait en 1854 que **la seule gravité du soleil** pouvait lui assurer une importante quantité d'énergie.

Si le Soleil se contracte progressivement parce que ses constituants se tassent peu à peu vers le centre, l'énergie libérée est suffisante pour qu'il rayonne longtemps : jusqu'à 20 millions d'années, calculait – il.

La radioactivité a ensuite été découverte :

Cela a amené à estimer que la terre est vieille de plusieurs milliards d'années, un âge beaucoup plus ancien que celui donné par Helmholtz, et que probablement cette source d'énergie interne au noyau de l'atome nouvellement découverte pourrait correspondre aux besoins du Soleil. On a d'abord envisagé la fission, mais la composition chimique du Soleil a conduit plus tard à retenir la fusion.

Les atomes

Un atome est constitué d'un **noyau** concentrant plus de 99,9 % de sa masse, autour duquel se distribuent des **électrons** pour former un nuage 40 000 fois plus étendu que le noyau lui-même.

Ce dernier est constitué de **protons**, chargés positivement, et de **neutrons**, électriquement neutres ; l'**hydrogène** fait exception, car le noyau de son **isotope** ^1H , appelé *protium*, ne contient aucun neutron.

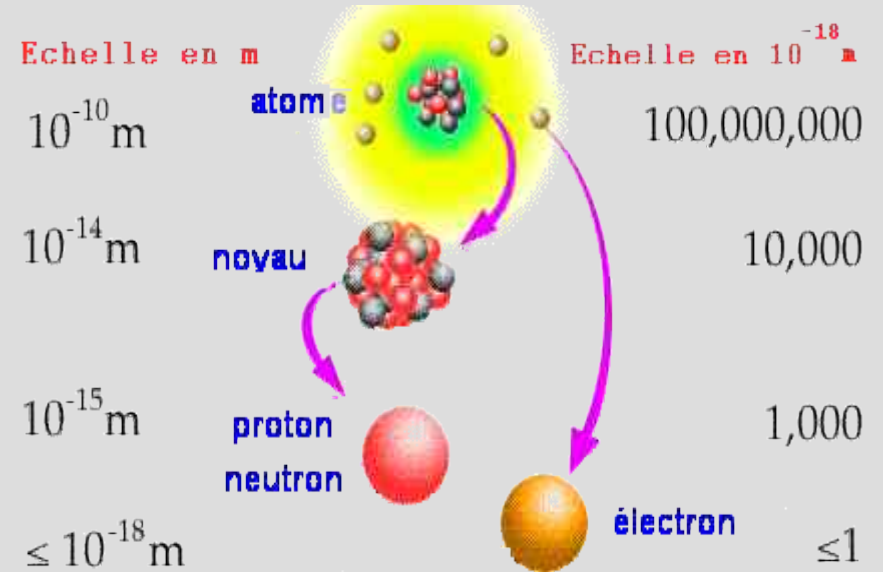
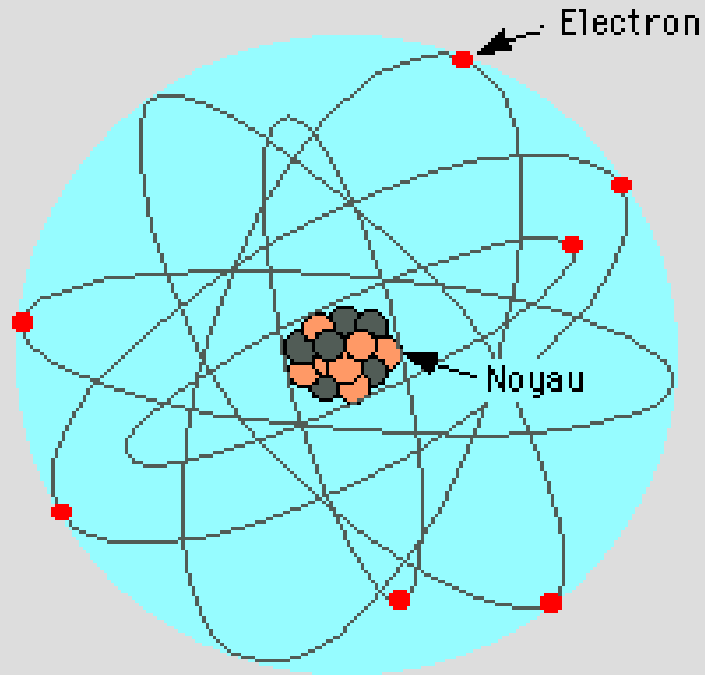
Les électrons occupent des **orbitales atomiques** en interaction avec le noyau *via* la **force électromagnétique**, tandis que les **nucléons** sont maintenus ensemble au sein du noyau par la **liaison nucléaire**, qui est une manifestation de l'**interaction nucléaire forte**.

Le **nuage électronique** est stratifié en niveaux d'énergie quantifiés autour du noyau définissant des **couches** et des **sous-couches électroniques** ; les **nucléons** se répartissent également en **couches nucléaires**, bien qu'un modèle approché assez commode popularise la **structure nucléaire** d'après le **modèle de la goutte liquide**.

Plusieurs atomes peuvent établir des **liaisons chimiques** entre eux grâce à leurs **électrons**, et, d'une manière générale, les propriétés chimiques des atomes sont déterminées par leur **configuration électronique**, laquelle découle du nombre de **protons** de leur **noyau**.

Ce nombre, appelé **numéro atomique**, définit un **élément chimique**.

Les atomes



Représentation schématique d'un atome avec son noyau et ses électrons, l'échelle n'est pas respectée, la taille de l'atome étant 100 000 fois plus grande que celle des nucléons.

Noyau Atomique

-

Protons et neutrons forment un noyau atomique de dimension femtométrique, 10^{-15} m

Le rayon nucléaire d'un atome dont le nombre de masse est A vaut environ 1 fm, alors que l'atome lui-même a un rayon de l'ordre de la centaine de picomètres (environ 35 000 à 40 000 fois plus grand).

Les protons étant chargés positivement, ils se repoussent au sein du noyau, mais l'intensité de cette répulsion électrostatique est inférieure à celle de l'attraction entre nucléons induite par l'interaction nucléaire forte à des distances inférieures à 2,5 fm.

La géométrie des noyaux atomiques est généralement sphérique, bien que certains noyaux stables suffisamment massifs adoptent également des formes sphéroïdes étirées en ballon de rugby ou, au contraire, aplaties.

Certains noyaux instables, dits noyaux à halo, sont caractérisés par un ou plusieurs nucléons aux fonctions d'ondes très distendues, qui donnent au noyau des contours flous et un volume apparent très augmenté ; ces noyaux ont une cohésion nucléaire à la limite extrême du champ d'action de l'interaction forte.

