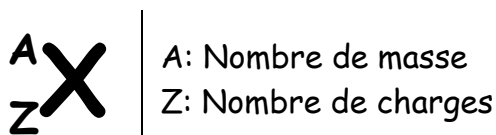


# TRANSFORMATIONS DE LA MATIERE

## TRANSFORMATIONS NUCLEAIRES

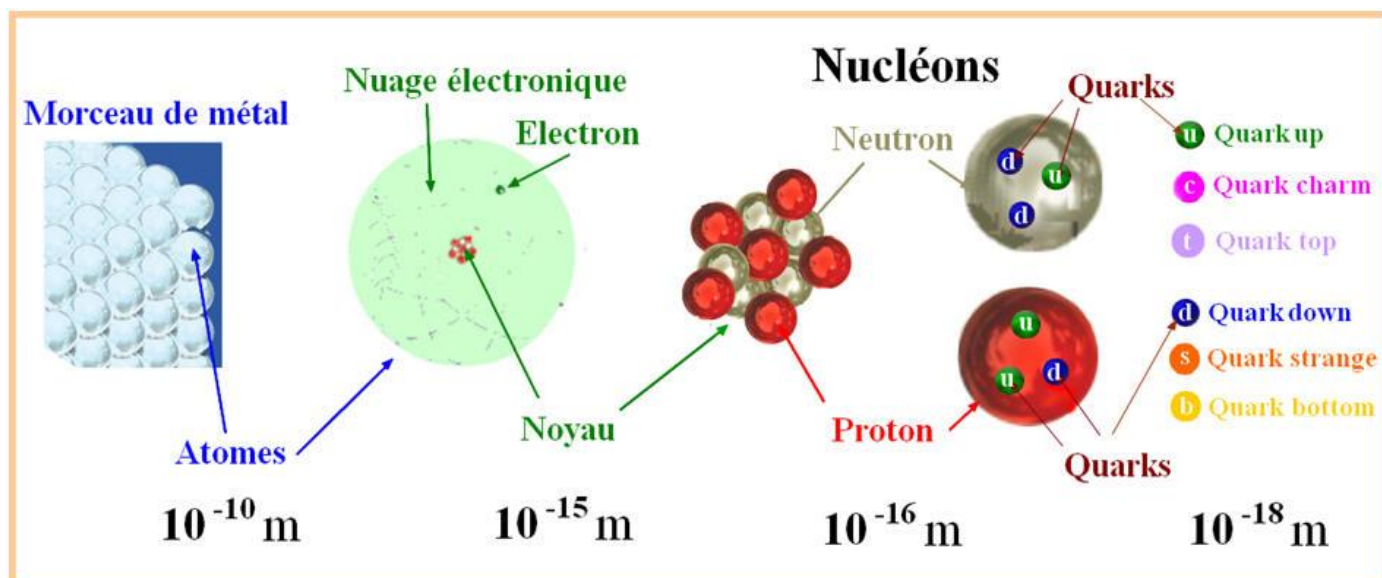
### 1 - Les atomes

Si on considère un atome de symbole X, on convient de représenter son noyau par la notation:



- Le nombre de charge Z, ou numéro atomique, d'un noyau est le nombre de protons qu'il contient.
- Le nombre masse A, ou nombre de nucléons, représente le nombre total de protons et neutrons présents dans le noyau.
- Le nombre N de neutrons présents dans le noyau est:  $N = A - Z$ .

*Remarque: La physique nucléaire attribue au noyau une structure beaucoup plus complexe: ces nucléons ne sont pas des particules simples (ou élémentaires), puisqu'ils sont formés d'autres particules, les quarks, qui, à leur tour, ne sont pas non plus des particules simples. De nombreuses particules constitutives du noyau ont été identifiées: fermions, leptons, quarks, mésons, baryons, neutrinos, antineutrinos*



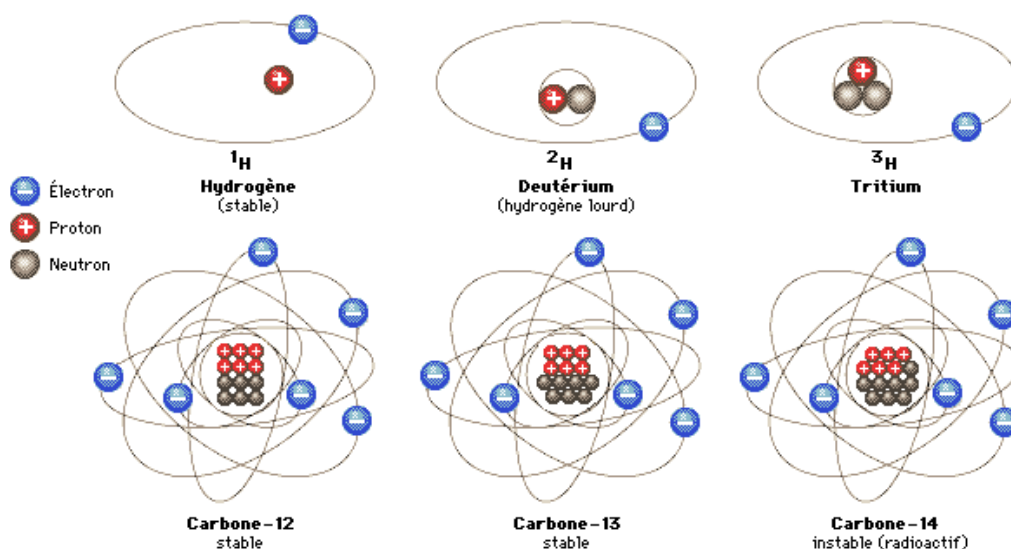
Un élément chimique est caractérisé par son numéro atomique Z. Tous les atomes ayant le même numéro atomique ont le même symbole. Le même numéro atomique Z entraîne le même nombre de protons contenus dans le noyau des atomes.

## 2- Les isotopes

On appelle atomes isotopes les ensembles d'atomes caractérisés par le même numéro atomique  $Z$  et des nombres de nucléons  $A$  différents. Ce sont donc des ensembles d'atomes qui ne diffèrent que par le nombre de leurs neutrons.

