

# Les éléments chimiques dans l'univers

## I. Quelques rappels de chimie

### 1. à propos des atomes

Tout atome est formé d'un noyau, contenant des protons et des neutrons, et d'électrons qui circulent autour du noyau.

Un atome est symbolisé par :  ${}^A_Z X$

- X est l'élément chimique considéré
- A est le nombre de nucléons (protons + neutrons) ou nombre de masse
- Z est le nombre de protons ou le numéro atomique
- Nombre de neutrons  $N = A - Z$

Le nombre de protons dans le noyau définit l'élément chimique. Par exemple  $Z=26 \leftrightarrow$  Fer

Dans un atome (qui est électriquement neutre), le nombre d'électrons est égal au nombre de protons.

### 2. à propos des éléments

Un élément chimique est une entité définie par l'ensemble des atomes ou ions, isolés ou associés à d'autres éléments, de même numéro atomique Z.

Exemple : l'élément cuivre est présent dans le métal et la solution de sulfate de cuivre.

### 3. À propos des isotopes

Pour un même élément chimique, le nombre N de neutrons peut varier ( $N = A - Z$ ). Ces atomes sont appelés isotopes de l'élément chimique considéré.

On les appelle souvent en donnant le nom de l'élément suivi du nombre de nucléons ex: lithium 7 ou lithium 9 ( ${}^7_3\text{Li}$  et  ${}^9_3\text{Li}$ )

Exemple d'isotopes du carbone :

carbone 12:  ${}^{12}_6\text{C}$  6 protons, 6 neutrons.

carbone 13:  ${}^{13}_6\text{C}$  6 protons, 7 neutrons.

carbone 14:  ${}^{14}_6\text{C}$  6 protons, 8 neutrons.

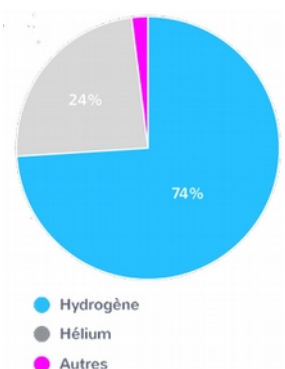
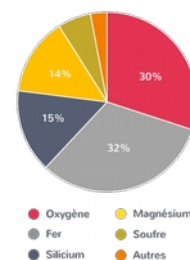
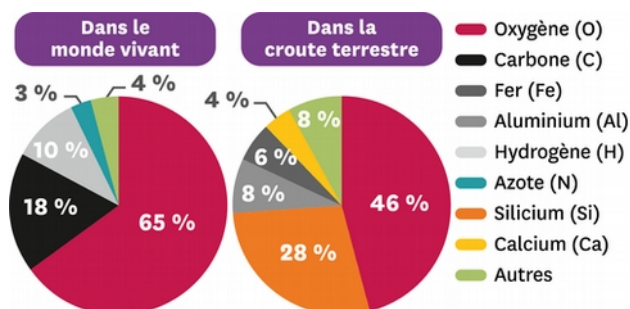
Remarque: les propriétés chimiques des isotopes d'un élément chimique sont les mêmes, par contre ils ont des propriétés différentes (en particulier le caractère radioactif ou non).

## II. Répartition des éléments dans l'univers

L'univers est composé d'une centaine d'éléments chimiques. L'hydrogène représente environ 3/4 des atomes de l'univers, l'hélium un peu moins d'un quart et le reste quelques pourcents à eux-tous.

On peut représenter cela par un diagramme circulaire : voir ci-contre

La répartition des éléments est inégale et varie selon les endroits :



# III. Origine des éléments chimiques

[wikipedia : Nucléosynthèse - une classification périodique indiquant l'origine de chaque élément \(complexe\)](#)

## 1. Le big-bang

Le big-bang est le moment de la création de l'univers.

Au bout de quelques minutes, tous les noyaux d'hydrogène de l'univers et une bonne partie de l'hélium se créent. L'Univers est constitué alors d'une sorte de « brouillard chaud ».

En une centaine de millions d'années, les nuages gazeux d'hydrogène se condensent grâce à la force de gravitation universelle et forment alors les premières étoiles.

## 2. Dans le cœur des étoiles : de nouveaux éléments

La lumière des étoiles est due aux réactions nucléaires de fusion (voir plus bas) qui se produisent dans ces étoiles.

Durant la majeure partie de leur existence, les étoiles consomment leur hydrogène et fabriquent essentiellement de l'hélium, puis sur la fin de leur existence, les étoiles synthétisent de plus la plupart des éléments jusqu'au fer.

Enfin les étoiles massives explosent et produisent toujours par fusion les autres éléments plus lourds que le fer.

## 3. La fusion : une réaction nucléaire

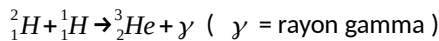
La fusion est une réaction nucléaire par laquelle deux noyaux s'unissent pour en former un seul avec éventuellement éjection de particules. Les réactions de fusion existent dans les étoiles (et dans les bombes atomiques H).

Les fusions nécessitent des conditions dantesques de pression comme celles qui existent dans le cœur d'une étoile.

