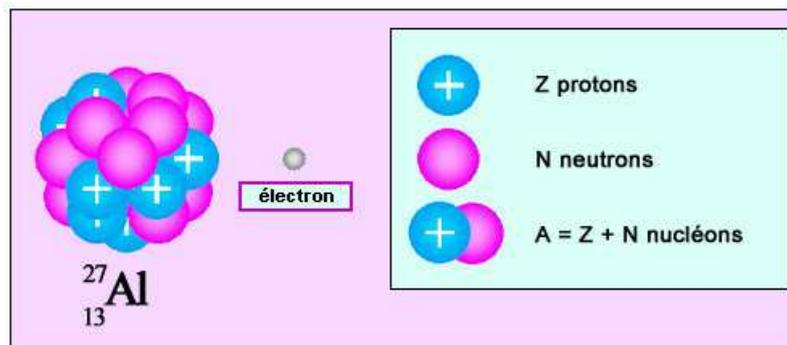


LA RADIOACTIVITE

LE NOYAU:

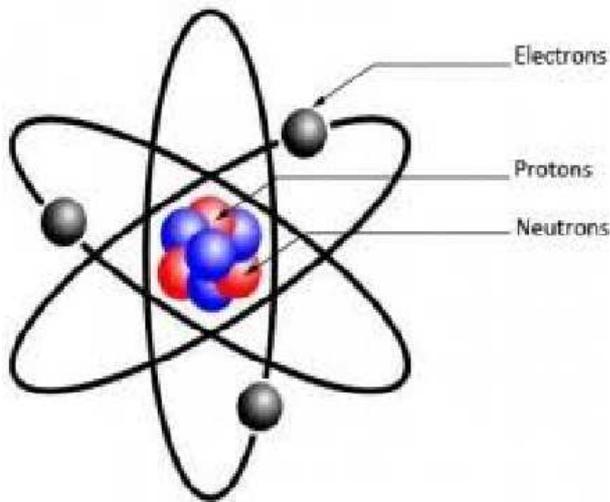
Toute la matière, ou presque, se retrouve concentrée dans de minuscules noyaux 100000 fois plus petits que l'atome, mais environ 4000 fois plus lourds que le cortège de leurs électrons. Les noyaux sont constitués de **protons** et de **neutrons**. L'habitude est de regrouper protons et neutrons sous l'appellation commune de « **nucléons** ».

La représentation classique d'un noyau est celle d'un assemblage compact de protons et de neutrons, caractérisé principalement par deux nombres : **Z** le nombre de protons et **N** le nombre de neutrons. Le nombre total de nucléons **A** est la somme des deux : **A=N+Z**. Comme les protons et neutrons ont pratiquement la même masse, **A** est en proportion de la masse du noyau, c'est pourquoi on l'appelle nombre de masse, alors que le nombre **Z** est en proportion de sa charge électrique et c'est lui qui détermine l'élément c'est pourquoi on l'appelle numéro atomique.

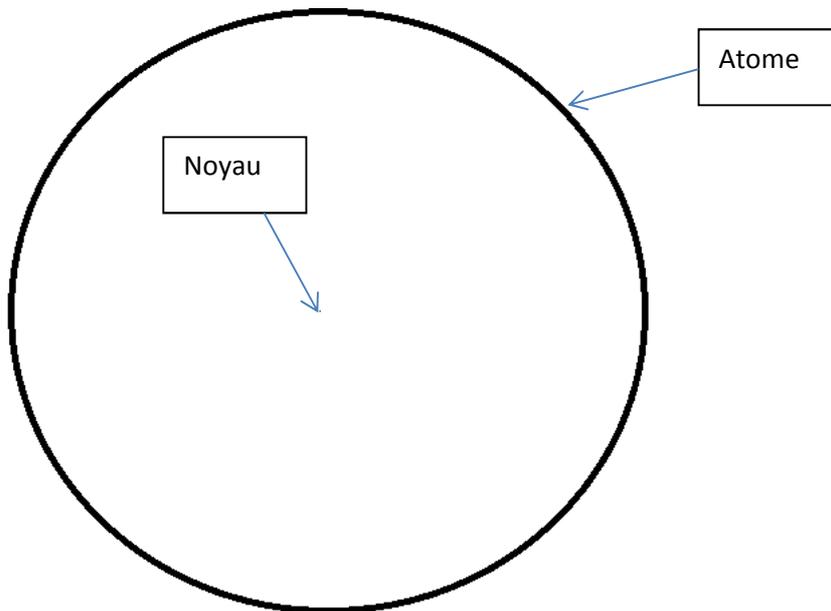


Pour les noyaux présents dans l'Univers, **A** varie de 1 à 238, **Z** de 1 à 92. Le noyau naturel le plus lourd est celui de l'uranium-238 composé de 92 protons et 146 neutrons, donc de 238 nucléons.

Ces nucléons sont constitués de particules appelées quarks qui sont liés entre eux par une interaction appelée l'interaction forte ou interaction de couleurs (quarks, couleurs), un dérivé de cette interaction maintient la cohésion des nucléons entre eux en éliminant l'effet des forces électrostatiques entre les protons.