On a pour le carbone les isotopes  ${}^1_6\text{C}$ ,  ${}^{13}_6\text{C}$  et  ${}^{14}_6\text{C}$ .

On a pour l'hydrogène les isotopes  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$  et  ${}^3_1\text{H}$ .



Tous ces atomes de carbone ou d'hydrogène possèdent le même nombre de charge  $Z$ , mais des nombres de masse  $A$  différents.

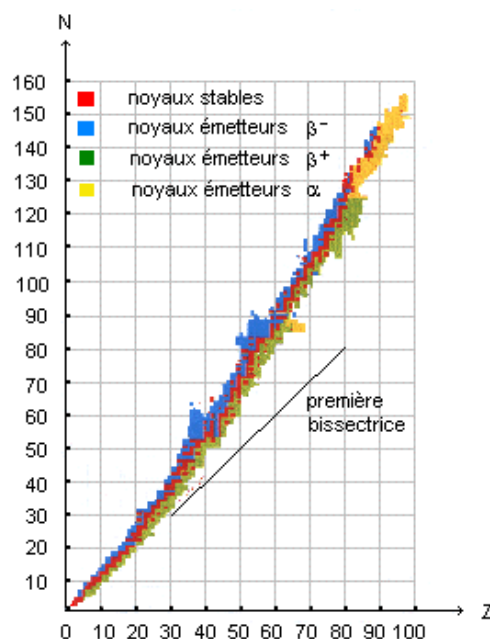
## 3- Stabilité et instabilité du noyau

Lorsque l'on peut classer les noyaux connus dans le graphique de Segré, représentant le nombre de neutrons  $N$  en fonction du nombre de protons  $Z$ , il apparaît quatre zones.

Une zone rouge dans laquelle apparaissent les noyaux stables. Cette zone est appelée vallée de stabilité.

On remarquera que pour  $Z < 30$  les noyaux stables sont situés sur la première bissectrice (ou dans son voisinage immédiat) ce sont donc des noyaux pour lesquels  $N=Z$ .

Une zone jaune dans laquelle se situent des noyaux donnant



lieu à une radioactivité de type  $\alpha$ . Ce sont des noyaux lourds ( $N$  et  $Z$  sont grands donc  $A$  est grand).

Une zone bleue dans laquelle se situent des noyaux qui donnent lieu à une radioactivité de type  $\beta^-$ . Ce sont des noyaux qui présentent un excès de neutrons par rapport aux noyaux stables de même nombre de masse  $A$ .

Une zone verte dans laquelle se situent des noyaux donnant lieu à une radioactivité  $\beta^+$ . Ce sont des noyaux qui présentent un excès de protons par rapport aux noyaux stables de même nombre de masse  $A$ .

## 4- La radioactivité

La radioactivité se détecte par l'émission de trois types de particules appelées rayonnement. Elle s'accompagne de l'émission de particules  $\alpha$ ,  $\beta^+$  et  $\beta^-$  ainsi que de radiations  $\gamma$ .

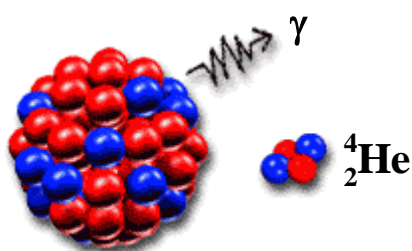
La radioactivité est une réaction dite nucléaire car elle entraîne une modification du noyau de l'atome.

La désintégration radioactive est aléatoire, on ne peut pas prévoir quand va se produire la désintégration d'un noyau. Elle est spontanée et se produit sans aucune intervention extérieure. Elle ne dépend ni de son environnement chimique c'est à dire de l'espèce chimique qui contient le noyau radioactif, ni des conditions extérieures (pression ou température).

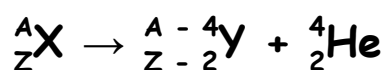
### 4.1- La radioactivité $\alpha$

Des noyaux sont dits radioactifs  $\alpha$  s'ils expulsent des noyaux d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ .

On remarquera que le noyau de l'atome d'hélium porte deux charges positives, toutefois dans le domaine de la physique nucléaire on convient de ne pas les représenter.

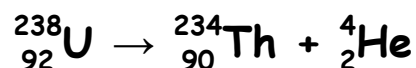


D'après les lois de conservation de Soddy, l'équation de la réaction de désintégration nucléaire pour une émission de type  $\alpha$ , s'écrit:



Le noyau instable éjecte en une seule fois deux neutrons et deux protons ce qui correspond à un noyau d'hélium.

Par exemple, l'équation de désintégration de l'Uranium 238 qui engendre du Thorium 234, s'écrit:

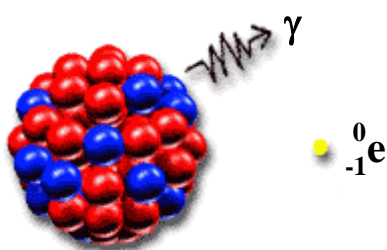


Les particules  $\alpha$  sont expulsées avec des vitesses relativement modestes et sont arrêtées par quelques centimètres d'air ou par une feuille de papier, mais elles sont très ionisantes et donc dangereuses.

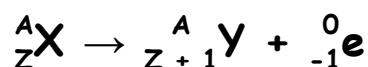
**Remarque:** Si  $Z$  est le numéro atomique du noyau père alors le numéro atomique du noyau fils est  $Z-2$ . Le noyau fils se trouve deux cases avant le noyau père dans le tableau des éléments.

#### 4.2- La radioactivité $\beta^-$

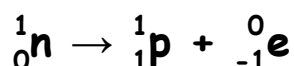
Des noyaux sont dits radioactifs  $\beta^-$  s'ils émettent des électrons  $e^-$  notés  ${}_{-1}^0e$ .



