

Chapitre 1 : Les éléments chimiques

Programme : Un niveau d'organisation, les éléments chimiques

Savoirs	Savoirs-faire
<p>Les noyaux des atomes de la centaine d'éléments chimiques stables résultent de réactions nucléaires qui se produisent au sein des étoiles à partir de l'hydrogène initial.</p> <p>La matière connue de l'Univers est formée principalement d'hydrogène et d'hélium alors que la Terre est surtout constituée d'oxygène, d'hydrogène, de fer, de silicium, de magnésium et les êtres vivants de carbone, hydrogène, oxygène et azote.</p> <p>Certains noyaux sont instables et se désintègrent (radioactivité). L'instant de désintégration d'un noyau radioactif individuel est aléatoire. La demi-vie d'un noyau radioactif est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon macroscopique se soit désintégrée. Cette demi-vie est caractéristique du noyau radioactif.</p>	<p>Produire et analyser différentes représentations graphiques de l'abondance des éléments chimiques (proportions) dans l'Univers, la Terre, les êtres vivants. L'équation d'une réaction nucléaire stellaire étant fournie, reconnaître si celle-ci relève d'une fusion ou d'une fission.</p> <p>Calculer le nombre de noyaux restants au bout de n demi-vies Estimer la durée nécessaire pour obtenir une certaine proportion de noyaux restants. Utiliser une représentation graphique pour déterminer une demi-vie. Utiliser une décroissance radioactive pour une datation (exemple du carbone 14).</p>

COURS

Désintégration des noyaux radioactifs

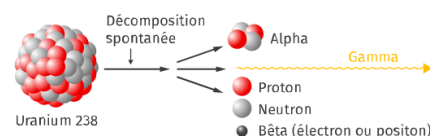
La radioactivité

Certains noyaux sont instables : on dit qu'ils sont radioactifs. La radioactivité est un phénomène naturel, qui résulte de la transmutation d'un noyau en un autre.

- Ainsi, les désintégrations successives ont contribué à la formation des 94 éléments chimiques que l'on trouve sur Terre.

Un noyau radioactif peut spontanément se désintégrer en émettant soit une particule α (noyau d'hélium), soit un électron, soit un positon.

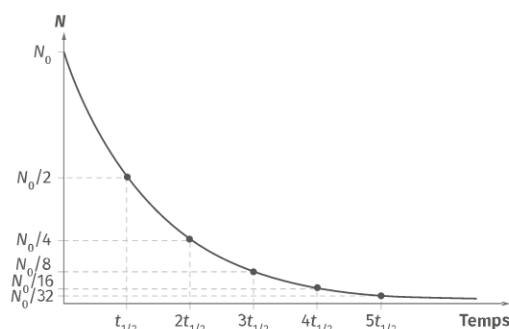
- La radioactivité est aléatoire, inéluctable, spontanée et indépendante de la substance dans laquelle le noyau radioactif se trouve.



Évolution du nombre de noyaux et demi-vie

La population de noyaux d'un échantillon décroît au cours du temps, elle est divisée par deux au bout d'une durée appelée « demi-vie ».

La courbe à côté représente l'évolution du nombre N de noyaux radioactifs en fonction du temps t . La désintégration suit une loi mathématique de décroissance. N_0 représente le nombre de noyaux radioactifs à l'instant t_0 (origine des dates) ; $t_{1/2}$ représente la demi-vie.



Les éléments chimiques dans l'Univers

La composition chimique de l'Univers

- L'Univers est formé de 118 éléments chimiques différents. L'hydrogène ${}^1_1\text{H}$ est l'élément chimique le plus abondant : il représente à lui seul près de 75 % des atomes présents dans l'Univers.
- Sur Terre, on a observé 94 éléments chimiques à l'état naturel, 24 autres ont été créés artificiellement.

La répartition des éléments chimiques

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.

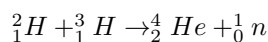
Les réactions nucléaires

La fusion, à l'origine de la synthèse des noyaux

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 (${}^1_1\text{H}$), de deutérium (${}^2_1\text{H}$ ou ${}^2_1\text{D}$) et d'hélium et de lithium.

