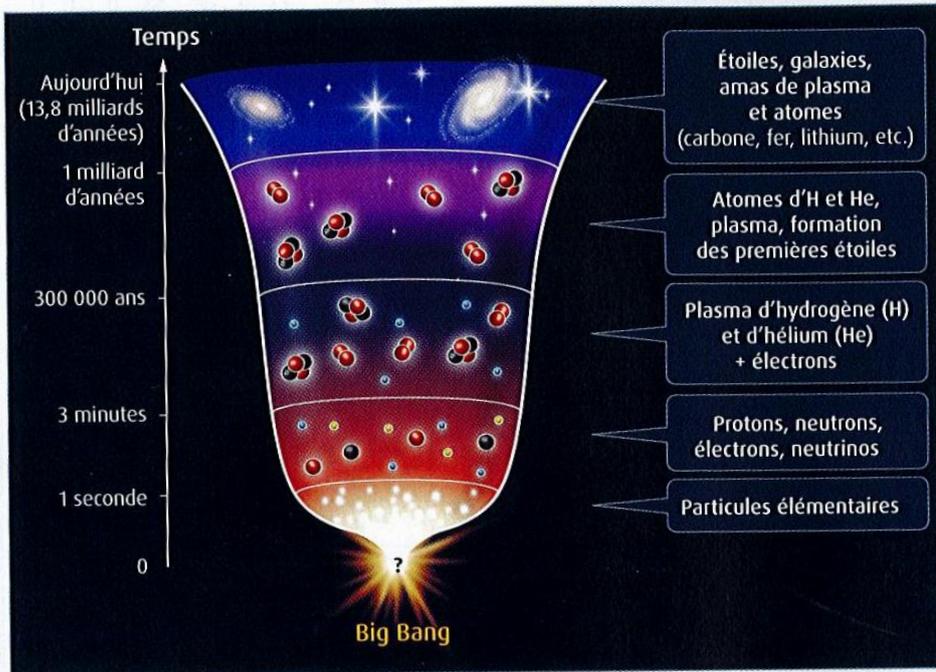


Ch1 : Un niveau d'organisation : Les éléments chimiques

La matière qui nous entoure est complexe et diverse. Nous avons désormais une bonne connaissance des processus qui ont produit cette matière au cours des âges de l'Univers. (visionner le film: La vraie Big Bang théorie)



DOC 1 Chronologie de la formation de l'Univers.

La naissance de l'Univers a eu lieu il y a 13,8 milliards d'années lors du Big Bang. L'Univers s'est ensuite développé en plusieurs étapes.