D'après les lois de conservation de Soddy, l'équation de la réaction de désintégration nucléaire pour une émission de type  $\beta^-$ , s'écrit:

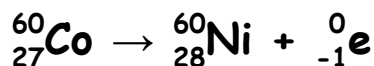


L'électron qui, à priori, n'existe pas dans le noyau, est tout de même expulsé du noyau. Cet électron provient de la transformation d'un neutron en proton suivant l'équation:



Le noyau instable éjecte un électron.

Par exemple, l'équation de désintégration du Cobalt 60 qui engendre du Nickel 60, s'écrit:



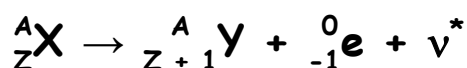
Les radionucléides  $\beta^-$  possèdent trop de neutrons par rapport aux nucléides stables de même nombre de masse  $A$  (voir vallée de stabilité).

Globalement, au cours d'une désintégration  $\beta^-$ ,  $Z$  augmente d'une unité et  $N$  diminue d'une unité, ce qui fait que  $A$  reste constant.

Les particules  $\beta^-$  sont expulsées avec des vitesses importantes et sont arrêtées par quelques mètres d'air ou par quelques millimètres de papier aluminium, mais elles sont très ionisantes et donc dangereuses.

**Remarque:** Si  $Z$  est le numéro atomique du noyau père alors le numéro atomique du noyau fils est  $Z+1$ . Le noyau fils se trouve donc dans la case qui suit celle du père dans le tableau périodique des éléments.

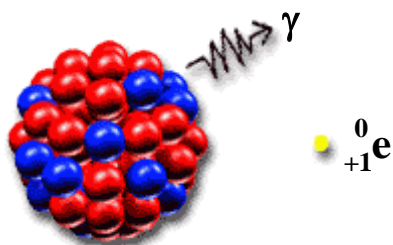
Pour assurer la conservation de l'énergie pendant la désintégration  $\beta^-$ , un antineutrino  $\bar{\nu}$  (particule sans masse ni charge) est émis simultanément à l'électron. De ce fait, l'équation complète de la réaction de désintégration nucléaire pour une émission de type  $\beta^-$ , doit s'écrire:



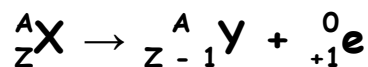
### 4.3- La radioactivité $\beta^+$

La radioactivité  $\beta^+$  ne concerne que des noyaux artificiels, c'est-à-dire des noyaux engendrés par des réactions nucléaires réalisées par l'homme.

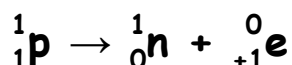
Des noyaux sont dits radioactifs  $\beta^+$  s'ils émettent des positons  $e^+$  notés  ${}^0_{+1} e$ .



D'après les lois de conservation de Soddy, l'équation de la réaction de désintégration nucléaire pour une émission de type  $\beta^+$ , s'écrit:

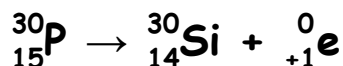


Le positon qui, à priori, n'existe pas dans le noyau, est tout de même expulsé du noyau. Ce positon provient de la transformation d'un proton en neutron suivant l'équation:



Le noyau instable éjecte un positon.

Par exemple, l'équation de désintégration du **Phosphore 30** qui engendre du **Silicium 30**, s'écrit:

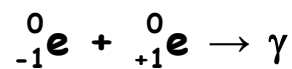


Les radionucléides  $\beta^+$  sont des radionucléides qui possèdent trop de protons par rapport aux nucléides stables de même nombre de masse  $A$  (voir vallée de stabilité).

Globalement, au cours d'une désintégration  $\beta^+$ ,  $Z$  diminue d'une unité et  $N$  augmente d'une unité, ce qui fait que  $A$  reste constant.

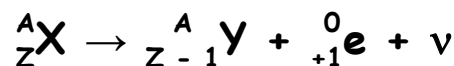
Les particules  $\beta^+$  ont une durée de vie très courte.

Lorsqu'elles rencontrent un électron, les deux particules s'annihilent pour donner de l'énergie sous la forme d'un rayonnement électromagnétique de type  $\gamma$  suivant le bilan:



**Remarque:** Si  $Z$  est le numéro atomique du noyau père alors le numéro atomique du noyau fils est  $Z-1$ . Le noyau fils se trouve donc dans la case qui précède celle du père dans le tableau périodique des éléments.

Pour assurer la conservation de l'énergie pendant la désintégration  $\beta^+$ , un neutrino  $\nu$  (particule sans masse ni charge) est émis simultanément à l'électron. De ce fait, l'équation complète de la réaction de désintégration nucléaire pour une émission de type  $\beta^+$ , doit s'écrire:

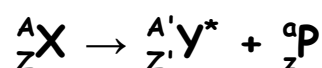


#### 4.4- Le rayonnement $\gamma$

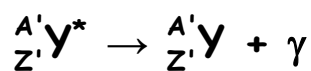
L'émission de rayonnement  $\gamma$  est une réaction secondaire qui a lieu quelques milliardièmes de seconde après la désintégration.

Lors d'une transformation radioactive de type  $\alpha$ ,  $\beta^-$  ou  $\beta^+$ , un noyau père  ${}^A_ZX$  se désintègre en produisant un noyau fils  ${}^{A'}_{Z'}Y^*$  dans un état excité (niveau d'énergie élevé) instable. Lorsque ce noyau fils  ${}^{A'}_{Z'}Y^*$  se désexcite pour être dans un état fondamental stable  ${}^{A'}_{Z'}Y$  (niveau d'énergie faible) il perd de l'énergie sous la forme d'un rayonnement de type  $\gamma$ .

