

# Chapitre I. Les éléments chimiques dans l'Univers

## 1. Formation des éléments chimiques

### 1.1. Les éléments chimiques dans l'Univers

*Prérequis sur les éléments chimiques : noyaux, atomes et réactions nucléaires (quiz révisions)*

Nucléons (p + n)

${}^A_Z X$  avec A : nombre de masse (nucléons) Z : numéro atomique (charge protons)

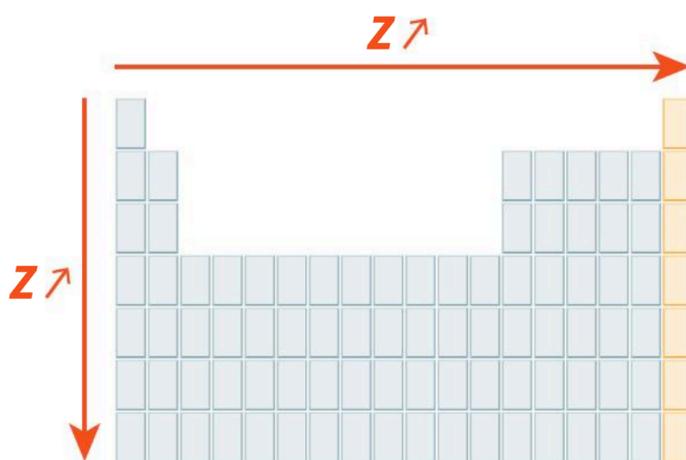
Isotopie (donner exemple Hydrogène) et origine de la radioactivité

Eléments de base :

${}^1_1 H$  (hydrogène)  ${}^2_1 H$  (deutérium) et  ${}^3_1 H$  (tritium)

${}^4_2 He$  (hélium = particule alpha)

L'Univers est formé de 118 éléments chimiques différents (Table périodique de Mendeleïev). L'hydrogène H est l'élément chimique le plus abondant : il représente à lui seul près de 75 % des atomes présents dans l'Univers. Le deuxième élément le plus abondant est l'hélium He.



Ressource numérique Classification périodique

[http://www.cite-](http://www.cite-sciences.fr/archives/francais/ala_cite/expo/tempo/aluminium/science/mendeleiev/)

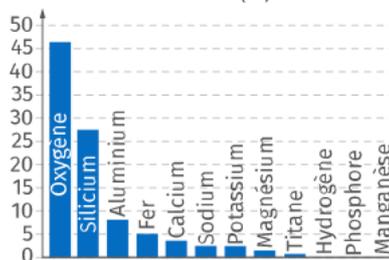
[sciences.fr/archives/francais/ala\\_cite/expo/tempo/aluminium/science/mendeleiev/](http://www.cite-sciences.fr/archives/francais/ala_cite/expo/tempo/aluminium/science/mendeleiev/)

Ressources illustrations <https://www.lelivrescolaire.fr/page/6812096>



Abondance des éléments chimiques dans l'Univers.

Concentration relative (%)



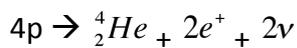
Abondance des éléments chimiques dans la croûte terrestre.

Sur Terre, on a observé 94 éléments chimiques à l'état naturel, 24 autres ont été créés artificiellement.

Les éléments sont répartis de manière inégale dans l'Univers : on trouve majoritairement de l'hydrogène et de l'hélium dans les étoiles, tandis que la Terre est formée principalement d'oxygène et de silicium.

## 1.2. La formation des éléments chimiques : la fusion nucléaire

Selon les théories les plus récentes, les premiers atomes ont été formés quelques minutes après le « Big Bang ». L'Univers était alors extrêmement chaud ( $10^9$  K) et dense, les particules élémentaires se sont agglomérées pour former des noyaux d'hydrogène, de deutérium, d'hélium et de lithium. Cette réaction nucléaire est appelée **fusion nucléaire primordiale**.



Dans une étoile, on trouve principalement de **l'hydrogène** et de **l'hélium**. Les éléments chimiques sont formés dans les étoiles au cours d'un ensemble de processus appelé **nucléosynthèse stellaire**.

Les autres éléments sont ainsi formés au sein des étoiles, formées par accréation des atomes créés lors du Big Bang. Les noyaux légers fusionnent et produisent des noyaux plus lourds. On y trouve ainsi plusieurs éléments comme l'oxygène (Z=8), le carbone (Z=6), mais aussi des noyaux plus lourds comme le fer (Z=26).