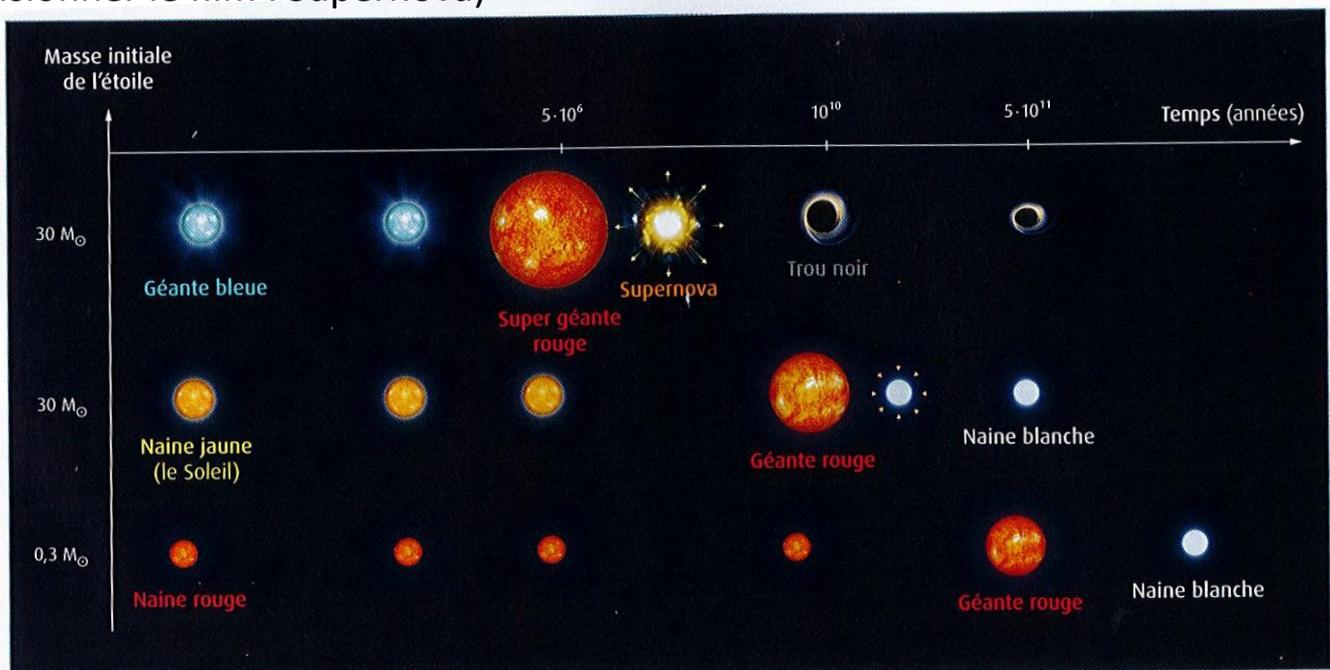
Histoire des sciences

Article B²FH

En 1957, un article intitulé *Synthesis of Elements in Stars* explique pour la première fois que les étoiles fabriquent les éléments chimiques grâce à des réactions nucléaires. On parle de nucléosynthèse stellaire. Parmi ces réactions, la fusion nucléaire produit, à partir de plusieurs éléments, un élément plus lourd (de nombre de masse A plus grand), et la fission nucléaire produit, à partir d'un seul élément, plusieurs éléments plus légers. Cet article est connu sous l'acronyme B²FH, composé des initiales de ses auteurs: Margaret et Geoffrey Burbidge, Fred Hoyle et William Fowler.

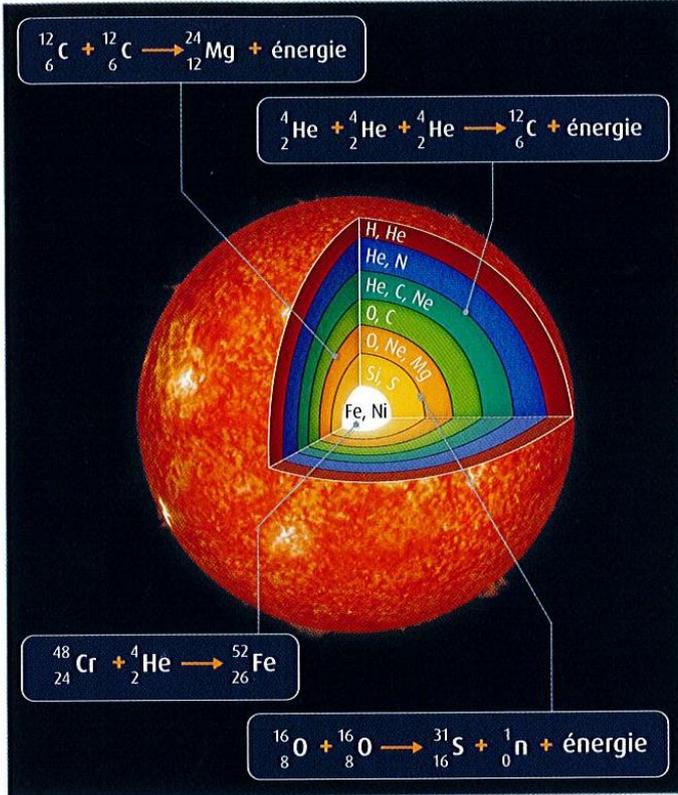
DOC 2 Naissance de la théorie de la nucléosynthèse stellaire.

(Visionner le film : Supernova)