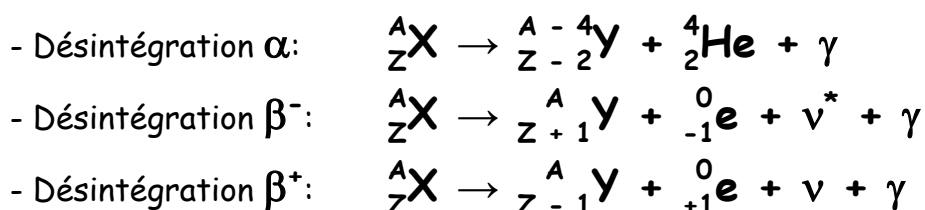
Dans un premier temps:



Quelques milliardièmes de seconde plus tard:



En tenant compte des lois de Soddy et de la conservation de l'énergie, les équations de désintégration  $\alpha$ ,  $\beta^-$  ou  $\beta^+$ , s'écrivent:



Le rayonnement  $\gamma$  est une onde électromagnétique de haute énergie qui apparaît comme un phénomène secondaire de la radioactivité.

Les rayons gamma  $\gamma$  sont des rayonnements électromagnétiques de grande énergie et de faible longueur d'onde. Ces rayons gamma, contrairement aux particules  $\alpha$ ,  $\beta^-$  ou  $\beta^+$ , ne changent pas la composition du noyau qui les émet. Leur pouvoir de pénétration est très élevé: ils peuvent s'enfoncer dans plus de trente centimètres de plomb. Ces rayons  $\gamma$  sont très dangereux pour l'homme.

Elle ne dépend ni de son environnement chimique c'est à dire de l'espèce chimique qui contient le noyau radioactif, ni des conditions extérieures (pression ou température).

## 5- La décroissance radioactive

Un noyau radioactif, instable, se transforme spontanément au bout d'une durée plus ou moins longue en un autre noyau, plus stable. Toutefois, il est impossible de prédire le moment de sa désintégration.

On ne peut pas non plus, à l'échelle microscopique, prévoir le nombre de désintégrations produites à un instant donné. En effet, la désintégration d'un noyau est un phénomène individuel sans effet sur le comportement des autres noyaux.

On considère un échantillon de matière contenant à la date  $t=0$ ,  $N_0$  noyaux radioactifs. A la date  $t$ , l'échantillon de matière contient encore  $N$  noyaux radioactifs (non désintégrés).

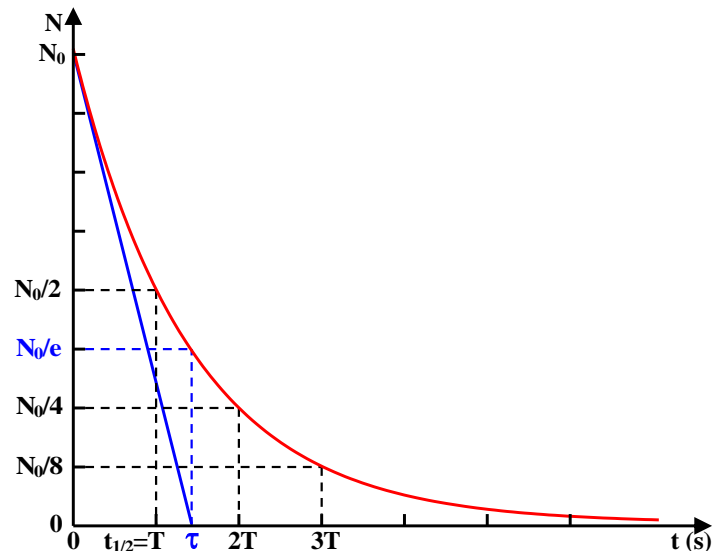
Comme le rythme de décroissance est indépendant de la quantité de matière, le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon est régulièrement réduit de moitié au bout d'une durée égale au temps de demi-vie  $t_{1/2}$  du nucléide considéré.

Le graphique ci-contre représente l'évolution temporelle de  $N=N(t)$ .

On appelle temps de demi-vie  $t_{1/2}$ , d'un échantillon radioactif, la durée correspondant à la désintégration de la moitié des noyaux initialement présents dans l'échantillon.

A l'instant  $t=t_{1/2}$  on aura donc:

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$



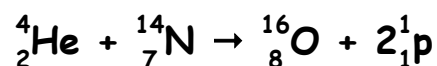
## 6- Fission et fusion nucléaires

### 6.1- Réactions nucléaires provoquées

Une réaction nucléaire est dite provoquée lorsqu'un noyau cible est frappé par un noyau projectile et donne naissance à de nouveaux noyaux.

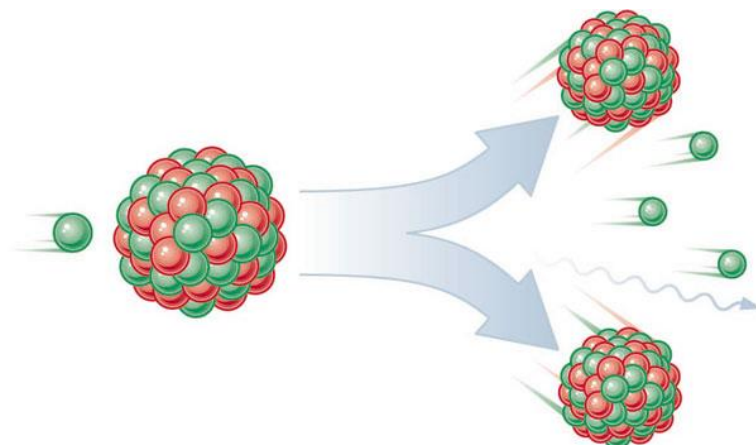
Lors d'une réaction nucléaire provoquée, les lois de conservation de Soddy sont vérifiées.

En 1919, Rutherford bombarde des noyaux d'azote avec des particules  $\alpha$  ce qui provoqua la formation de noyaux d'oxygène et de protons.