Ces éléments chimiques sont dispersés à la fin de la vie de l'étoile.

Doc/Activité 1. Réaction triple alpha

Doc/Activité 2. Cycle CNO

Les mécanismes de la fusion

<http://www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/physique-chimie/fusions-mecanismes-fusion.aspx>

La fusion au cœur des étoiles

<http://www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/physique-chimie/fusions-fusion-au-coeur-des-etoiles.aspx>

Attention : Distinguer fission/fusion

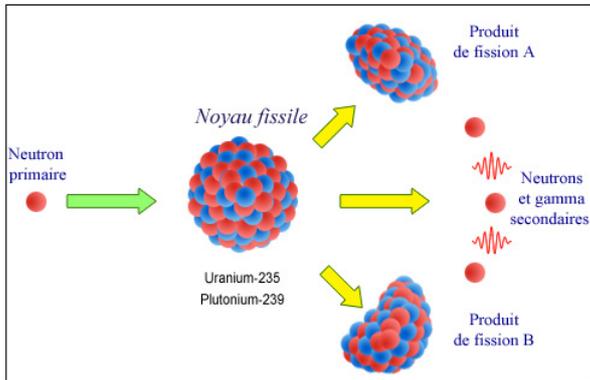


Schéma Fission

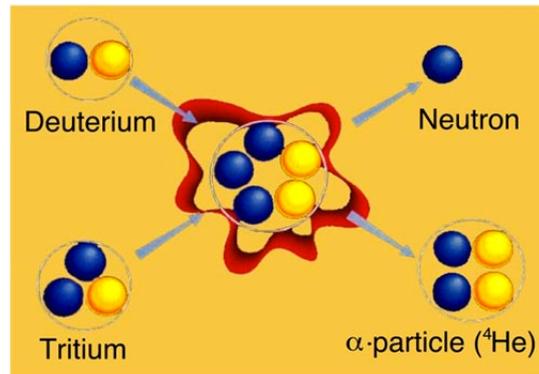
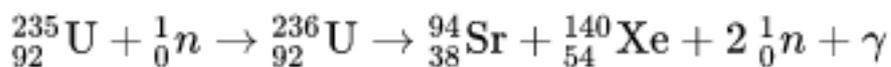


Schéma fusion

Une équation de fission nucléaire : exemple de l'uranium-235



## 2. Le rayonnement solaire

### Objectifs :

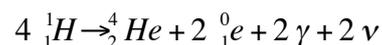
- Connaître l'origine de l'énergie solaire et du rayonnement émis
- Exploiter la relation d'équivalence entre masse et énergie
- Comprendre le rayonnement de corps noir et exploiter la loi de Wien
- Relier le rayonnement émis et la température de surface du Soleil

Activité de démarrage Nathan pp 94-97

### 2.1. Energie libérée par le Soleil

L'énergie libérée par les réactions de fusion nucléaires de l'hydrogène qui se produisent dans les étoiles comme le Soleil les maintient à une température très élevée. Dans le cas du soleil, la température en son centre est de l'ordre de 15 millions de degrés ; celle de sa surface de l'ordre de 6 000 degrés.

Ce sont ces conditions de température et de pression qui permettent aux réactions de fusion nucléaire de se produire ; notamment celles de fusion successives de l'hydrogène en hélium, que l'on peut résumer :



Rappels : Le positron : charge électrique de +1, même masse que l'électron.

Le neutrino  $\nu$  : charge nulle et masse très faible.

Le photon gamma  $\gamma$  : photon très énergétique.

Lors de cette réaction, la somme des masses des produits est très légèrement inférieure à celle des réactifs. Ce *déficit de masse*  $\Delta m$  est à l'origine de l'énergie dégagée par le Soleil sous forme de rayonnement. Elle peut se calculer grâce à la relation d'Einstein :

$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$  où  $\Delta E$  s'exprime en joule (J),  $\Delta m$  en kg et  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  célérité de la lumière dans le vide

Ainsi, chaque seconde, le Soleil voit sa masse diminuer de quelque quatre millions de tonnes, au profit d'une émission de rayonnement important.