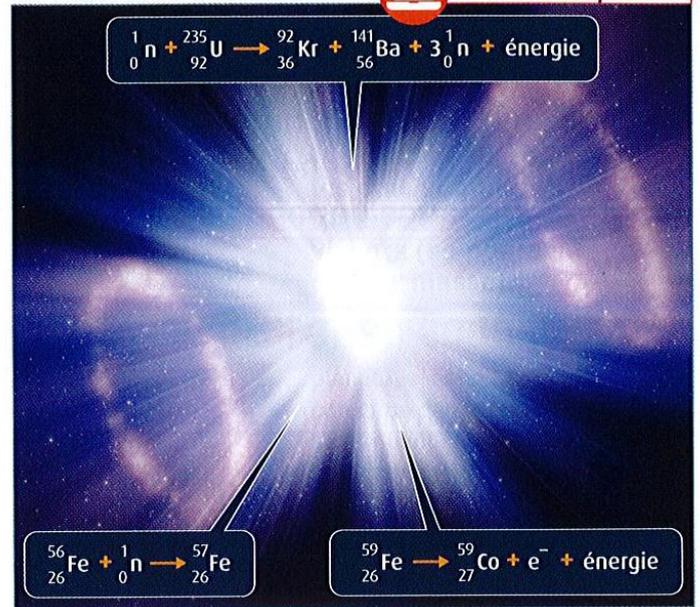
DOC 3 Étapes de vie de trois étoiles de masses initiales différentes. Les réactions qui ont lieu au cours de la vie d'une étoile sont des réactions de fusion qui libèrent de l'énergie. La géante bleue synthétise les éléments jusqu'au fer, la naine jaune les éléments jusqu'au carbone, et la naine rouge ne synthétise que de l'hélium. La masse des étoiles s'exprime en «masse solaire», c'est-à-dire en multiples de la masse du Soleil. Le Soleil a pour masse $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ kg.

(Visionner le film : Fusion)

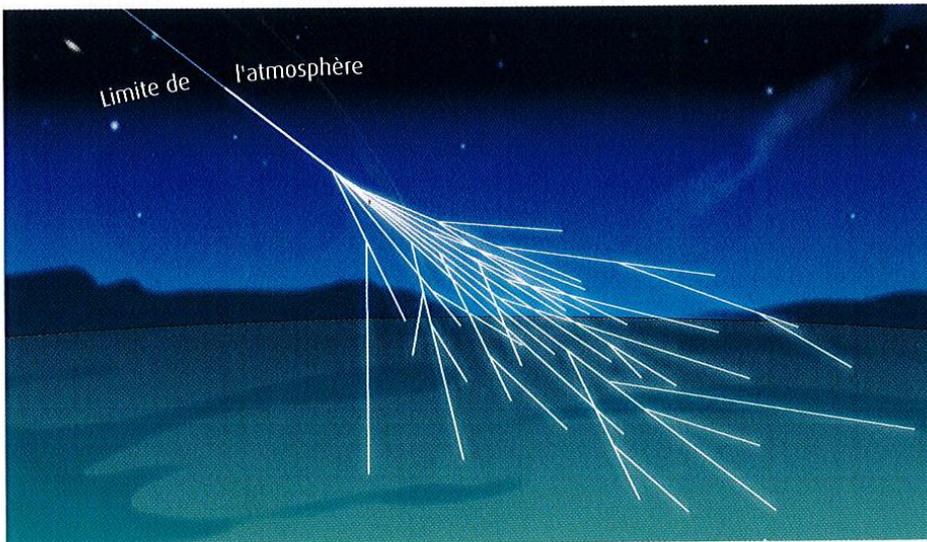


DOC 4 Structure d'une super géante rouge juste avant son explosion. Au sein d'une étoile massive, les éléments se répartissent en couches. Les réactions qui produisent des éléments de plus en plus lourds ont lieu aux interfaces entre deux couches. Quatre exemples de réactions sont donnés ici.

Animation supernova



DOC 5 Explosion de supernova. À la fin de vie d'une étoile massive, son cœur est constitué de fer, l'élément le plus stable du point de vue des réactions nucléaires, et il n'y a donc plus de réaction et de production d'énergie. Par conséquent, l'étoile s'effondre sur elle-même sous l'effet de la gravité. Une quantité d'énergie considérable est libérée, et une onde de choc expulse les couches externes de l'étoile. On parle d'explosion de supernova. Ont alors lieu une grande variété de réactions nucléaires (capture nucléaire, désintégration, fusion, fission) qui créent presque tous les éléments chimiques. C'est la nucléosynthèse explosive. Trois exemples de réactions sont donnés ici.



DOC 6 Les rayons cosmiques à l'origine de trois éléments. La synthèse et l'abondance dans l'Univers des éléments lithium (Li), béryllium (Be), et bore (B) fut longtemps un mystère. On sait désormais qu'ils sont créés par les rayons cosmiques, essentiellement des protons de haute et ultra-haute énergie. Le rayon cosmique « casse » un noyau plus lourd pour former, entre autres, du Li, Be ou B.