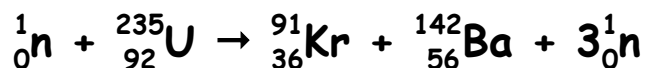
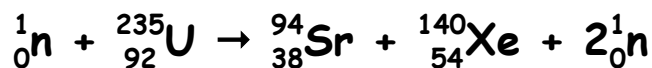


### 6.2- La fission nucléaire

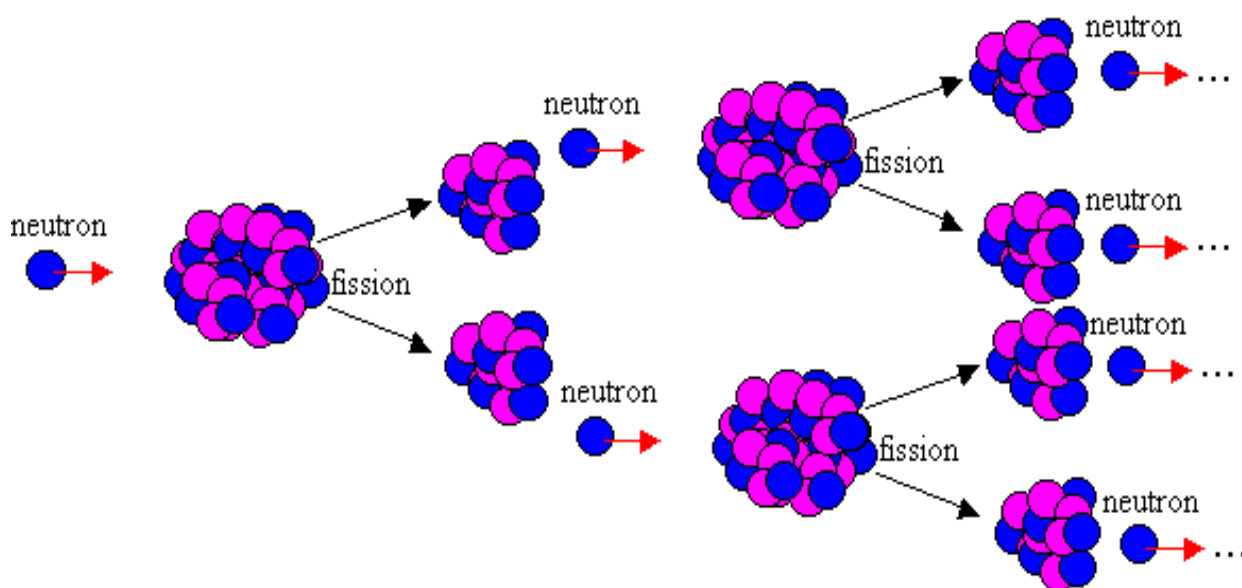
La fission est une réaction nucléaire provoquée au cours de laquelle un noyau lourd "fissile" donne naissance à deux noyaux plus légers.



Par exemple, plusieurs réactions de fission de l'uranium  $^{235}_{92}\text{U}$  sont possibles.



Les neutrons émis lors de la fission peuvent provoquer la fission d'autres noyaux.

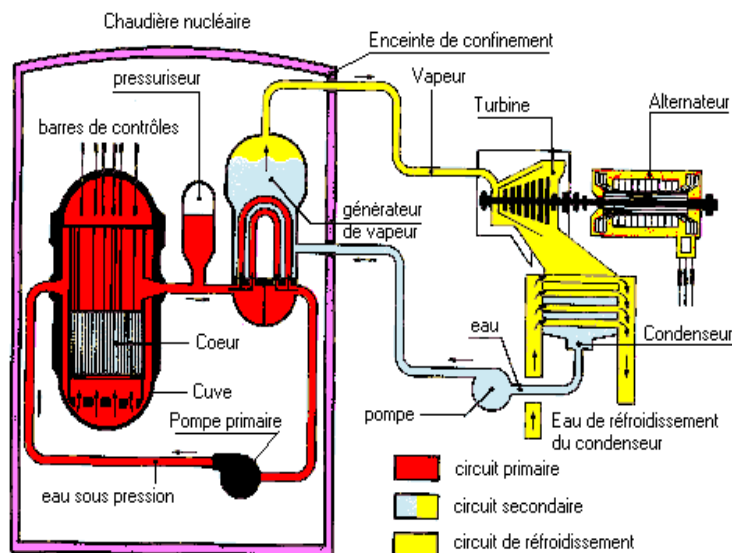


Si le nombre de neutrons émis lors de chaque fission est supérieur à 1, une réaction en chaîne peut se produire et devenir rapidement incontrôlable (bombe atomique).

Dans une centrale nucléaire, la réaction en chaîne est contrôlée par des barres mobiles qui plongent dans le réacteur entre les barres de "combustible" pour absorber une partie des neutrons émis.

On peut ainsi contrôler la quantité d'énergie produite par les réactions de fission.

L'énergie libérée par la fission de l'uranium est utilisée pour produire de la vapeur permettant de faire tourner des



turbines reliées à des alternateurs qui transforme le mouvement en énergie électrique. L'énergie libérée par la fission de l'uranium est convertie en énergie électrique.

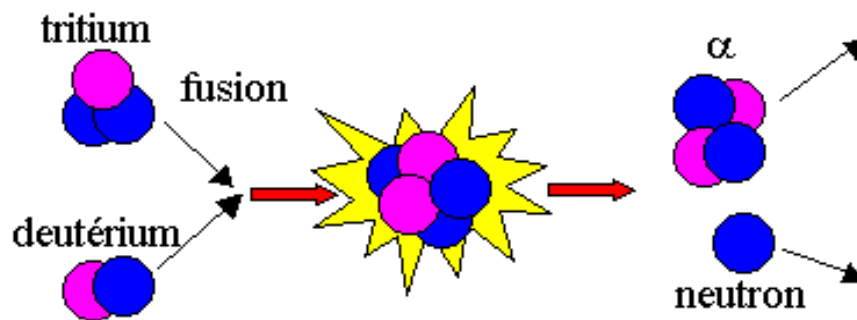
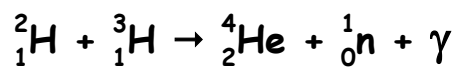
**Remarque:** Pour amorcer une fission, il faut apporter une quantité minimale d'énergie au système.