Tableau de Mendeleïev

Tableau périodique des éléments

Groupe → 1 2 13 14 15 16 17 18
 IA IIA IIIA IVA VA VIA VIIA VIIIA
 Période ↓

hydrogène 1 ← nom de l'élément (gaz, liquide ou solide à 0°C et 101,3 kPa)
 H ← numéro atomique
 1,00794 ← symbole chimique
 ← masse atomique relative ou [celle de l'isotope le plus stable]

1	hydrogène 1 H 1,00794																	hélium 2 He 4,002602	
2	lithium 3 Li 6,941	béryllium 4 Be 9,012182												bore 5 B 10,811	carbone 6 C 12,0107	azote 7 N 14,00674	oxygène 8 O 15,9994	fluor 9 F 18,9984032	néon 10 Ne 20,1797
3	sodium 11 Na 22,98976928	magnésium 12 Mg 24,3050												aluminium 13 Al 26,9815386	silicium 14 Si 28,0855	phosphore 15 P 30,973762	soufre 16 S 32,066	chlore 17 Cl 35,4527	argon 18 Ar 39,948
4	potassium 19 K 39,0983	calcium 20 Ca 40,078	scandium 21 Sc 44,955912	titane 22 Ti 47,867	vanadium 23 V 50,9415	chrome 24 Cr 51,9961	manganèse 25 Mn 54,938045	fer 26 Fe 55,845	cobalt 27 Co 58,933195	nickel 28 Ni 58,6934	cuivre 29 Cu 63,546	zinc 30 Zn 65,39		gallium 31 Ga 69,723	germanium 32 Ge 72,61	arsenic 33 As 74,92160	sélénium 34 Se 78,96	brome 35 Br 79,904	krypton 36 Kr 83,80
5	rubidium 37 Rb 85,4678	strontium 38 Sr 87,62	yttrium 39 Y 88,90585	zirconium 40 Zr 91,224	niobium 41 Nb 92,90638	molybdène 42 Mo 95,94	technétium 43 Tc 97,9072	ruthérium 44 Ru 101,07	rhodium 45 Rh 102,90550	palladium 46 Pd 106,42	argent 47 Ag 107,8682	cadmium 48 Cd 112,411		indium 49 In 114,818	étain 50 Sn 118,710	antimoine 51 Sb 121,760	tellure 52 Te 127,60	iode 53 I 126,90447	xénon 54 Xe 131,29
6	césium 55 Cs 132,9054519	baryum 56 Ba 137,327	lanthanides 57–71	hafnium 72 Hf 178,49	tantale 73 Ta 180,94788	tungstène 74 W 183,84	rhénium 75 Re 186,207	osmium 76 Os 190,23	iridium 77 Ir 194,217	platine 78 Pt 195,084	or 79 Au 196,966569	mercure 80 Hg 200,59		thallium 81 Tl 204,3833	plomb 82 Pb 207,2	bismuth 83 Bi 208,98040	polonium 84 Po [208,9824]	astate 85 At [209,9871]	radon 86 Rn [222,0176]
7	francium 87 Fr [223,0197]	radium 88 Ra [226,0254]	actinides 89–103	rutherfordium 104 Rf [261,1025]	dubnium 105 Db [262,1144]	seaborgium 106 Sg [266,1219]	bohrium 107 Bh [264,1247]	hassium 108 Hs [269,1341]	meitnerium 109 Mt [268,1388]	darmstadtium 110 Ds [272,1463]	roentgenium 111 Rg [272,1535]	copernicium 112 Cn [277]		ununtrium 113 Uut [284]	ununquadium 114 Uuq [289]	ununpentium 115 Uup [288]	ununhexium 116 Uuh [292]	ununseptium 117 Uus [292]	ununoctium 118 Uuo [294]
			lanthane 57 La 138,90547	cérium 58 Ce 140,116	praséodyme 59 Pr 140,90765	néodyme 60 Nd 144,242	prométhium 61 Pm [144,9127]	samarium 62 Sm 150,36	europium 63 Eu 151,964	gadolinium 64 Gd 157,25	terbium 65 Tb 158,92535	dysprosium 66 Dy 162,500	holmium 67 Ho 164,93032	erbium 68 Er 167,259	thulium 69 Tm 168,93421	ytterbium 70 Yb 173,04	lutécium 71 Lu 174,967		
			actinium 89 Ac [227,0277]	thorium 90 Th 232,03806	protactinium 91 Pa [231,03588]	uranium 92 U 238,02891	neptunium 93 Np [237,0482]	plutonium 94 Pu [244,0642]	américium 95 Am [243,0614]	curium 96 Cm [247,0703]	berkélium 97 Bk [247,0703]	californium 98 Cf [251,0796]	einsteinium 99 Es [252,0830]	fermium 100 Fm [257,0951]	mendélévium 101 Md [258,0984]	nobélium 102 No [259,1011]	lawrencium 103 Lr [262,110]		

métaux alcalins

alcalino-terreux

lanthanides

actinides

métaux de transition

métaux pauvres

métalloïdes

non-métaux

halogènes

gaz nobles

primordial

désintégration d'autres éléments

synthétique

Energie de liaison des nucléons dans le noyau

La **liaison nucléaire** est généralement décrite comme une manifestation résiduelle entre **nucléons** de l'**interaction nucléaire forte** qui maintient ensemble les **quarks** constituant les nucléons.

L'**énergie de liaison nucléaire** est définie comme l'énergie nécessaire pour arracher un nucléon quelconque au noyau considéré.

Elle est de l'ordre de quelques **mégaélectron-volts** par nucléon et est maximum pour le fer (stable).

Cette propriété fondamentale explique pourquoi ce sont uniquement les atomes légers qui libèrent de l'énergie par **fusion nucléaire** tandis que ce sont uniquement les atomes lourds qui libèrent de l'énergie par **fission nucléaire** :

.