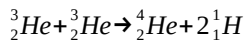
Exemples :

Synthèse de l'hélium 3 puis de l'hélium 4 à partir d'hydrogène dans une étoile de type solaire :

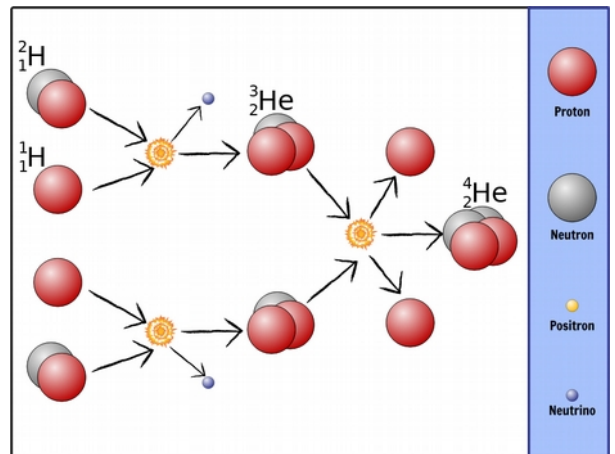
- il se forme deux héliums 3 par deux réactions de fusion d'un hydrogène 1 et un hydrogène 2 (deutérium) :



- puis ces deux hélium 3 fusionnent en un hélium 4 :



en expulsant 2 protons (qui sont deux hydrogènes 1) qui pourront servir à une autre réaction



# IV. La radioactivité

Les réactions nucléaires sont des réactions au cours desquelles les noyaux (nucléus en latin) sont modifiés. Elles peuvent être provoquées comme dans une centrale nucléaire ou spontanée comme la radioactivité naturelle.

## 1. Un phénomène naturel, aléatoire, inéluctable, spontané

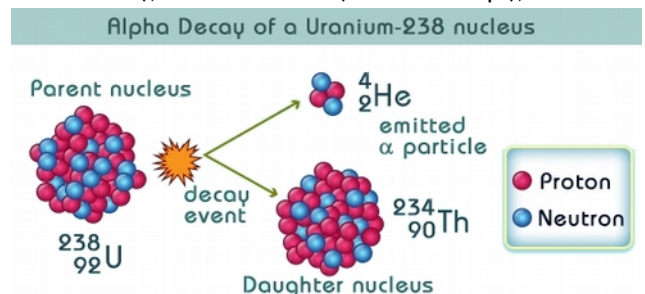
Certains noyaux sont instables : on dit qu'ils sont radioactifs. Ces noyaux se brisent spontanément et l'élément se transforme en une autre élément (on parle de transmutation).

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

## 2. Les trois types de radioactivité

Lors de la désintégration radioactive, le noyau père se brise en un noyau fils et en quelques particules. On classe les réactions en trois types selon la particule émise : soit un noyau d'hélium (radioactivité  $\alpha$ ), soit un électron (radioactivité  $\beta^-$ ), soit un positon (radioactivité  $\beta^+$ ).

Exemple : radioactivité  $\alpha$  de dégradation de l'uranium 238



## a. Radioactivité alpha

L'origine de la radioactivité alpha est une instabilité globale du noyau de l'atome qui se stabilise en éjectant ces deux protons et deux neutrons.

Par exemple, un atome de polonium 210 (84 protons et 126 neutrons) devient, par radioactivité alpha, un atome de plomb 206 (82 protons et 124 neutrons) :  ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + {}_2^4\text{He}$

## b. bêta plus et bêta moins

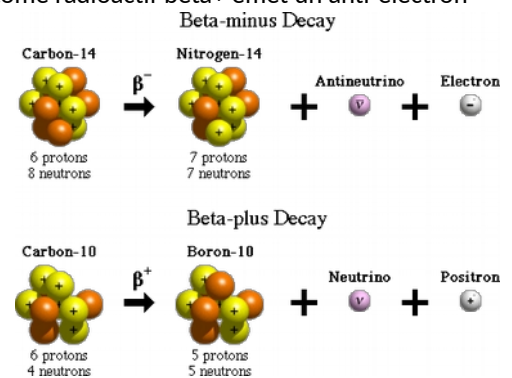
La radioactivité bêta existe sous deux formes : bêta+ et bêta-.

Un atome radioactif bêta- émet un électron et un antineutrino électronique. Un atome radioactif bêta+ émet un anti-électron (ou positon) et un neutrino électronique.

En plus de cette émission de particules, la nature des nucléons de ce noyau est modifiée. Ainsi, dans le cas d'une désintégration bêta-, un neutron se change en proton. Dans le cas d'une désintégration bêta+, c'est un proton qui se change en neutron. Le noyau change donc de nature.

Exemple bêta moins : carbone 14  $\rightarrow$  azote 14 :  ${}_{6}^{14}\text{C} \rightarrow {}_{7}^{14}\text{N} + {}_{-1}^0\text{e}$

Exemple bêta plus : carbone 10  $\rightarrow$  bore 10 :  ${}_{6}^{10}\text{C} \rightarrow {}_{5}^{10}\text{B} + {}_{+1}^0\text{e}$



## c. conservations du nombre de masse et du nombre de charge

Lors des réactions radioactives, le nombre total de nucléons se conserve ainsi que le nombre total de charge. On retrouve cela en additionnant à droite et à gauche les chiffres du haut puis ceux du bas.