Corrigé Activité :

1 . Déterminer quels éléments chimiques sont apparus en premiers dans l'Univers.

Les premiers éléments chimiques apparus dans l'Univers sont H puis He, dans les 300 000 premières années après le Big Bang. Les éléments plus lourds sont synthétisés dans les Etoiles.

2. Identifiez les fusions et les fissions nucléaires parmi les sept exemples de réactions

Les fusions sont des réactions dont les produits ont un nombre de nucléons plus grand que les éléments initiaux : c'est le cas de toutes les réactions du doc 4 et de la réaction du Fe + n dans le doc 5.

Les fissions sont des réactions dont les produits, au contraire, ont un nombre de nucléons plus faible. C'est le cas de la réaction n + U dans le doc 5. Les réactions évoquées dans le doc 6 s'apparentent à des fissions également.

3. Précisez quels éléments sont créés lors des événements suivants :

- Vie d'une étoile: **plus l'étoile possède une masse importante, plus des éléments lourds peuvent y être synthétisés, jusqu'au Fe et Ni en toute fin de vie.**
- Big Bang: **H et He.**
- Rayonnement cosmique: **par spallation, synthèse des éléments Li, Be, B, par exemple $p + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{10}\text{Be} + 4\text{He} + e^+ + \nu$.**
- Explosion de supernova: **par capture neutronique, fissions, fusions, désintégrations variées, tous les éléments plus lourds ou plus légers y sont synthétisés.**

4. Expliquez alors pourquoi plus un atome est lourd moins il est présent dans l'univers.

Plus un atome est lourd, moins il est présent : exception faite des éléments Li, Be, B, on note nettement cette tendance dans le document 3 p. 16.

Schématiquement, un noyau de nombre de masse donnée est issu d'un noyau de nombre de masse plus faible. A partir de l'hydrogène initial, une partie des noyaux participe aux réactions de synthèse de l'hélium, dont une partie participe également aux réactions de synthèse d'azote, de carbone, etc. Par ailleurs, si toutes les étoiles synthétisent de l'hélium, seules les plus massives synthétisent les éléments les plus lourds, qui sont donc moins abondants.

Exercices

1 Vrai/faux

Identifiez les affirmations fausses et rectifiez-les.

- Plus un atome est lourd, plus il est présent dans l'Univers.
- La fusion nucléaire produit, à partir de plusieurs éléments, un élément plus lourd.
- La Terre est principalement composée de carbone.
- Il existe de la matière organique ailleurs que sur Terre.
- Le temps de demi-vie est identique pour tous les éléments radioactifs.

2 QCM

Pour chaque proposition, identifiez la bonne réponse.

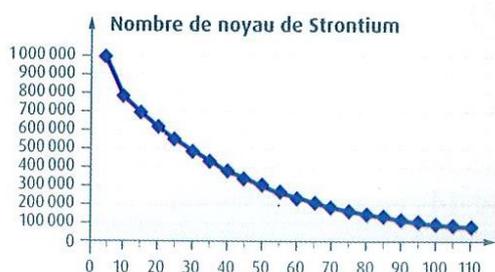
1. L'hélium et l'hydrogène se sont initialement formés :

- dans les étoiles
- juste après le Big Bang
- dans les comètes
- lors de la formation du système solaire

2. On peut utiliser la datation au carbone 14 pour des échantillons :

- issus des premiers instants de la Terre
- datant de l'Antiquité
- vieux de quelques jours

3. D'après la courbe ci-dessous, on peut dire que le strontium 90 a une demi-vie de :



4. La matière organique est :

- riche en eau
- présente seulement chez les êtres vivants
- présente ailleurs que sur Terre
- faite d'éléments chimiques qu'on ne trouve pas dans la matière minérale

5. Les étoiles massives synthétisent pendant leur vie :

- tous les éléments chimiques
- l'hydrogène
- les éléments jusqu'au fer
- les éléments plus lourds que le plomb

6. Les êtres vivants sont principalement constitués :

- d'hélium, d'hydrogène, de carbone et d'oxygène
- de fer, d'oxygène, de silicium et de magnésium
- de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote
- de matière minérale

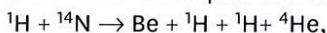
7. Après la mort d'un être vivant, son rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$:

- diminue
- augmente

4 Raisonner

Fusion ou fission ?