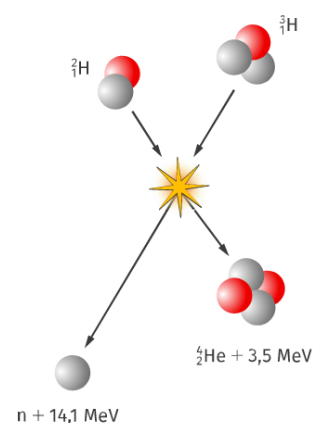
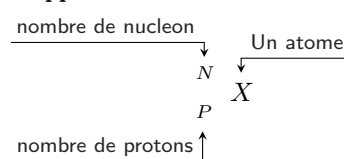
Cette réaction nucléaire est appelée fusion nucléaire.

Au cours d'une réaction de fusion, des noyaux légers forment un noyau plus lourd en éjectant une particule et en libérant de l'énergie. L'équation de la fusion du deutérium avec le tritium s'écrit :



La réaction libère une énergie de 3,5 MeV.

Rappel : Tout les éléments se notent :

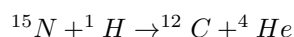


Les réactions nucléaires au cœur des étoiles

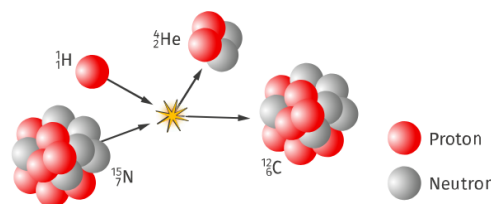
- Les autres éléments sont formés au sein des étoiles, formées par accréation des atomes créés lors du Big Bang. Les noyaux légers fusionnent et produisent des noyaux plus lourds. On y trouve ainsi plusieurs éléments comme l'oxygène ($Z=8$), le carbone ($Z=6$), mais aussi des noyaux plus lourds comme le fer ($Z=26$).
- Sous l'impact de neutrons ou d'autres particules légères, certains noyaux se cassent : c'est la fission.

La fission nucléaire

Au cours d'une réaction de fission, des noyaux lourds se cassent en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron ou d'un proton. La réaction s'accompagne de l'éjection d'une particule et libère de l'énergie. L'équation de la fission de l'azote bombardé par un proton s'écrit :



La réaction libère une énergie de 4,96 MeV.



EXERCICES

Exercice 1 : L'Univers est constitué de 118 éléments chimiques. Seuls 94 ont été observés sur Terre, les autres étant instables.

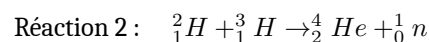
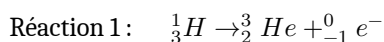
Numéro atomique Z	1	2	6	7	8	10	12	14	16	26
Élément	H	He	C	N	O	Ne	Mg	Si	S	Fe
Concentration (ppm)	739 000	240 000	4 600	960	10 400	1 340	580	650	440	1 090
Pourcentages										

Ce tableau donne, en ppm (parties par million), la répartition des dix éléments les plus présents dans notre Galaxie.

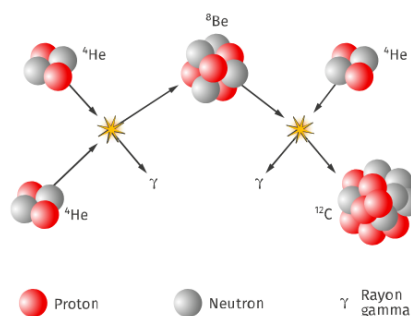
- (a) Convertissez en pourcentage les valeurs données en ppm (parties par million) et compléter le tableau.
 (b) Représentez sous la forme d'un diagramme en bâtons l'abondance des éléments chimiques les plus fréquents.

Exercice 2 : Pour remplacer les centrales nucléaires à fission, qui produisent de nombreux déchets radioactifs et posent des problèmes environnementaux, la recherche s'oriente vers les réactions de fusion entre le deutérium et le tritium. Les nouvelles centrales à fusion seraient beaucoup moins polluantes et sans danger pour l'Homme.