### 6.3- La fusion nucléaire

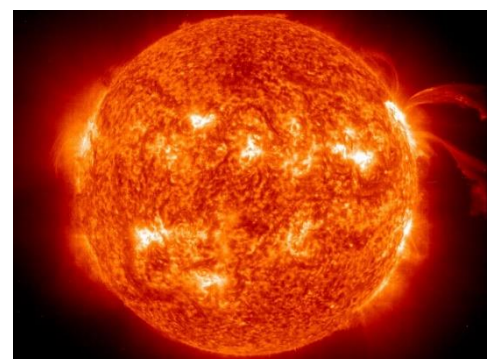
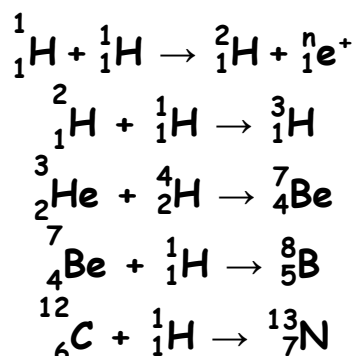
La fusion nucléaire est une réaction au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd. Pour que la fusion soit possible, les deux noyaux doivent posséder une grande énergie cinétique de façon à vaincre les forces de répulsion électriques. Pour cela le milieu doit être porté à très haute température et se trouve alors sous forme de plasma. L'énergie libérée au cours d'une fusion est considérable.

Les chercheurs essaient de contrôler les réactions de fusion afin de réaliser des réacteurs produisant de l'énergie électrique (ITER, TORE SUPRA, JET). Toutefois, comme la température doit atteindre des millions de degrés le problème n'est pas facile à résoudre.

La réaction de fusion entre le deutérium et le tritium qui donne des noyaux d'hélium et un neutron, s'écrit:



La fusion se produit naturellement dans les étoiles. Dans le Soleil, la température extrêmement élevée qui y règne permet d'avoir les conditions pour que des transformations nucléaires s'y déroulent. Quelques réactions de fusion qui se produisent dans le soleil:



Chaque seconde, le soleil transforme 600 millions de tonnes ( $6,0 \cdot 10^{11}$  kg) d'hydrogène en hélium. L'énergie mise en jeu dans cette transformation nucléaire est bien plus grande que tous les autres types de transformations.

Dans une bombe thermonucléaire (bombe H), la fusion nucléaire est incontrôlée et explosive.

## 7- Quelques valeurs énergétiques

Pour une même quantité de matière, une réaction nucléaire libère une quantité d'énergie beaucoup plus grande qu'une réaction chimique.

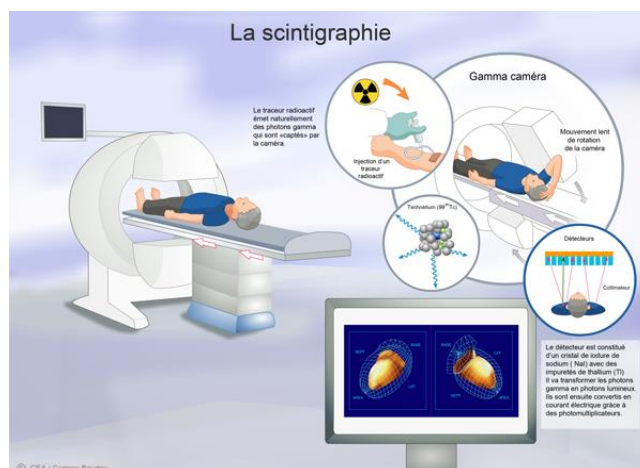
Pour une même quantité de matière, une réaction de fusion libère une quantité d'énergie plus grande qu'une réaction de fission.

Quelques valeurs énergétiques		
Combustible	Valeur énergétique	Équivalence en tep
1 tonne de pétrole	42 GJ	1 tep
1 tonne de charbon	29.3 GJ	0.69 tep
1000 m <sup>3</sup> de gaz	36 GJ	0.86 tep
1 tonne d'Uranium naturel	420 000 GJ	10 000 tep
1 tonne de combustible D-T	378 000 000 GJ	9 000 000 tep

## 8- Utilisation médicale de la radioactivité

La radioactivité constitue un outil irremplaçable pour la médecine. Elle a apporté une révolution dans les explorations des fonctions du vivant. Grâce aux isotopes radioactifs, les médecins disposent, pour les diagnostics, d'une panoplie de techniques difficilement imaginables, il y a seulement une génération.

La quantité de radioactivité à laquelle les personnes sont exposées lors d'examens radiologiques ne présente pas de risque en tout cas comparable aux bénéfices de l'examen, à condition toutefois de ne pas en exagérer la fréquence. Par exemple, les noyaux radioactifs d'iode absorbés lors d'un examen scintigraphique de la thyroïde disparaissent rapidement sans créer de dommages. De même, il suffit de très peu d'atomes radioactifs pour estimer l'état du muscle cardiaque par une gamma-caméra.



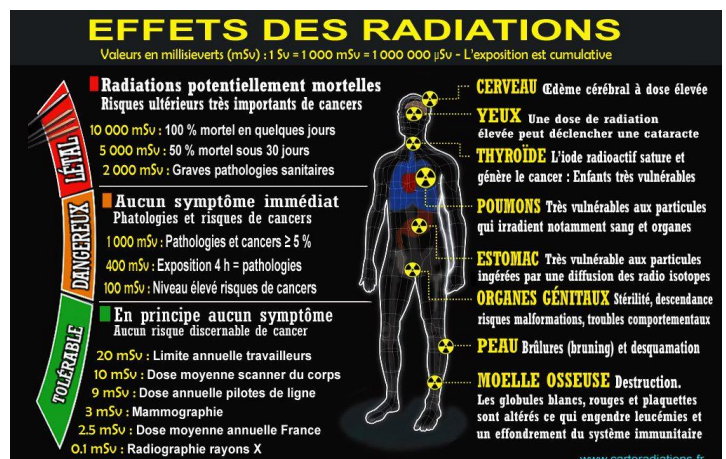
Cependant, de fortes doses d'irradiation sont nécessaires pour soigner des tumeurs cancéreuses. Les progrès récents de la radiothérapie permettent une action de plus en plus sélective: avec de nouvelles techniques, on peut calculer l'énergie et l'orientation du rayonnement pour viser les cellules malades en touchant le moins possible aux cellules saines.