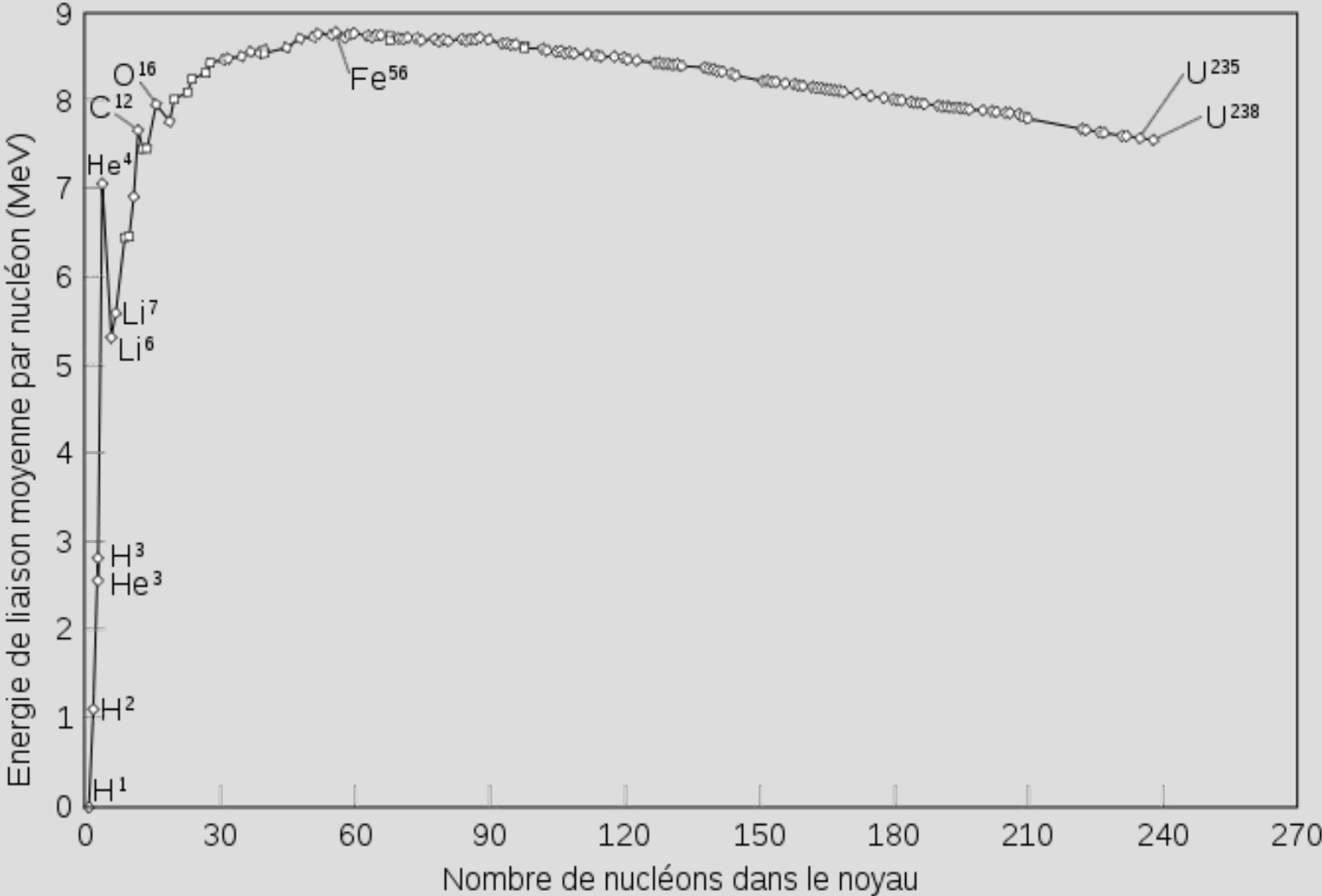
Fusion et Fission nucléaire

La fusion nucléaire survient lorsque des nucléons ou des noyaux atomiques s'assemblent pour former un noyau atomique plus gros. Si l'énergie de liaison nucléaire par nucléon est plus élevée dans le nouveau noyau, il y a libération d'énergie : c'est le cas dans les étoiles jusqu'au nickel 56 au niveau duquel s'arrête la nucléosynthèse stellaire ; le ^{56}Ni étant instable, il se désintègre en fer 56, qui est stable.

La nucléosynthèse ne se poursuit pas au-delà du nickel car le nucléide qui serait alors formé, le ^{60}Zn , a une énergie de liaison nucléaire par nucléon inférieure à celle du ^{56}Ni , et sa formation consommerait de l'énergie au lieu d'en libérer : c'est essentiellement à la toute fin de vie des étoiles, même de taille modeste, et particulièrement lors de l'explosion en supernova des grosses étoiles, que les éléments plus lourds que le fer et le nickel sont formés.

La fission nucléaire n'est autre que l'éclatement d'un noyau atomique en au moins deux morceaux plus petits, avec libération de neutrons (car les noyaux légers sont proportionnellement moins riches en neutrons que les noyaux lourds). Si l'énergie de liaison nucléaire par nucléon est plus faible dans le noyau initial que dans les produit de fission alors il y a libération d'énergie : c'est le cas pour les noyaux plus massifs que ceux du nickel 62; l'uranium et le plutonium, par exemple, sont dans ce cas.

Energie de liaison par nucléon dans le noyau



Fusion nucléaire

La **fusion nucléaire**, dite parfois **fusion thermonucléaire**, est un processus où deux **noyaux atomiques** s'assemblent pour former un noyau plus lourd.

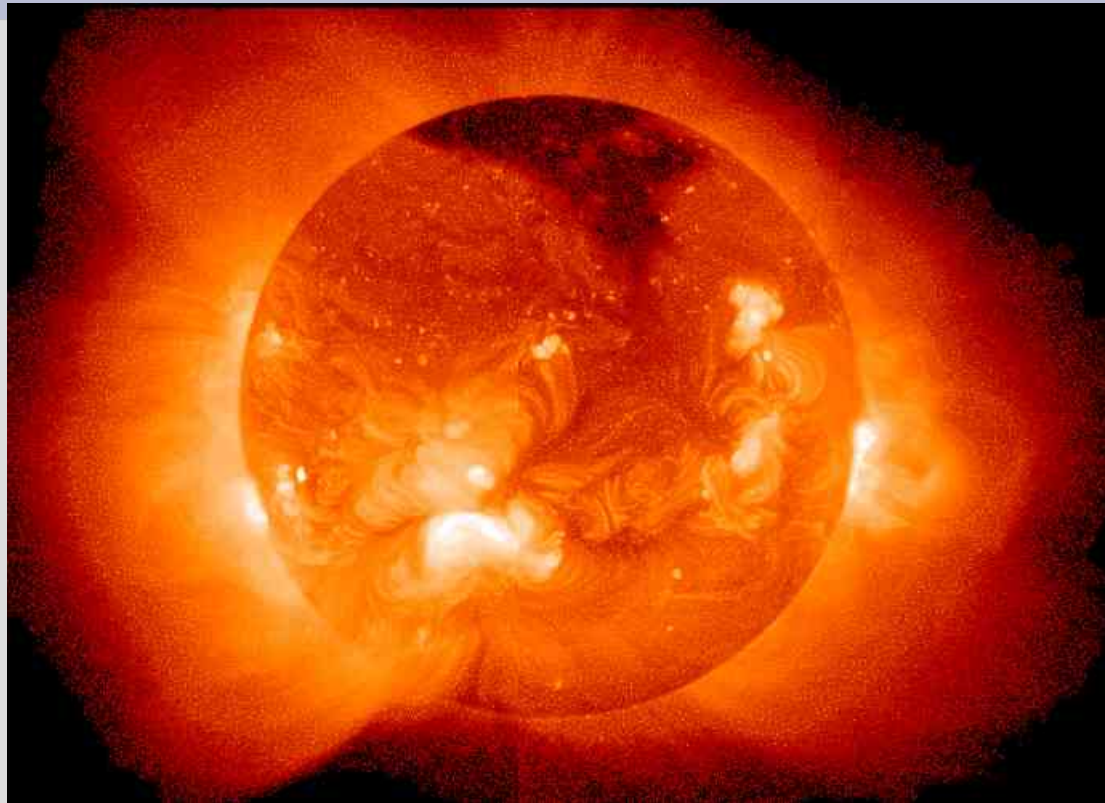
Cette réaction est à l'œuvre de manière naturelle dans le **Soleil** et la plupart des **étoiles** de l'univers.

La fusion de noyaux légers dégage d'énormes quantités d'**énergie** provenant de l'attraction entre les **nucléons** due à l'**interaction forte**, cf **Énergie de liaison atomique**. Elle est, avec la **fission**, l'un des deux principaux types de **réactions nucléaires** appliquées. Un de ses intérêts est de pouvoir produire théoriquement beaucoup plus d'énergie (de 3 à 4 fois plus), à **masse** de « combustible » égale, que la fission.

De plus, les **océans** contiennent naturellement suffisamment de **deutérium**, 16 grammes par m³, pour permettre d'alimenter en énergie la planète pendant quelques centaines de millénaires (1 m³ d'eau peut potentiellement fournir autant d'énergie que la combustion de 670 tonnes de pétrole)

Contrairement à la fission nucléaire, les produits de la fusion eux-mêmes (principalement de l'**hélium 4**) ne sont pas **radioactifs**, mais lorsque la réaction utilisée émet des **neutrons** rapides, ces derniers peuvent transformer les noyaux qui les capturent en **isotopes** pouvant l'être.

La fusion nucléaire source d'énergie du Soleil



Le Soleil, siège de nombreuses réactions de fusion nucléaire

Mécanisme de la fusion nucléaire

Une réaction de fusion nucléaire nécessite que deux noyaux atomiques s'interpénètrent. Il faut pour cela que les noyaux surmontent la répulsion due à leurs charges électriques toutes deux positives (phénomène dit de « **barrière coulombienne** »).