## 2.2. Emission de rayonnement de type émission de corps noir

Définition : Le corps noir est un corps idéal qui absorbe toutes les radiations électromagnétiques qu'il reçoit (aucune réflexion n'est possible). La loi de Planck indique que lorsque ce type de corps émet un rayonnement d'origine thermique, celui-ci ne dépend que de la température du corps.

- Le spectre du Soleil montre qu'il se comporte en première approximation comme un corps noir. Il émet un rayonnement dont le spectre continu possède l'allure présentée à la Figure 1
- Le spectre d'émission dépend uniquement de la température de surface du Soleil. La loi de Wien (propre aux corps noirs) permet de lier la longueur d'onde d'intensité maximale en fonction de la température :

$$\lambda_{\max} = \frac{2,89 \times 10^6}{T} \quad \text{avec } \lambda \text{ en nm et } T \text{ en K}$$

La Figure 2 présente plusieurs spectres de corps noir pour des objets de différentes températures.

La relation de Wien permet de déterminer la température de surface  $T$  du Soleil : connaissant, grâce à son spectre, la longueur d'onde d'émission maximale  $\lambda_{\max}$

On trouve d'après la Figure 1  $\lambda_{\max}(\text{soleil}) = 490 \text{ nm}$ . D'après la loi de Wien cela correspond à une  $T^\circ$  de surface de  $T = \frac{2,89 \times 10^6}{490} \approx 5900 \text{ K}$