Les rayonnements, qui peuvent être composés de particules alpha, d'électrons, de photons gamma ou de neutrons, produisent des effets différents sur la matière vivante. Sans danger à faibles doses, ils peuvent le devenir lorsque celles-ci sont plus élevées. Il est donc essentiel de définir strictement les doses de radioactivité admissibles. Et il faut savoir s'en protéger. C'est pourquoi des normes ont été édictées; elles sont définies au niveau européen pour ce qui nous concerne.

Des règles de radioprotection ont été établies: prudentes, elles visent à réduire l'exposition à la radioactivité à des doses inoffensives.

## 9- Dangers de la radioactivité

L'étude de l'effet des rayonnements sur la matière vivante se situe à la frontière de la physique et de la biologie. Bien que les connaissances aient beaucoup progressé, elles demeurent incomplètes et empiriques. Pour démêler avec précision les effets des rayonnements, il faudrait identifier les doses de radioactivité subies par chaque partie de l'organisme, ce qui est matériellement impossible.

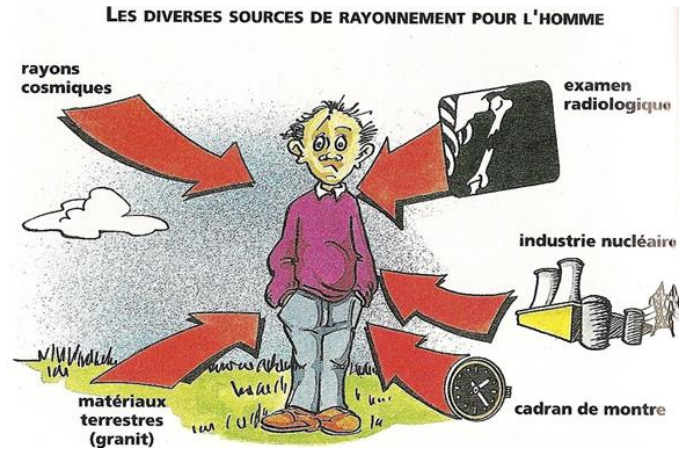


Les effets d'une irradiation sont bénéfiques, quand l'irradiation touche des cellules malades, ou nocifs s'ils touchent des cellules saines. Ils sont très variés, le rayonnement pouvant atteindre aussi bien une simple molécule d'eau qu'un fragment d'ADN. La matière vivante possède aussi une certaine faculté de réparation, du moins quand l'irradiation reste faible. Les conséquences d'une irradiation sont très difficiles à prévoir pour un individu, sauf en cas d'une exposition très importante.

Les effets d'un rayonnement dépendent de sa nature, de la dose absorbée, de l'organe touché. Des doses importantes (qui peuvent être bénéfiques quand elles sont brèves et localisées comme en radiothérapie) provoquent des effets bien identifiés. Les effets sont plus incertains pour les doses de l'ordre de celles dues à la radioactivité naturelle. Parmi une population exposée, il sera impossible d'attribuer l'apparition d'un cancer donné à une telle exposition, mais il sera possible d'en voir l'effet par une étude statistique du nombre de cancers. Pour les très faibles doses, l'incertitude est encore plus grande.

Les irradiations internes sont beaucoup plus nocives que les irradiations externes. La radiotoxicité mesure la nuisance d'un élément radioactif assimilé par l'organisme à la suite d'une inhalation ou ingestion. Elle tient compte du devenir de la substance dans le corps humain.

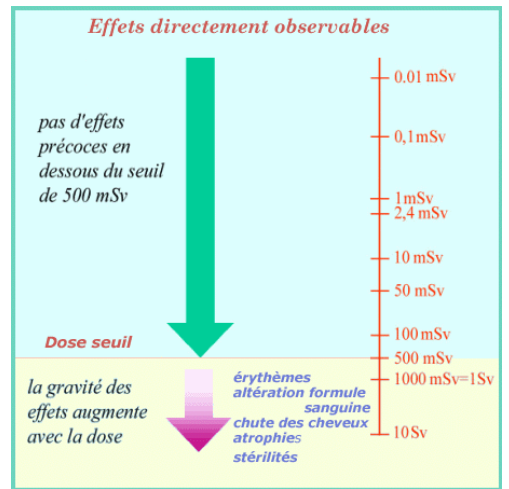
Pour une même dose d'activité ingérée, la radiotoxicité varie d'un facteur 1 à 10000 entre des émetteurs bêta de faible énergie comme le tritium et des noyaux lourds émetteurs alpha.



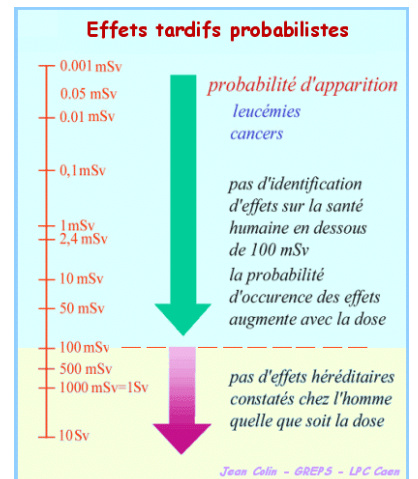
La radiotoxicité suppose qu'un radioélément se retrouve dans l'assiette du consommateur ou fixée dans ses poumons. Elle ne dit pas comment cet élément se retrouve dans cette assiette ou ces poumons. Un élément peut être très radiotoxique, comme le plutonium, mais présenter des risques limités s'il n'arrive que difficilement au contact de l'homme ou si tout est fait pour qu'il en soit ainsi.

la dose efficace, mesurée en sieverts (Sv), représente (indirectement) le risque pour la santé à la suite d'une exposition à une source radioactive.