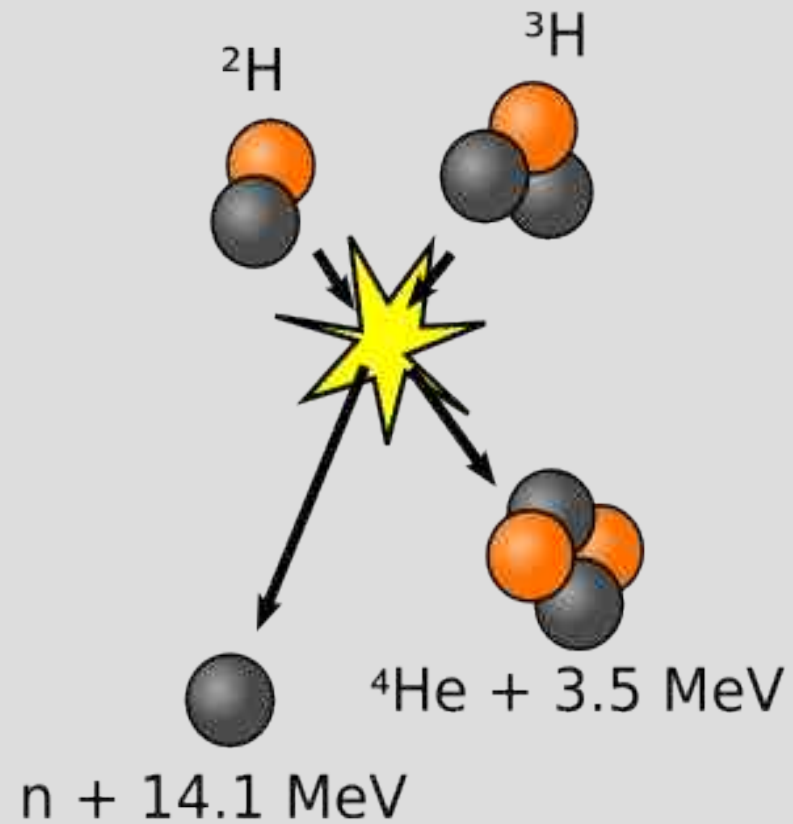
Si l'on appliquait uniquement les lois de la mécanique classique, la probabilité d'obtenir la fusion des noyaux serait très faible, en raison de l'**énergie cinétique** (correspondant à l'agitation thermique) extrêmement élevée nécessaire au franchissement de la barrière.

Cependant, la **mécanique quantique** prévoit, ce qui se vérifie en pratique, que la barrière coulombienne peut également être franchie par **effet tunnel**, à des énergies plus faibles: Résultat donne le pic de Gamow.

Les énergies nécessaires à la fusion restent très élevées, correspondant à des **températures** de plusieurs dizaines ou même centaines de millions de degrés selon la nature des noyaux (voir plus bas : **Plasmas de fusion**).

Au sein du **Soleil** par exemple, la fusion de l'**hydrogène**, qui aboutit, par étapes, à produire de l'**hélium** s'effectue à des températures de l'ordre de 15 millions de **kelvins**, mais suivant des schémas de réaction différents de ceux étudiés pour la production d'énergie de fusion sur Terre. Dans certaines étoiles plus massives, des températures plus élevées permettent la fusion de noyaux plus lourds.

Exemple de réaction nucléaire

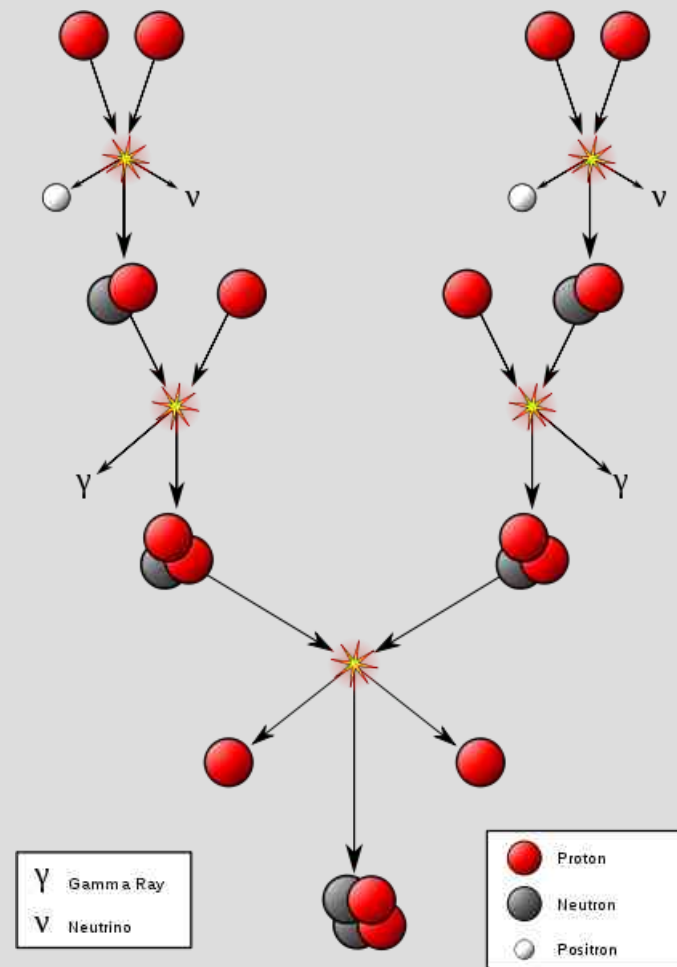


Chaines de réactions en astrophysique

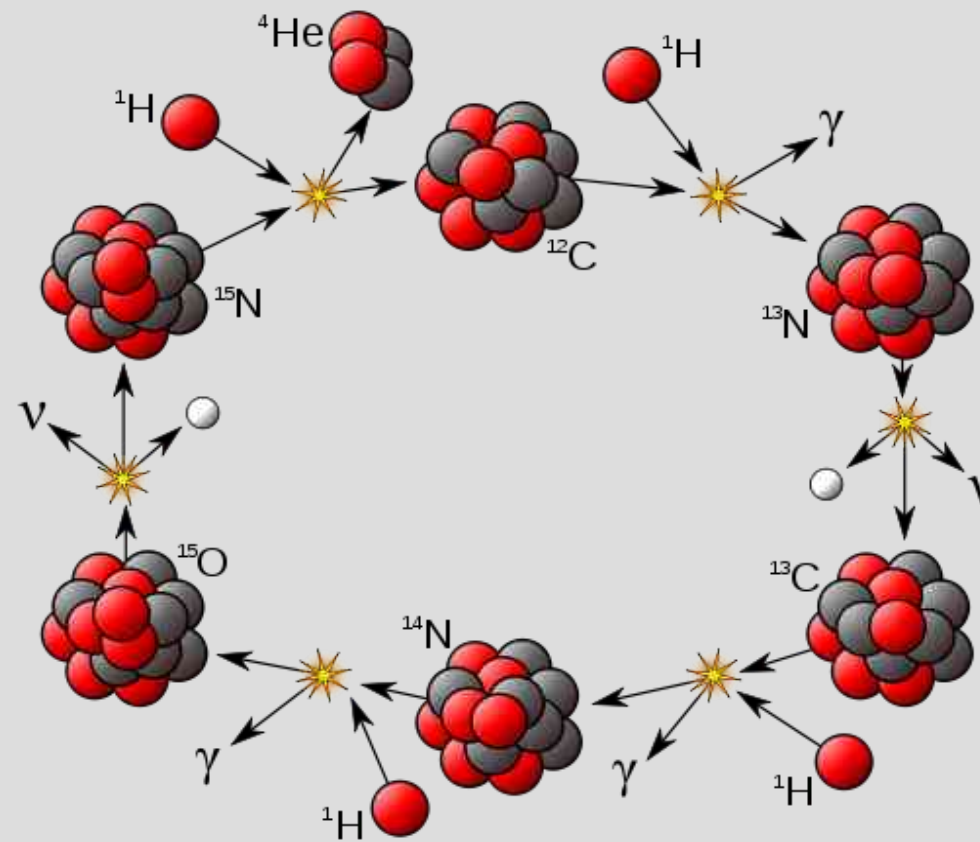
Le processus de fusion le plus important dans la nature est celui qui alimente les étoiles. Le résultat net est la fusion de quatre **protons** en une **particule alpha** (noyau d'**hélium 4**), accompagnée de la libération de deux **positrons**, de deux **neutrinos** (qui transforment deux des protons en **neutrons**) et d'énergie, mais diverses réactions individuelles sont impliquées selon la masse de l'étoile. Dans les étoiles de taille similaire ou inférieure à celle du Soleil, la **chaîne proton-proton** prédomine. Dans les étoiles plus lourdes, le **cycle carbone-azote-oxygène** (CNO) est le plus important. Les deux types de processus sont à l'origine de la création de nouveaux éléments dans le cadre de la **nucléosynthèse stellaire**.