## d. rayonnement gamma

Les désintégrations radioactives fournissent une grande quantité d'énergie. Cette énergie est transportée par des photons (de la lumière) de type gamma. Ces rayons gamma sont très pénétrants dans la matière, transportent une énergie très forte et sont donc particulièrement dangereux pour les êtres vivants.

## 3. Demi-vie radioactive

Dans un échantillon de matière radioactive, des noyaux se désintègrent régulièrement et la quantité de matière radioactive (la population) diminue au cours du temps. Cette réduction se calcule et on trouve statistiquement que la population est divisée par deux au bout d'une durée constante appelée « demi-vie » ou « période radioactive » noté  $T_{1/2}$

La demi-vie est très variable selon les isotopes radioactifs. Par exemple, la demi-vie de l'iode 123 est de 13 heures, celle du plutonium 241 de 13,2 ans et celle de l'uranium 238 de 4,5 milliards d'années.

## 4. Décroissance radioactive

Imaginons un échantillon contenant  $N_0$  atomes. Au bout d'une demi-vie, il ne contiendra plus que  $N_0/2$  atomes.

Une autre demi-vie plus tard, sa population sera encore divisée par deux : il ne contiendra plus que  $N_0/4$  atomes...

A chaque demi-vie, sa population est divisée par deux : c'est la décroissance radioactive.

On peut généraliser :

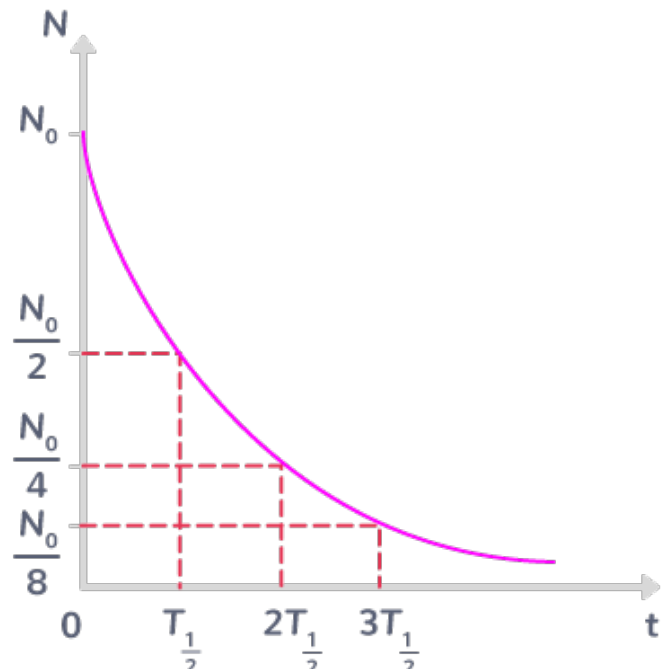
à  $t = nT_{1/2}$ , on a  $N = N_0 / 2^n$

exemple : à  $t = 3 T_{1/2}$ , on a  $N = N_0 / 2^3 = N_0 / 8$

La courbe donnant le nombre d'atomes restant en fonction du temps est une exponentielle décroissante.

Vous devez en connaître la forme générale.

Remarque : l'ordonnée peut être graduée en population  $N$  ou en activité  $A$  (en Bq). Les deux sont proportionnelles donc cela ne change rien à la courbe.



## V. La datation au carbone 14

Le carbone possède plusieurs formes – ou « isotopes » – parmi lesquelles le carbone 14, ou  $^{14}\text{C}$ . Cet élément est radioactif, et sa radioactivité décroît au fil du temps à un rythme parfaitement régulier. Les scientifiques s'en servent donc comme « chronomètre » pour estimer l'âge d'objets historiques.

- La demi-vie du carbone 14 vaut 5730 ans
- Le taux de carbone 14 reste à peu près constant dans l'atmosphère, car le carbone 14 est renouvelé par des réactions entre le carbone 12 avec les rayons cosmiques.

Tant que l'organisme est vivant, il respire et absorbe du carbone 14 si bien que lui aussi aura un taux constant de carbone 14. Lorsqu'il meurt, son carbone 14 ne se renouvelle plus et commence à décroître comme la courbe ci-dessus donc en comparant son taux de carbone 14 avec celui des organismes vivants, on peut déterminer son âge par lecture graphique ou par calcul.

### quelques sources

- <https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/physique-voyage-coeur-matiere-176/page/7/>
- <https://popups.uliege.be/0037-9565/index.php?id=8281>
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Nucl%C3%A9osynth%C3%A8se\\_stellaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Nucl%C3%A9osynth%C3%A8se_stellaire)
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Datation\\_par\\_le\\_carbone\\_14](https://fr.wikipedia.org/wiki/Datation_par_le_carbone_14)

### quelques vidéos

- [Des liens vers des vidéos utiles et/ou intéressantes triées par thème](#)