Les effets que l'on observe rapidement ne se manifestent qu'à partir d'une certaine dose de radiations, appelée seuil. Ces effets précoces ne dépendent que de la dose. Le hasard n'intervenant pas ils sont qualifiés de "déterministes". On estime à 500mSv le seuil d'apparition des effets précoces, mais il s'agit d'une dose efficace "corps entier". Au niveau local, par exemple celui des testicules, une dose équivalente de 2Sv entraîne une stérilité transitoire et une dose de 6Sv une stérilité définitive. Pour la peau, une dose locale de 3Sv à 8Sv entraîne une rougeur passagère, une dose de 7Sv à 10Sv une cloque et une dose supérieure à 10Sv une nécrose.



Les effets tardifs sont beaucoup plus délicats à mettre en évidence que les précoces, car ils peuvent apparaître ou, beaucoup plus probablement, ne pas apparaître. Le hasard intervenant, on dit qu'ils sont probabilistes. Toutefois des effets mesurables n'ont été mis en évidence qu'au-dessus de 100mSv et avec un débit de dose élevé. Au-delà de 100mSv, la probabilité d'occurrence de problèmes de cancers ou de leucémies augmente avec la dose. Cependant, quelle que soit la dose reçue, aucun effet héréditaire (problèmes cancérigènes transmis par des gènes irradiés) n'a jamais été observé chez l'homme.



## 10- Exercices d'application

### Exercice 1

Compléter les équations des nucléaires suivantes:



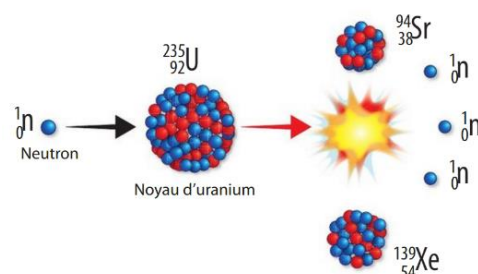
En tenant compte des lois de conservation de Soddy (conservation des nombres A et Z), nous aurons:



### Exercice 2

Le noyau d'uranium 235 est fissile, car il peut être scindé en deux noyaux plus petits. Une des transformations possibles est représentée ci-contre.

Ecrire l'équation de la réaction modélisant la fission de l'uranium 235.



D'après le schéma, un neutron rentre en collision avec un noyau d'uranium 235 pour donner un noyau de strontium 95, un noyau de xénon 139 et 3 neutrons. cela se traduit par l'équation de réaction:



### Exercice 3

Le soleil est principalement composé d'hydrogène. Il brille grâce à l'énergie considérable libérée par une transformation faisant intervenir le deutérium et le tritium, deux isotopes de l'hydrogène. Chaque seconde le soleil libère une énergie de  $4 \cdot 10^{26} \text{ J}$ . La masse du soleil est de  $m_{\text{soleil}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ .

L'énergie libérée par la combustion d'un kilogramme de dihydrogène est d'environ  $10^6 \text{ J}$ .

Calculer la masse de dihydrogène qui serait nécessaire chaque seconde si la transformation était chimique, puis en déduire la durée de vie du soleil. Conclure quant à la nature du type de transformation qui se produit dans le soleil.

Commençons par écrire les énergies avec de meilleures unités:

Energie libérée par le soleil:  $E_{\text{soleil}} = 4 \cdot 10^{26} \text{ J/s}$

Energie libérée par 1 kg de dihydrogène:  $E_{\text{dihydrogène}} = 10^6 \text{ J/kg}$

La masse de dihydrogène nécessaire en 1s serait alors:

$$m_{1s} = \frac{E_{\text{soleil}}}{E_{\text{dihydrogène}}} = \frac{4 \cdot 10^{26}}{10^6} = 4 \cdot 10^{21} \text{ kg/s}$$

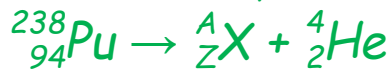
Si la réaction était chimique, alors la durée de vie du soleil serait:

$$\tau = \frac{m_{\text{soleil}}}{m_{1s}} = \frac{2 \cdot 10^{30}}{4 \cdot 10^{21}} = 5 \cdot 10^8 \text{ s}$$

Donc si l'énergie du soleil était d'énergie chimique il aurait eu une durée de vie d'environ 16 ans. Or la durée de vie du soleil est de plus de 10 milliards d'années. Cela est dû au fait que l'énergie du soleil est d'origine nucléaire.

#### Exercice 4

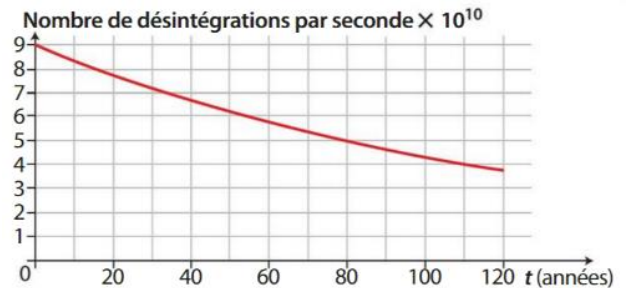
Il y a quelques dizaines d'années, certains stimulateurs cardiaques fonctionnaient) partir de l'énergie libérée par la désintégration de noyaux de plutonium 238 suivant l'équation de réaction:



Son fonctionnement était lié au nombre de noyaux de plutonium se désintégrant par seconde. Il

fallait remplacer le stimulateur lorsque 30% de ses noyaux s'étaient désintégrés.

Après avoir complété correctement l'équation de la réaction en s'aidant du tableau de classification des éléments, déterminer la durée d'utilisation de ce stimulateur cardiaque.



Par conservation du nombre de masse  $A$  et du nombre de charge  $Z$ , on peut en déduire que l'élément chimique  $X$  doit posséder un nombre de masse  $A=234$  et un nombre de charge  $Z=92$ . Il s'agit de l'élément uranium. On pourra donc écrire:



Lorsque 30% des noyaux se sont désintégrés, il restera alors 70% de noyaux radioactifs, c'est à dire  $0,70 \times 9 \cdot 10^{10} = 6,3 \cdot 10^{10}$  désintégrations par seconde. En reportant la valeur sur le graphique, on trouve une durée d'utilisation d'environ  $t \approx 50$  ans.