Aux températures et densités du cœur des étoiles, le taux de réaction de fusion est notoirement peu élevé. Par exemple, à la température ($T \approx 15 \text{ MK}$) et à la densité (160 g/cm^3) du cœur du Soleil, le taux de libération d'énergie est seulement de $276 \mu\text{W/cm}^3$ - environ le quart du débit de chaleur par unité de volume d'un homme au repos. Ainsi, la reproduction en laboratoire des conditions du cœur des étoiles à des fins de production d'énergie de fusion est totalement impossible à mettre en pratique. Les taux de réaction dépendant fortement de la température ($\exp(-E/kT)$), il est nécessaire, pour atteindre des taux raisonnables de production d'énergie dans des réacteurs à fusion nucléaire, de travailler à des températures 10 à 100 fois plus élevées que celles du cœur des étoiles, soit $T \approx 0,1 \text{ — } 1 \text{ GK}$ (de l'ordre de 100 millions à un milliard de **kelvins**).

La chaîne proton-proton prédomine dans les étoiles d'une taille similaire ou inférieure à celle du Soleil



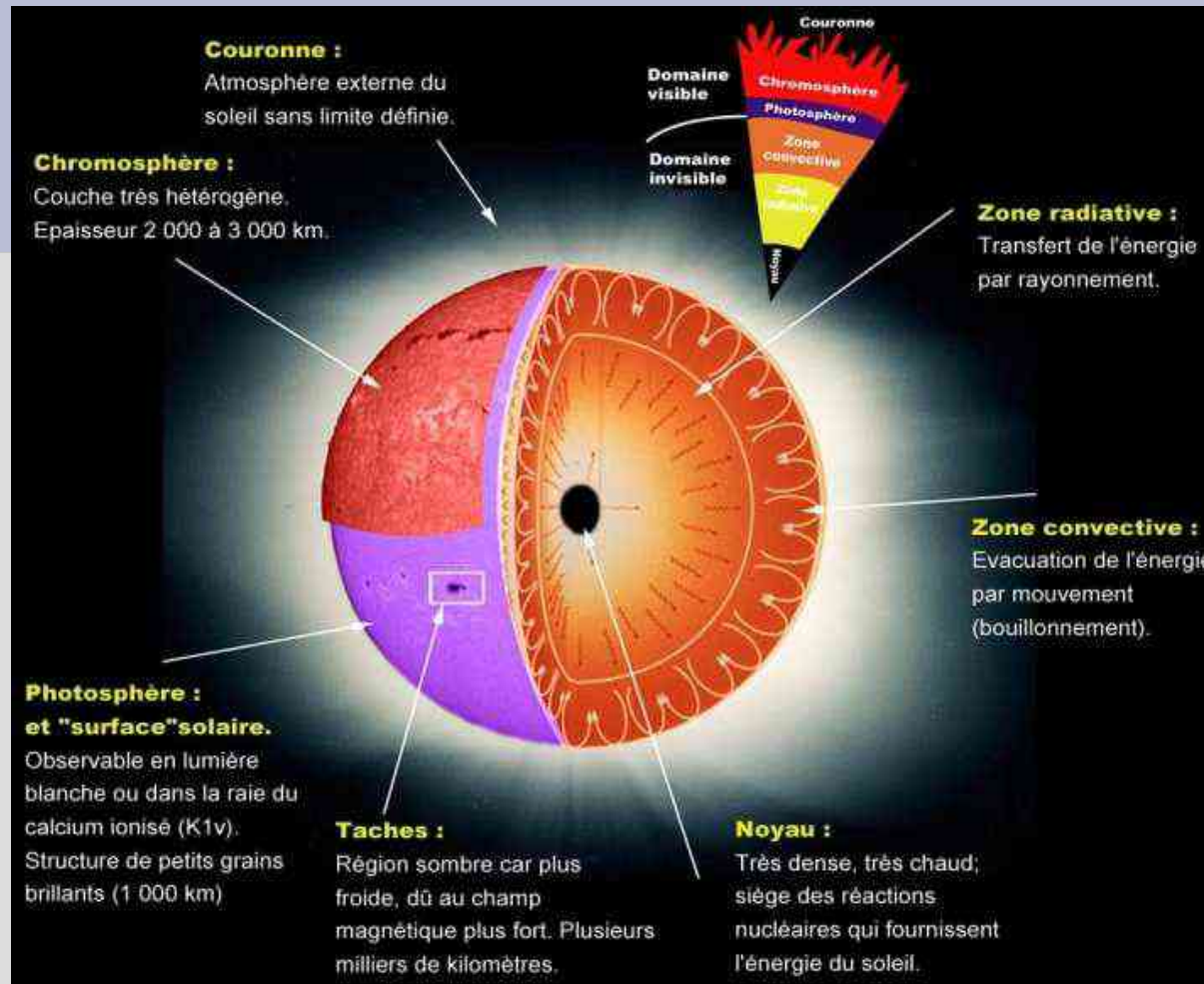
Le cycle carbone-azote-oxygène prédomine dans les étoiles de masse supérieure à celle du Soleil.



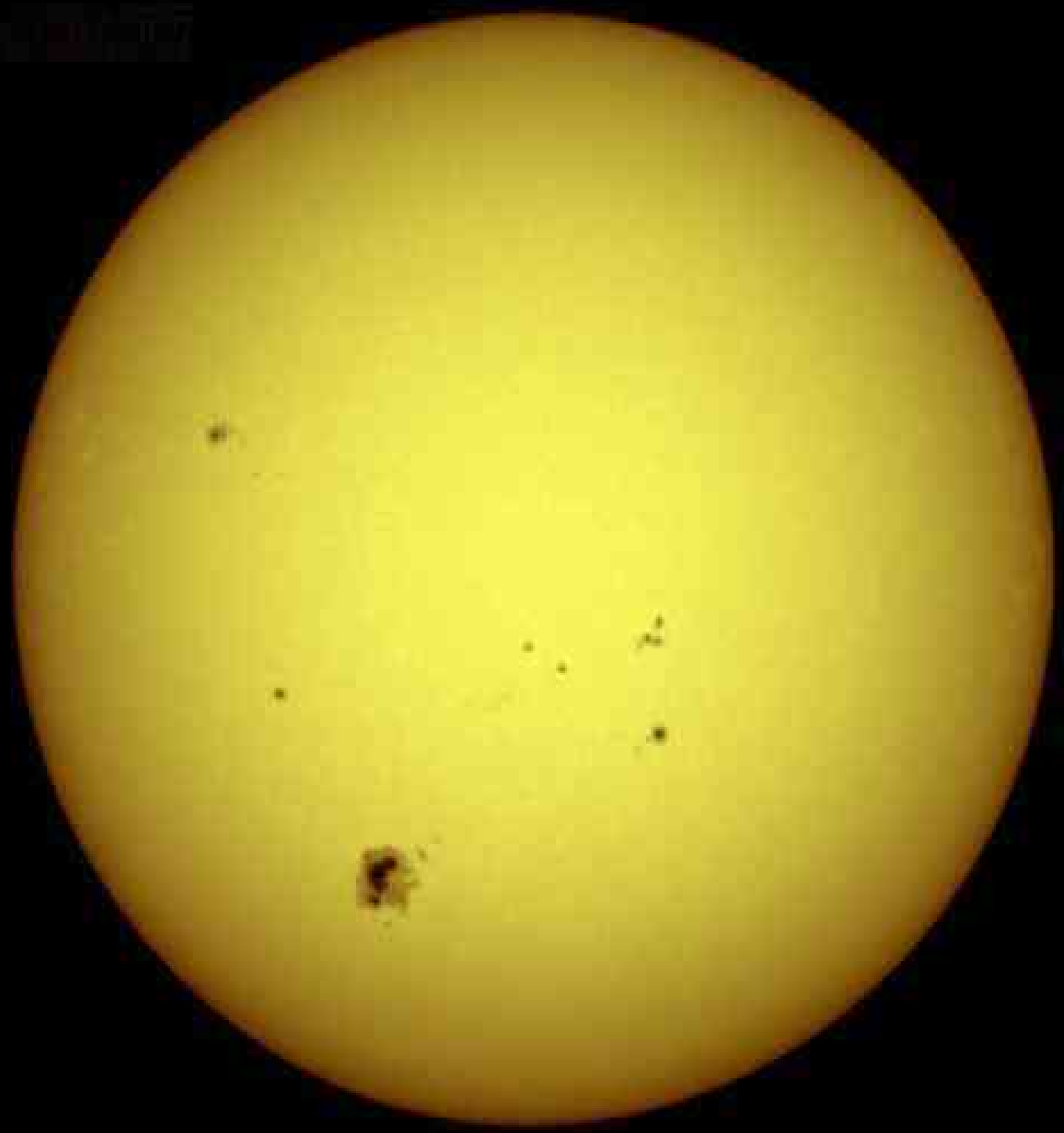
	Proton	γ	Gamma Ray
	Neutron	ν	Neutrino
	Positron		