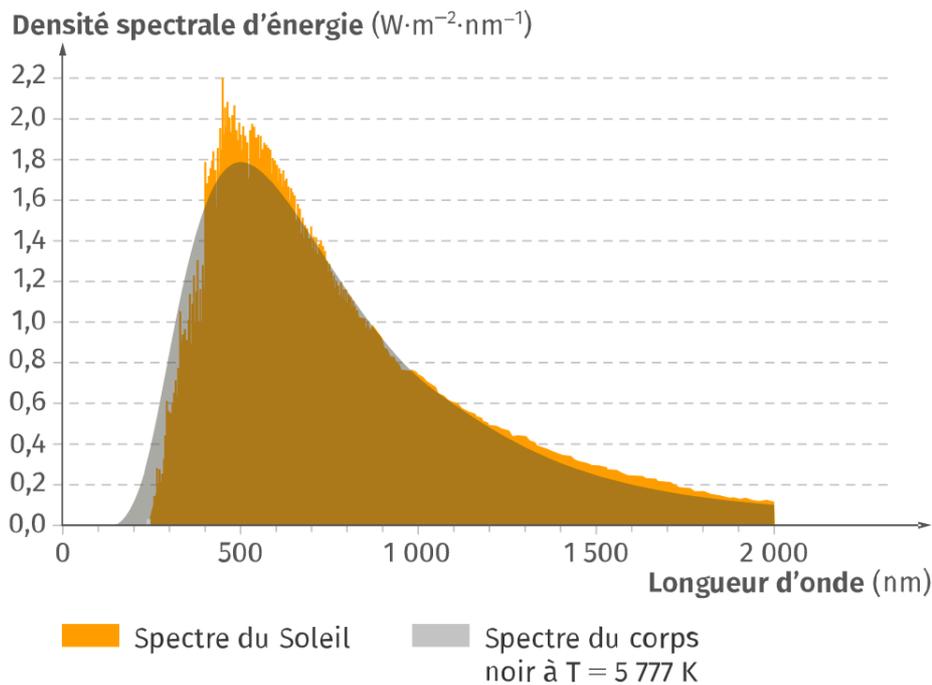


Figure 1. Spectre d'émission du Soleil

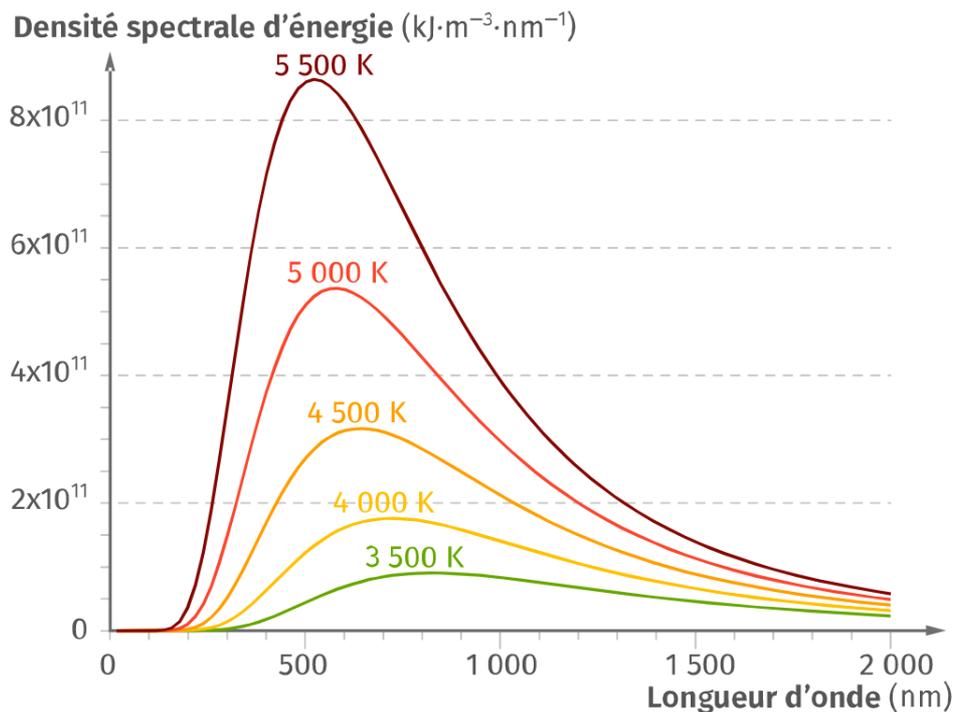


Figure 1. Spectres d'émission de corps noir pour différentes températures de l'objet

→ Plus la température de surface de l'étoile augmente, plus le spectre se décale vers les longueurs d'onde courtes (décalage du rouge vers le violet lorsque la température augmente). Ainsi les étoiles émettant un rayonnement de couleur bleue ont une température de surface plus grande que celles émettant un rayonnement de couleur rouge.