Cette représentation courante de l'atome est fautive, car elle ne rend pas compte correctement du rapport entre les dimensions du noyau et de l'atome.



Si l'on représente l'atome par le cercle qui se trouve à gauche, alors le noyau ne sera pas visible à l'œil nu, tellement il est petit par rapport à l'atome

REPRESENTATION DES PARTICULES EN PHYSIQUE NUCLEAIRE :



Z : numéro atomique (nombre de charges élémentaires (e)). Ce n'est plus le nombre de protons comme en chimie.

Dans le cas où X est un élément chimique, alors Z représente aussi le nombre de protons dans le noyau.

A : nombre de masse.

Exemples :

- Le carbone est représenté par : ${}^{12}_6 C$, ici Z=6, donc la charge du noyau est égale à +6e et le nombre de protons est égal à 6.

- Le positon est représenté par : ${}_{+1}^0e$, ici $Z=1$, donc la charge du positon est égale à $+e$, mais le nombre de protons est égal à 0, car le positon n'est pas un élément chimique. Et il ne contient pas de protons.

DEFINITIONS :

NUCLEIDE : Un **nucléide** est un type de noyau atomique caractérisé par le nombre de protons et de neutrons qu'il contient.

Isotopes : Noyaux ayant le même nombre de protons mais pas le même nombre de neutrons. ${}^{12}_6C$, ${}^{13}_6C$, ${}^{14}_6C$

Isobares : Noyaux ayant le même nombre de masse A mais pas le même nombre de protons. ${}^{17}_7N$, ${}^{17}_8O$, ${}^{17}_9F$

Isotones : Noyaux ayant le même nombre de neutrons. ${}^{13}_6C$, ${}^{14}_7N$.

Isomères : Noyaux ayant le même nombre de masse et le même numéro atomique, mais pas la même énergie interne, ils possèdent des énergies internes différentes. ${}^{99}_{43}Tc$, ${}^{99m}_{43}Tc$.

Le **technétium 99m** (${}^{99m}_{43}Tc$) est un isomère du ${}^{99}_{43}Tc$. On dit qu'il est métastable, car il possède une énergie interne supérieure à celle du ${}^{99}_{43}Tc$. Il se désintègre en émettant un rayonnement γ de 140 KeV.

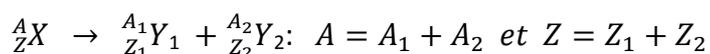
DEFINITION DE LA RADIOACTIVITE :

La **radioactivité** est un phénomène physique de stabilisation de noyaux atomiques instables (dits radionucléides), au cours duquel, à tout instant, une fraction fixe et caractéristique des noyaux présents se transforme spontanément en d'autres noyaux (désintégration), en émettant simultanément des particules matérielles (électron, noyau d'hélium, positon...) et de l'énergie (cinétique et électromagnétique (photons)).

La radioactivité a été découverte en 1896 par Henri Becquerel qui a découvert que certaines substances émettent spontanément des rayonnements capables de traverser la matière.

Propriétés de la désintégration radioactive :

- 1- Respecte la conservation de la charge électrique Z et du nombre de masse A . Z et A doivent être conservés après la désintégration.



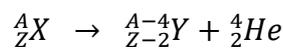
- 2- Spontanéité : la désintégration se produit sans aucune intervention extérieure. Elle n'a besoin d'aucune condition particulière (température, pression,....etc)

- 3- Aléatoire : lorsque l'on considère un noyau en particulier, on ne peut pas savoir quand il va se désintégrer. Dans un échantillon, on ne peut pas savoir quel noyau va se désintégrer.
- 4- Inéluctable : rien ne peut arrêter, ralentir ou accélérer la cadence de désintégration d'un échantillon radioactif.

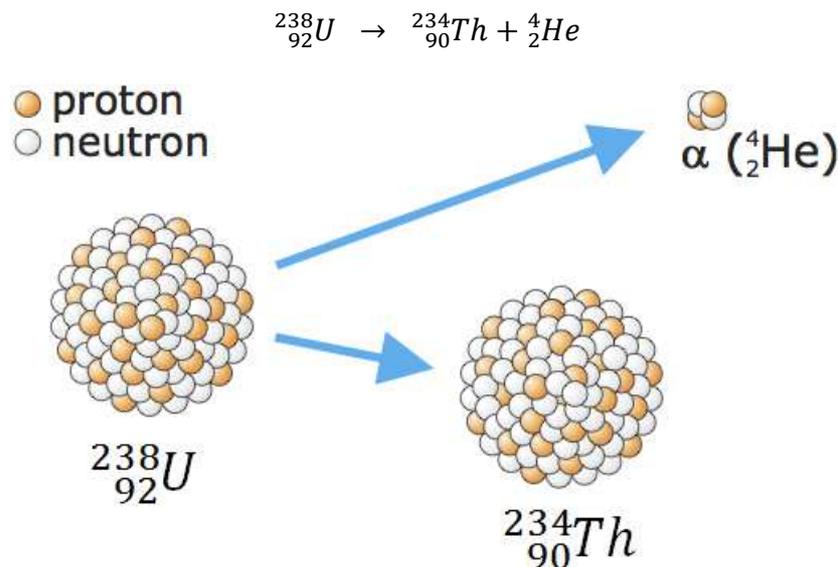
DESINTEGRATIONS ALPHA, BETA ET GAMMA :

Il existe trois grands types de désintégrations :

- **La désintégration alpha (α)** : entraîne l'émission d'un rayonnement α (noyau d'hélium (${}^4_2\text{He}$)). Les périodes des désintégrations α sont souvent longues.