C, N, O catalyseur
Bilan net du cycle:
4 protons \rightarrow He

Structure interne du Soleil et équilibre hydrostatique



Le Soleil comme toute étoile est une boule de gaz en équilibre hydrostatique. En chaque point, la force de pression du gaz qui tend à le dilater compense exactement la force de gravité qui, au contraire tend à le contracter. Cet état d'équilibre explique la forme sphérique du Soleil. C'est au centre du Soleil que la température est maximale : 15,5 millions de degrés Celsius. La pression atteint 340 milliards de fois la pression atmosphérique terrestre. La densité est de 158 tonnes par mètre cube. La température diminue progressivement à mesure que l'on se rapproche de la surface. Dans la photosphère, épaisse de 500 km, d'où provient toute la lumière visible, la température est de 5800 °C. Puis la température remonte pour atteindre environ 100 000°C dans la première couche de l'atmosphère raréfiée du Soleil épaisse de 2500 km que l'on appelle la chromosphère. La température atteint 1 à 2 millions de degrés Celsius dans la haute atmosphère du Soleil, la couronne, qui s'étend sur quelques millions de km.



Bilan énergétique du Soleil

Il est le fournisseur quasi-exclusif d'énergie pour la surface de la Terre. Cette énorme boule gazeuse est constituée principalement d'hydrogène. La température en son centre s'élève jusqu'à 15 millions de degrés.

La transformation de l'hydrogène en helium par fusion nucléaire s'accompagne d'une libération colossale d'énergie par seconde :

$$3,83 \cdot 10^{26} \text{ watts,}$$

Plus de 100 millions de milliards de centrales nucléaires modernes. Cette énergie solaire inonde son environnement planétaire sous forme d'un rayonnement électromagnétique qui traverse l'espace à la vitesse de 300 000 km/s en s'affranchissant de tout support matériel.

La Terre, du fait de l'éloignement de son étoile (150 millions de kilomètres en moyenne) et de la surface bien modeste qu'elle lui présente, n'intercepte qu'une part infime de ce prodigieux gisement.

Pourtant, cette énergie est un carburant suffisant pour entretenir la dynamique de la vie et du climat.

Bilan énergétique du Soleil: quelques chiffres

La formule $E = m.c^2$ nous montre que le Soleil transforme en énergie (il s'allège) à chaque seconde 4,6 millions de tonnes (brûle presque 1 milliard de tonnes d'hydrogène, le rendement (énergie de liaison qui est la partie de la masse transformée en énergie) de la fusion étant inférieur à 0,7% pour le bilan $4 \text{ protons} \rightarrow \text{He}$).

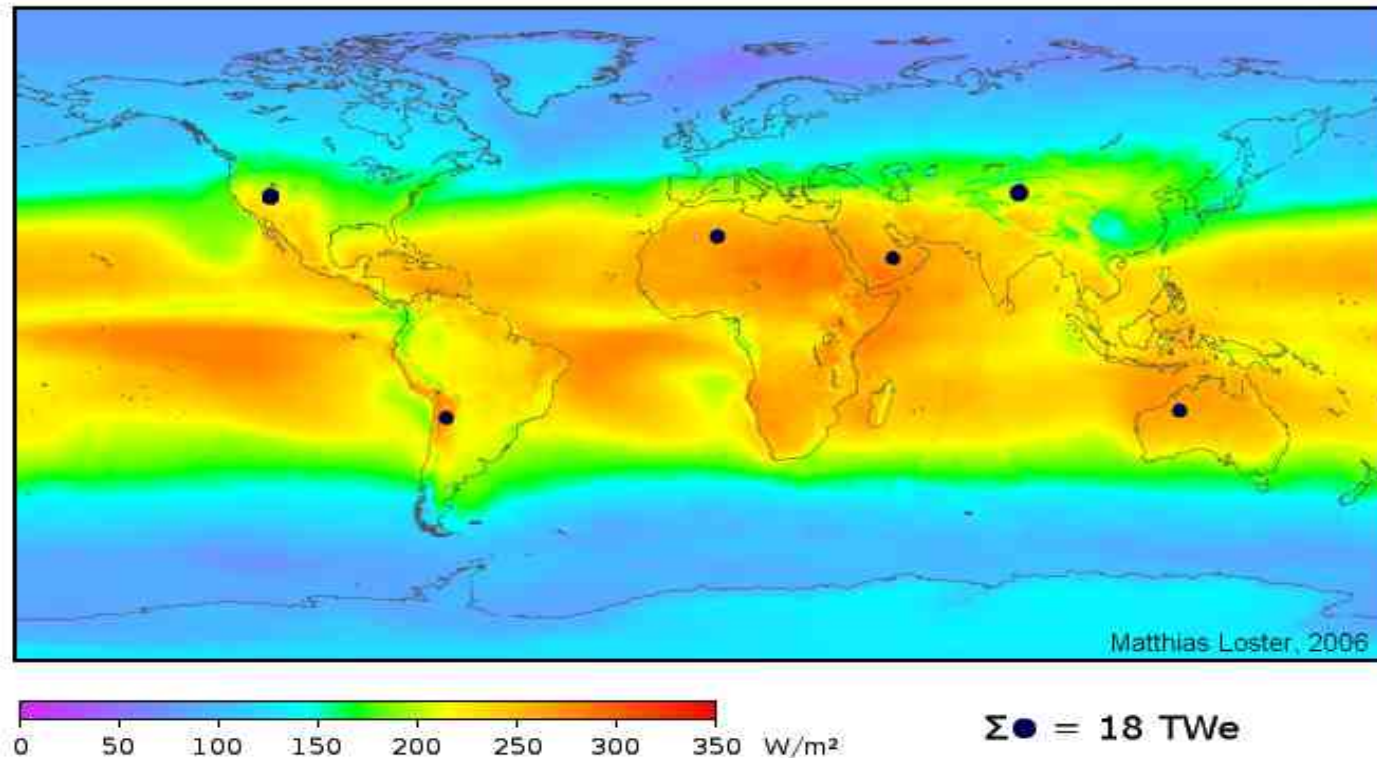
Depuis sa naissance (il y a 4 milliards d'années environ) il a transformé en énergie $1,5 \cdot 10^{26}$ kg soit environ la masse de 25 Terres (La Terre pèse $6 \cdot 10^{24}$ kg). La masse du Soleil est de 330 000 fois celle de la terre.