- (a) La représentation symbolique du noyau de l'atome X est : ${}^Z_A X$. Donnez la signification et le nom des nombres Z et A .
 (b) L'hydrogène a trois isotopes : l'hydrogène 1, le deutérium ${}^2_1\text{H}$ et le tritium ${}^3_1\text{H}$. Donnez leur composition.
 (c) Identifiez la réaction qui correspond à une fusion



Exercice 3 : Une des réactions qui se produit dans les étoiles est la réaction « triple alpha », qui est à l'origine de la formation des noyaux de carbone 12. Cette réaction se produit vers la fin de vie d'une étoile, quand la température (100 MK) devient suffisamment élevée pour que le béryllium 8 puisse rencontrer un noyau d'hélium et former le carbone 12 très stable.



- (a) Donnez la composition du noyau d'hélium 4 ($Z_{\text{He}}=2$), du béryllium 8 ($Z_{\text{Be}}=4$) et du carbone 12 ($Z_{\text{C}}=6$).
 (b) Écrivez les deux équations des réactions qui permettent de transformer l'hélium 4 en carbone 12.
 (c) Indiquez de quel type de réaction il s'agit.

Exercice 4 : On fait la datation au Carbone 14 d'un morceau de charbon. Cet élément radioactif est présent dans tout être vivant à un taux constant. À leur mort, les échanges de matière avec le milieu n'ayant plus lieu, le taux de carbone 14 diminue car il se désintègre. La mesure de ce taux dans un échantillon permet donc de dater approximativement sa mort.

Déterminez l'âge du morceau de charbon sachant que l'activité de l'échantillon testé montre que le nombre d'atomes de carbone 14 est 16 fois plus faible qu'à sa formation. (La demi-vie du carbone 14 est de $t_{1/2} = 5\,734$ ans.)

Activité 1 : Les éléments chimiques dans les étoiles

Les astrophysiciens identifient les éléments chimiques présents dans les étoiles en analysant leurs spectres lumineux.
Comment peut-on déterminer la composition des étoiles à partir de leur spectre lumineux?

Définition 1 : Spectre d'émission

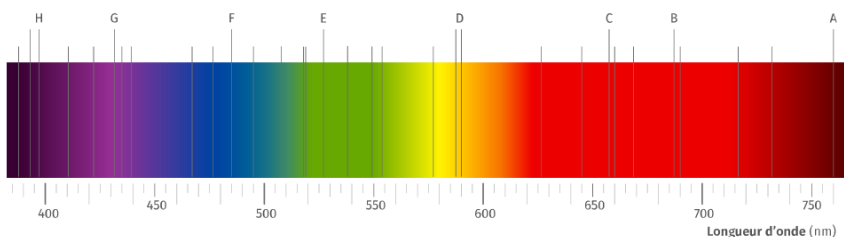
Spectre d'une lumière directement émise par une source.

Définition 2 : Spectre d'absorption

Spectre d'une lumière blanche ayant traversé une substance (gaz, filtre, solution, etc.).

Document 1 : Spectre du Soleil

Le spectre d'une étoile est la superposition d'un spectre d'émission d'origine thermique (fond coloré) et de raies d'absorption (spectre d'absorption, raies noires). La longueur d'onde de ces raies permet d'identifier les éléments chimiques présents dans l'étoile. Dans le cas du Soleil, ces raies sont appelées « raies de Fraunhofer », du nom du physicien et opticien allemand qui les a observées pour la première fois au XIX^e siècle. Les raies notées de A à H sont celles qu'il a identifiées en 1814.



Document 2 : Composition chimique de la photosphère

Une étoile est une masse gazeuse dans laquelle on trouve principalement de l'hydrogène et de l'hélium. Elle peut contenir aussi d'autres éléments chimiques, dont la nature et l'abondance dépendent de l'étoile. Tous les éléments chimiques de numéro atomique supérieur à 2 sont considérés comme des « éléments lourds » en astrophysique.