Voici deux réactions nucléaires qui participent à la synthèse d'éléments chimiques et à la production d'énergie :



qui prend place dans l'espace intersidéral



qui a lieu dans les étoiles massives.

On rappelle que le nombre total de nucléons ne change pas lors d'une réaction nucléaire.

QUESTION

Pour chaque réaction, complétez le numéro atomique Z et le nombre de masse A de chaque élément (cf. le tableau périodique sur le rabat de couverture) et indiquez s'il s'agit d'une réaction s'apparentant à une fission ou de fusion.

5 Extraire des données, représenter et calculer

Spectre d'abondance de la matière sèche

Le corps humain est constitué, en masse, à 65% d'eau. On cherche à établir le spectre d'abondance des éléments du corps pour un échantillon de matière sèche, c'est-à-dire un échantillon dont on a retiré l'eau.

AIDE

$$\text{Masse d'un élément (m)} = \frac{\text{masse molaire (M)}}{N_A}$$

$$\text{Avec } N_A = \text{nombre d'Avogadro} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

QUESTIONS

1. Identifiez les éléments ayant une abondance supérieure ou égale à 0,001%.
2. À l'aide d'un tableur, tracez le spectre d'abondance de ces éléments pour le corps humain, avec en abscisses le numéro atomique et en ordonnées le pourcentage.
3. Pour un individu de 70 kg, calculez la masse

Z	Symbole	Abondance	Z	Symbole	Abondance
1	H	10%	29	Cu	0,0002%
3	Li	$1 \cdot 10^{-7}\%$	30	Zn	0,0032%
4	Be	$1 \cdot 10^{-7}\%$	32	Ge	$1 \cdot 10^{-7}\%$
5	B	$1 \cdot 10^{-7}\%$	33	As	$1 \cdot 10^{-7}\%$
6	C	18%	34	Se	$1 \cdot 10^{-7}\%$
7	N	3%	35	Br	0,00029%
8	O	65%	37	Rb	0,00046%
9	F	0,0037%	38	Sr	0,00046%
11	Na	0,15%	40	Zr	0,0006%
12	Mg	0,05%	41	Nb	0,00016%
13	Al	$1 \cdot 10^{-7}\%$	42	Mo	$1 \cdot 10^{-7}\%$
14	Si	$1 \cdot 10^{-7}\%$	47	Ag	$1 \cdot 10^{-7}\%$
15	P	1%	48	Cd	$1 \cdot 10^{-7}\%$
16	S	0,25%	50	Sn	$1 \cdot 10^{-7}\%$
17	Cl	0,15%	51	Sb	$1 \cdot 10^{-7}\%$
19	K	0,2%	52	Te	$1 \cdot 10^{-7}\%$
20	Ca	1,5%	53	I	$1 \cdot 10^{-7}\%$

6 Analyser un document et rédiger



DOC 1 Étoiles et nuages
de poussières interstellaires.

QUESTION

Commentez cet extrait et expliquez le titre de l'ouvrage à la lumière de vos connaissances concernant la synthèse des éléments chimiques.

Poussières d'étoiles

En 1984, Hubert Reeves, astrophysicien et vulgarisateur scientifique québécois, publie *Poussières d'étoiles*. « Ce livre voudrait être une ode à l'univers. J'ai tenté de rendre hommage à sa splendeur et son intelligibilité, d'exprimer à la fois sa créativité, son inventivité, sa beauté et sa richesse. J'ai voulu donner à contempler et à comprendre », écrit-t-il pour présenter son ouvrage.

« Combien de temps faut-il pour engendrer un être intelligent ? Il faut d'abord faire des étoiles à partir de la purée initiale. Puis il faut que ces étoiles vivent leur vie et rejettent leur moisson d'atomes dans l'espace. Il faut ensuite que ces atomes se combinent en molécules et en poussières. Que ces grains de poussière s'accumulent en planètes rocheuses lors de la naissance d'une nouvelle étoile. Finalement, il faut assurer le

cours de l'évolution chimique et biologique de la planète. Nous connaissons plus ou moins bien la durée de chacune de ces opérations. En faisant la somme, on arrive à un minimum de plusieurs milliards d'années. Faut-il s'étonner que l'Univers ait déjà quatorze milliards d'années ? Il ne lui en faut pas moins pour engendrer un être capable de conscience, capable de lui demander son âge... »

DOC 2 Extrait de *Poussières d'étoiles* (éditions du Seuil).