Il a donc transformé en énergie moins de 0,01 % de sa masse (il a probablement perdu plus que cela en éjection de matière) et cela a concerné environ 1% d'hydrogène.

En période de grand froid EDF indiquait que la consommation électrique pouvait dépasser sa capacité de production qui est de 90 Gigawatts environ (dont 60% nucléaire).

Cela correspond environ à la puissance solaire reçue sur environ 360 km².

L'énergie reçue par la Terre



Le soleil est à l'origine de la majeure partie de l'énergie sur notre planète : celle qui est nécessaire aux usines, à la circulation de l'atmosphère et de l'eau, à la chaleur indispensable à la vie. Aucun de ces phénomènes n'existerait sans lui. Si on néglige l'absorption par l'atmosphère, chaque mètre carré au niveau de l'orbite terrestre, face au soleil, reçoit , **environ 1KW maximum, le jour, utilisable par un capteur idéal (100% rendement)** perpendiculaire aux rayons solaires, et ceci ne représente que 345 W par m² terrestre en moyenne sur 24H (4 fois moins) dont **250 W absorbé par la surface terrestre**). Cette quantité est dénommée **constante solaire** et les enregistreurs embarqués à bord des satellites de la NASA entre 1979 et 99 n'en ont montré que des variations de l'ordre de 0.2%.

Le Soleil et la Terre

Globalement la terre reçoit en permanence une **puissance** de 170 millions de giga watt, elle en absorbe 122 (100 millions de centrales nucléaires) et réfléchit le reste.

L'**énergie** totale absorbée sur une année est donc 3 850 zettajoules (10^{21} joules, ZJ) ; par comparaison,

- La photosynthèse capte 3 ZJ,
- Le vent contient 2,2 ZJ,
- L'ensemble des usages humains de l'énergie, 0,5 ZJ dont 0,06 ZJ sous forme d'électricité.

Les zones désertiques, où la nébulosité est faible et qui sont situées sous des latitudes proches de l'équateur, sont les plus favorables à l'énergie solaire.

Celles qui sont relativement proches de zones de consommation importantes dans les pays développés disposant de la technique sophistiquée requise pour capter l'énergie solaire voient des réalisations de plus en plus importantes, comme le **désert des Mojaves** (Californie) où se trouve une centrale solaire d'une puissance totale de 354 MW.

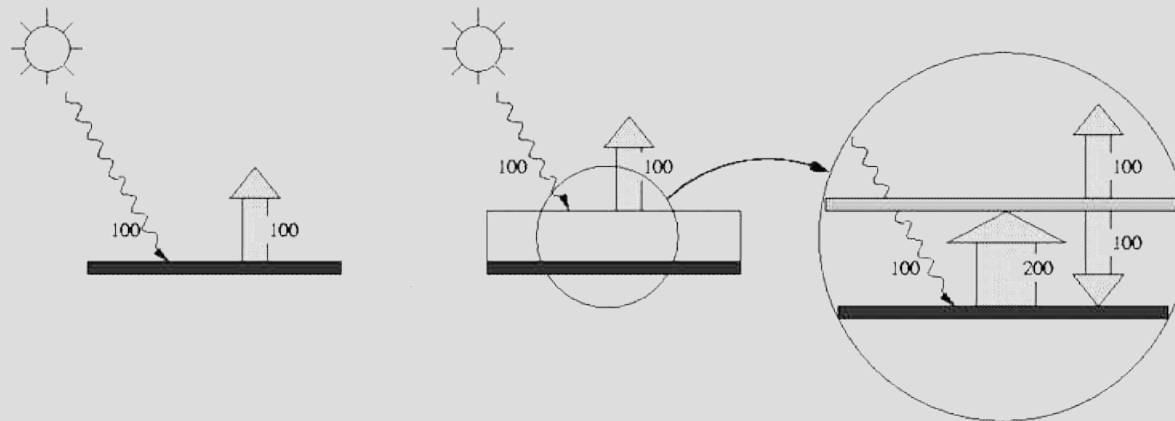
Le Soleil et la Terre



Centrale solaire en [Californie](#) (Kramer Junction)

L'effet de Serre

L'effet de serre repose sur le fait que certains matériaux ont des propriétés très différentes dans ces deux domaines spectraux. C'est notamment le cas des matériaux utilisés pour les vitres (verre, plexiglas, polycarbonate...) qui sont transparents au rayonnement solaire mais qui absorbent le rayonnement infrarouge. Prenons une plaque noire dont la face arrière est isolée thermiquement. On ne considère que les échanges radiatifs (les échanges par convection et conduction sont supposés négligeables).



(a) : si la plaque est seule, elle reçoit et absorbe le rayonnement solaire. Cette puissance absorbée vaut 100 dans une unité arbitraire. A l'équilibre thermique, les puissances reçues et perdues par la plaque sont égales, et la puissance du rayonnement infrarouge émis par la plaque vaut également 100 dans nos unités.

(b) : on recouvre la plaque par une vitre parfaitement transparente au rayonnement solaire et parfaitement opaque au rayonnement infrarouge lointain. A l'équilibre thermique, le système "vitre-plaque" perd comme précédemment autant d'énergie qu'il en gagne. La seule différence est que maintenant c'est la vitre qui a émis le rayonnement infrarouge car, comme elle est parfaitement opaque à ce rayonnement, aucun rayonnement émis par la plaque ne peut être reçu à l'extérieur.