Hydrogène ($Z = 1$)	73,46 %
Hélium ($Z = 2$)	24,85 %
Oxygène ($Z = 8$)	0,77 %
Carbone ($Z = 6$)	0,29 %
Fer ($Z = 26$)	0,16 %
Néon ($Z = 10$)	0,12 %

QUESTIONS

Question 1 : L'atome d'hydrogène est caractérisé par plusieurs raies lumineuses. Une des raies a une longueur d'onde de 656 nm. Peut-on identifier cette raie sur le spectre du document 1 ?

.....
.....

Question 2 : À l'aide du document 2, Tracez un diagramme circulaire donnant la composition chimique en pourcentage massique du Soleil.

Question 3 : Expliquez comment identifier les éléments chimiques présents dans une étoile.

Act 2 : La radioactivité, un phénomène naturel

Définition 1 : Fluorescence

Propriété d'un corps qui, après avoir été éclairé, émet de la lumière.

Définition 2 : Noyau radioactif

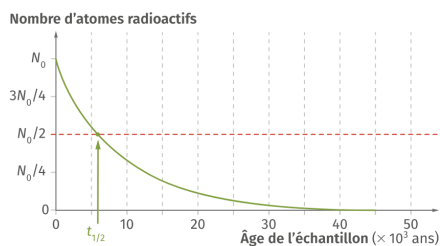
Un noyau instable est radioactif, il va se désintégrer inéluctablement à un instant qui n'est pas prévisible.

Document 1 : Une découverte fortuite

En 1896, Henri Becquerel étudie les propriétés de fluorescence des sels d'uranium en les exposant aux rayons solaires, puis en les déposant sur une plaque photographique. Après quelques minutes, la plaque est impressionnée comme si elle avait été exposée à la lumière. Henri Becquerel pense que ce sont les rayonnements absorbés par l'uranium qui sont réémis sous forme de rayons X vers la plaque. C'est par hasard qu'il découvre que si les sels restent plusieurs jours dans un tiroir, une image apparaît également sur une plaque photographique à proximité ! Sa théorie sur la fluorescence des sels d'uranium est remise en cause. L'uranium émet des rayonnements de façon « naturelle ».

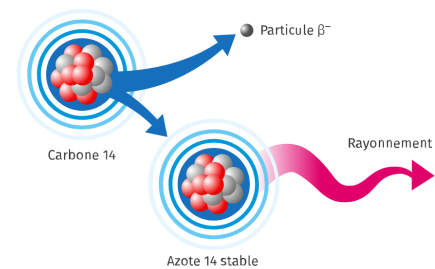
Document 2 : La loi de décroissance radioactive

Dans un échantillon contenant au départ N_0 atomes radioactifs, le nombre de noyaux décroît de telle sorte que le nombre N de noyaux est divisé par deux au bout d'une durée appelée « demi-vie » notée $t_{1/2}$ et qui dépend de la nature du noyau. Par exemple, la demi-vie du carbone 14 vaut 5 730 ans.



Document 3 : La désintégration du carbone 14

Le carbone 14 ($Z = 6$) est un noyau radioactif instable, qui se désintègre en libérant un électron et en se transformant en un autre noyau, l'azote 14 ($Z = 7$). Dans le noyau, un neutron se transforme en proton en éjectant un électron. Le noyau ainsi formé se désexcite ensuite en émettant un rayonnement gamma (γ).



QUESTIONS

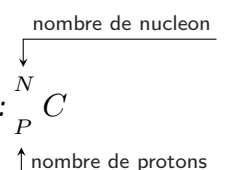
Question 1 : Répondre à l'aide du document 1. Quelles observations de Becquerel lui ont permis d'affirmer que la radioactivité est un phénomène naturel ?

.....
.....

Question 2 : Répondre à l'aide du document 2 et du cours. Combien de temps faut-il pour que la population en carbone 14 d'un échantillon soit divisée par 2 ? Et par 4 ?

Question 3 : Répondre à l'aide du document 3, du cours et du tableau périodique des éléments.

(a) Donnez la composition du noyau de l'atome de carbone 14. Vous pouvez l'écrire sous la forme :



(b) Identifiez la modification qui a eu lieu dans le noyau de l'atome de carbone 14 au cours de sa désintégration et écrivez l'équation de la désintégration.