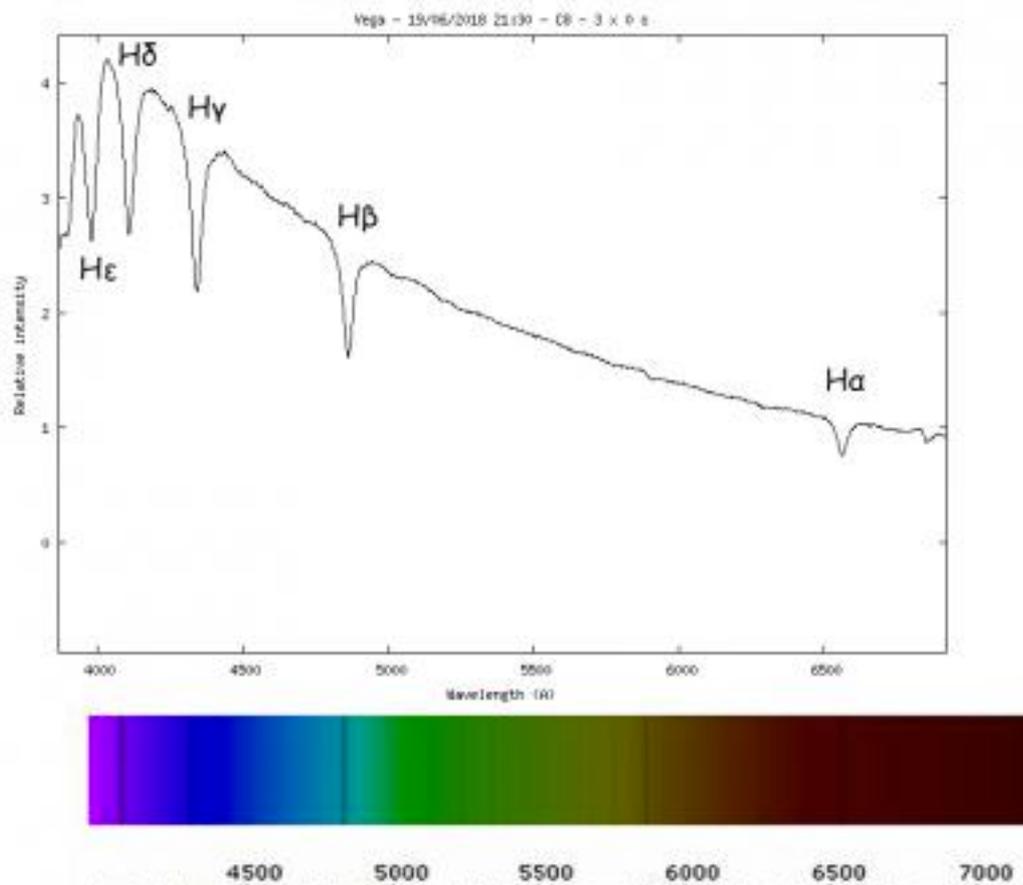
### 2.3. Voir la matière dans l'Univers

Les astrophysiciens identifient les éléments chimiques présents dans l'Univers en analysant leurs **spectres lumineux**.

<http://www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/physique-chimie/spectre.swf>

Le spectre observé est la superposition d'un **spectre d'émission** (source du rayonnement d'origine thermique) et de **raies d'absorption** (parties absorbées par les différents éléments traversés par le rayonnement).

Type A: Etoiles chaudes, spectre dominé essentiellement par les raies de l'Hydrogène.



### Spectre de Véga réalisé avec un réseau Star Analyser 100.

La longueur d'onde des raies d'absorption permet d'identifier les éléments chimiques.

Dans le cas du Soleil, ces raies sont également appelées raies de Fraunhofer, du nom du physicien et opticien allemand qui les a observées pour la première fois au XIX<sup>e</sup> siècle.

Activité : reconnaître les éléments présents dans une étoile

[http://news.jacquinet-physiquechimie.fr/animations/App\\_spectre\\_etoile/App\\_spectre.html](http://news.jacquinet-physiquechimie.fr/animations/App_spectre_etoile/App_spectre.html)

### 3. La désintégration des noyaux radioactifs : la radioactivité

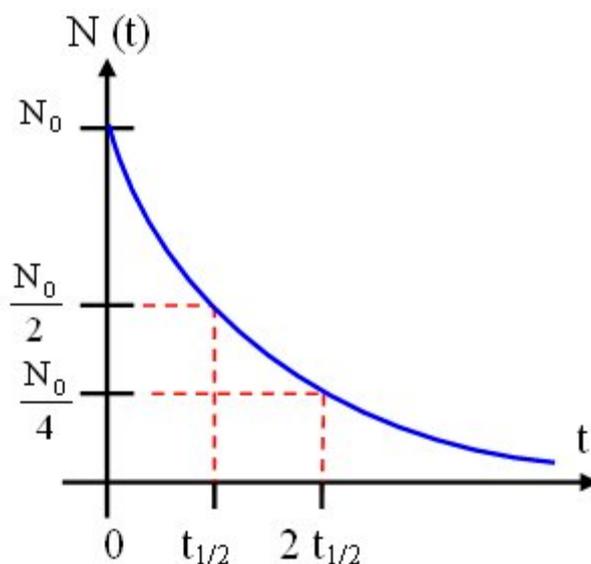
Introduction Documentaire audio France Inter <https://www.franceinter.fr/emissions/sur-les-epaules-de-darwin/sur-les-epaules-de-darwin-23-aout-2019>

Certains noyaux sont instables : on dit qu'ils sont **radioactifs** car ils se **transmutent** naturellement en d'autres atomes en émettant d'autres particules (électrons, noyaux d'hélium) ou des rayonnements (gamma).

La radioactivité est aléatoire, inéluctable, spontanée et indépendante de la substance dans laquelle le noyau se trouve.

La « population » de noyaux radioactifs d'un échantillon décroît au cours du temps, selon une **loi exponentielle** caractérisée par le fait que cette **population est divisée par deux** au bout d'une durée appelée « **demi-vie** » (ou « **période radioactive** »).

$$N_t = N_0 \times \exp^{-\frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \cdot t}$$
 où  $N_t$  est le nombre de noyaux restant au bout d'un temps  $t$  ;  $N_0$  étant le nombre de noyaux initialement présents au temps de référence  $t_0$  ; et  $t_{1/2}$  la demi-vie du noyau en question.



Activité/exercice d'application : la datation au carbone-14

Capsule vidéo : Voir les rayonnements : la chambre à brouillard  
<http://irfu.cea.fr/Phoce/Video/index.php?id=103>