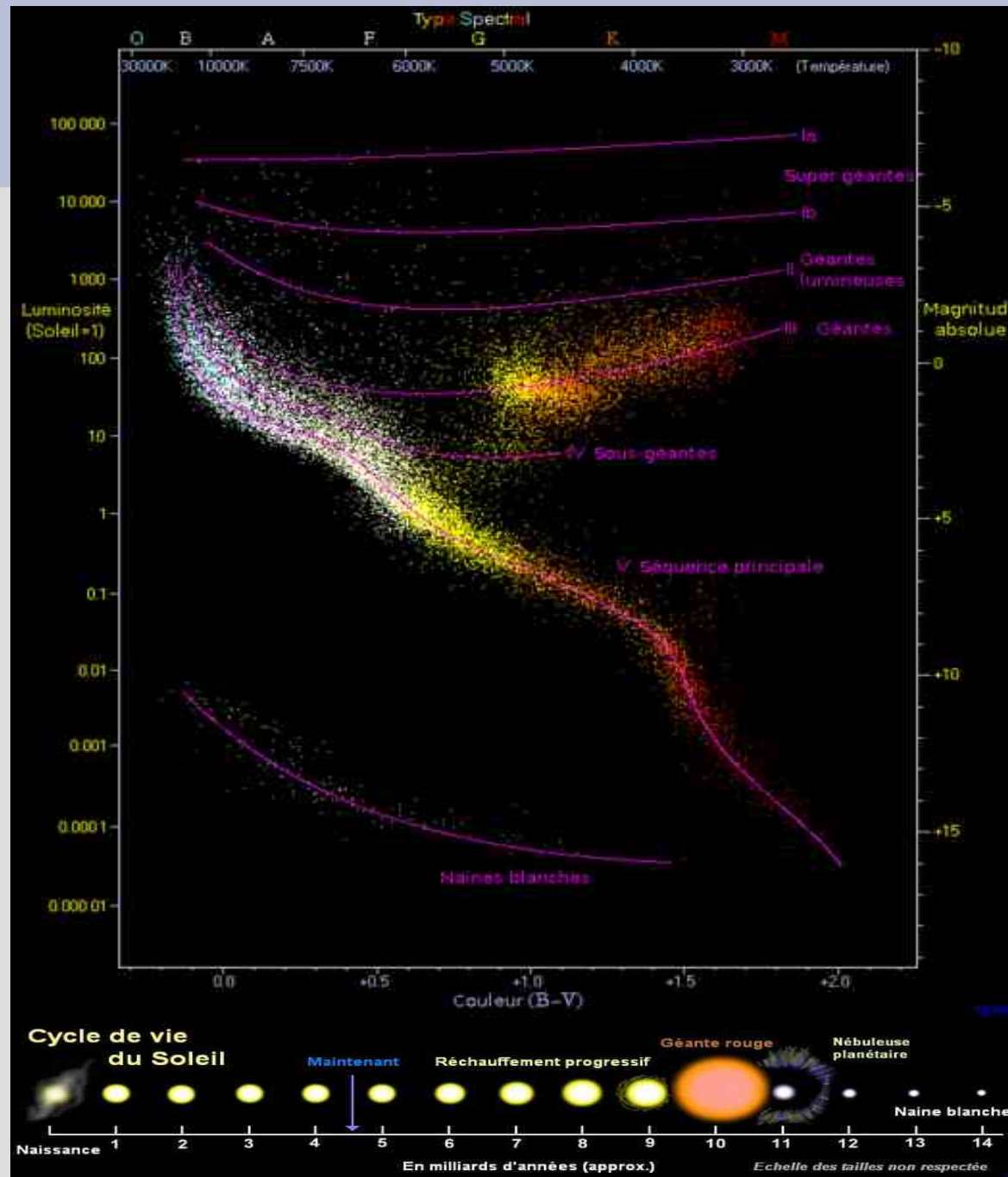
(c) : regardons maintenant les échanges à l'intérieur du système "vitre-plaque". Si la vitre émet 100 vers l'extérieur, par raison de symétrie elle émet également 100 vers la plaque. Celle-ci reçoit donc en plus du rayonnement solaire le rayonnement infrarouge émis par la vitre. A l'équilibre thermique, la plaque doit perdre par rayonnement infrarouge autant d'énergie qu'elle en gagne, c'est-à-dire 200 dans nos unités. On peut vérifier que la vitre est alors aussi en équilibre : elle reçoit 200 et émet 200 (100 vers l'extérieur, 100 vers la plaque).

Un observateur qui regarde de loin n'est pas capable de savoir si notre plaque est recouverte ou non par une vitre car dans les deux cas il reçoit un même rayonnement infrarouge. La situation de la plaque est différente puisque dans le cas a, elle émet 100 alors que dans le cas b, elle émet 200. Cette émission plus grande se fait via une augmentation de la température de la plaque.

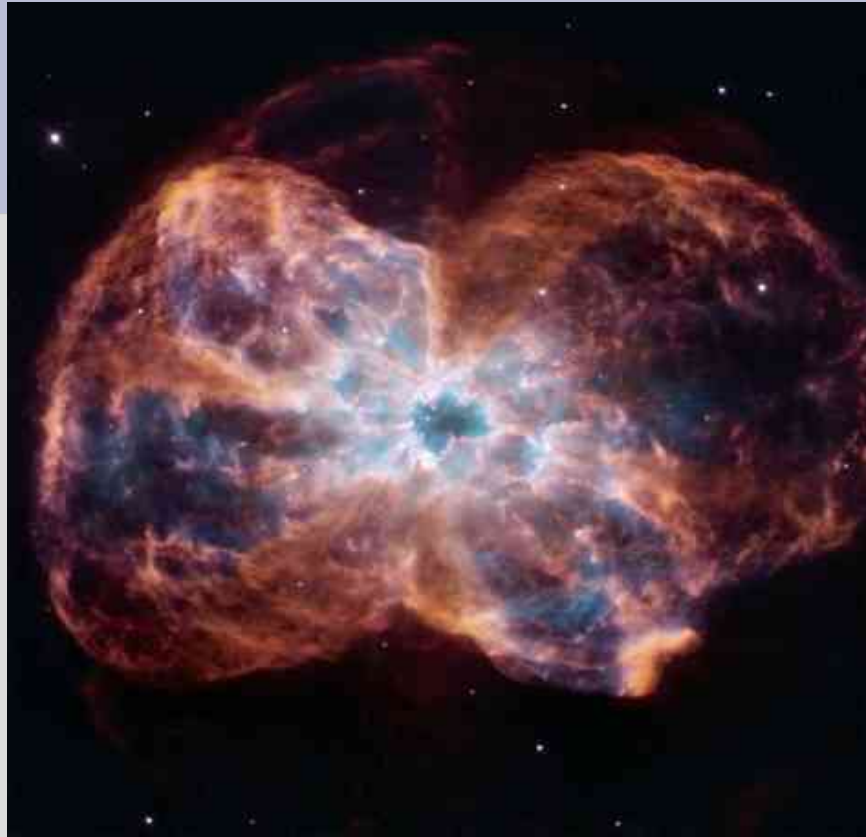
L'effet de Serre élève la température de la Terre de 30°C

- Les gaz atmosphériques à effet de serre
- Sur Terre, les constituants qui interviennent dans l'effet de serre naturel sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, méthane... Le rayonnement solaire, essentiellement visible, est réfléchi à 30 % par l'atmosphère et le sol, 20 % est absorbé par l'ozone et la vapeur d'eau. Les 50 % restant, sont absorbés par la surface puis réémis sous forme de rayonnement infrarouge. Certains auteurs parlent de rayonnement infrarouge tellurique.
- L'atmosphère terrestre absorbe alors 95% de ce rayonnement infrarouge tellurique (50 % par la vapeur d'eau, 25 % par le dioxyde de carbone, le reste par le méthane, l'ozone (qui a une bande d'absorption à 11,4 μm , les nuages...) puis réémet toujours dans l'infrarouge un rayonnement contribuant à l'échauffement du sol.
- Lorsqu'un corps absorbe à une fréquence donnée, il émet aussi et son émissivité est monochromatique et égale à son absorption. Donc pour un corps à une température donnée, le spectre d'émission est égal au spectre d'absorption. C'est essentiellement le rayonnement tellurique qui est absorbé par le CO_2 , dans la bande à 15 μm . Notez que dans la région à 4 μm , les énergies radiatives solaire et tellurique sont toutes les deux très faibles.
- Cet effet de serre est important car il permet à la température de surface de la Terre d'être environ 30 °C plus élevé que si l'atmosphère n'était pas présente. On estime que la vapeur d'eau est responsable d'un effet de serre naturel de + 20°C alors que le CO_2 contribue à une élévation de la température d'équilibre à la surface de la Terre de + 10°C. Les gaz atmosphériques qui interviennent dans l'effet de serre sont très minoritaires : ils constituent moins de 1 % de l'atmosphère.

Evolution des étoiles et du Soleil en particulier



Mort du Soleil: Du grand spectacle!



Le destin des étoiles dépend largement de leurs masses et la nébuleuse NGC 2440 a été produite par un astre similaire au Soleil. Cette scène visualise donc la nébuleuse que générera notre étoile à la fin de sa vie, dans environ cinq milliards d'années.

Il est à craindre que nous ne puissions pas assister à ce spectacle grandiose, la Terre (et ses habitants) ayant probablement disparu avant, sauf si nous avons réussi à nous en échapper bien avant.

**En attendant, profitons en pour apprécier son spectacle
(plus modeste) habituel**