Exemple :



Ce type de désintégration se produit pour les noyaux lourds $Z > 82$

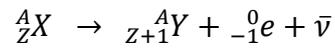
- **La désintégration bêta (β)** : entraîne l'émission d'un rayonnement β .

Un rayonnement β est soit un électron (e^-) soit un positon (e^+). De ce fait il y a deux types de désintégrations β , la désintégration β^- et la désintégration β^+ .

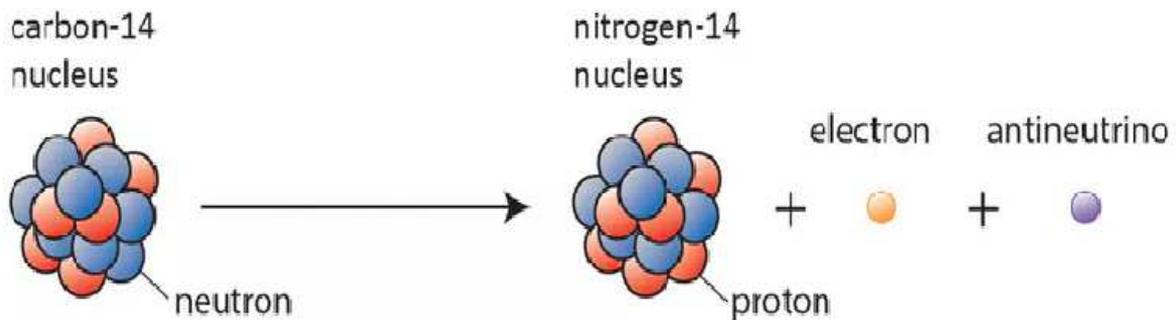
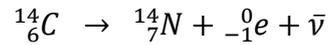
Les périodes radioactives des désintégrations β sont plus courtes, parfois même très courtes.

1- La désintégration bêta (β^-) :

Lorsque dans le noyau il y a un excès de neutrons, alors l'un d'eux se transforme en proton. Il y a émission d'un électron et d'un antineutrino (${}^0_0\bar{\nu}$)

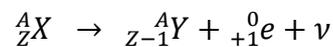


Exemple :

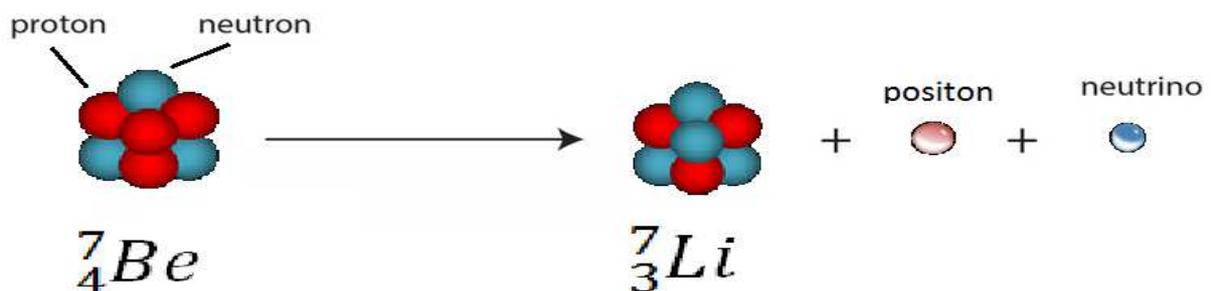
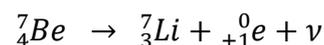


2- La désintégration bêta (β^+) :

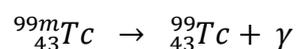
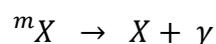
Lorsque dans le noyau il y a un excès de protons, l'un d'eux se transforme en neutron. Il y a émission d'un positon et d'un neutrino (${}^0_0\nu$).

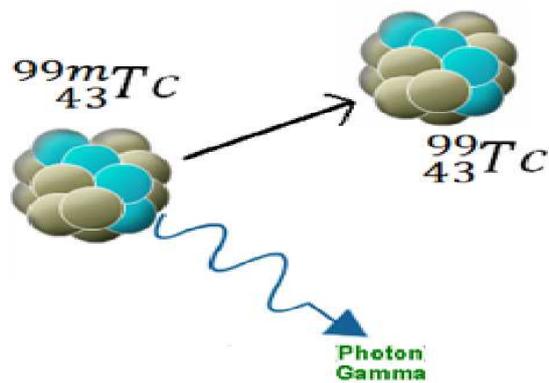


Exemple :



- **La désintégration gamma (γ) :** correspond à l'émission de photons énergétiques.

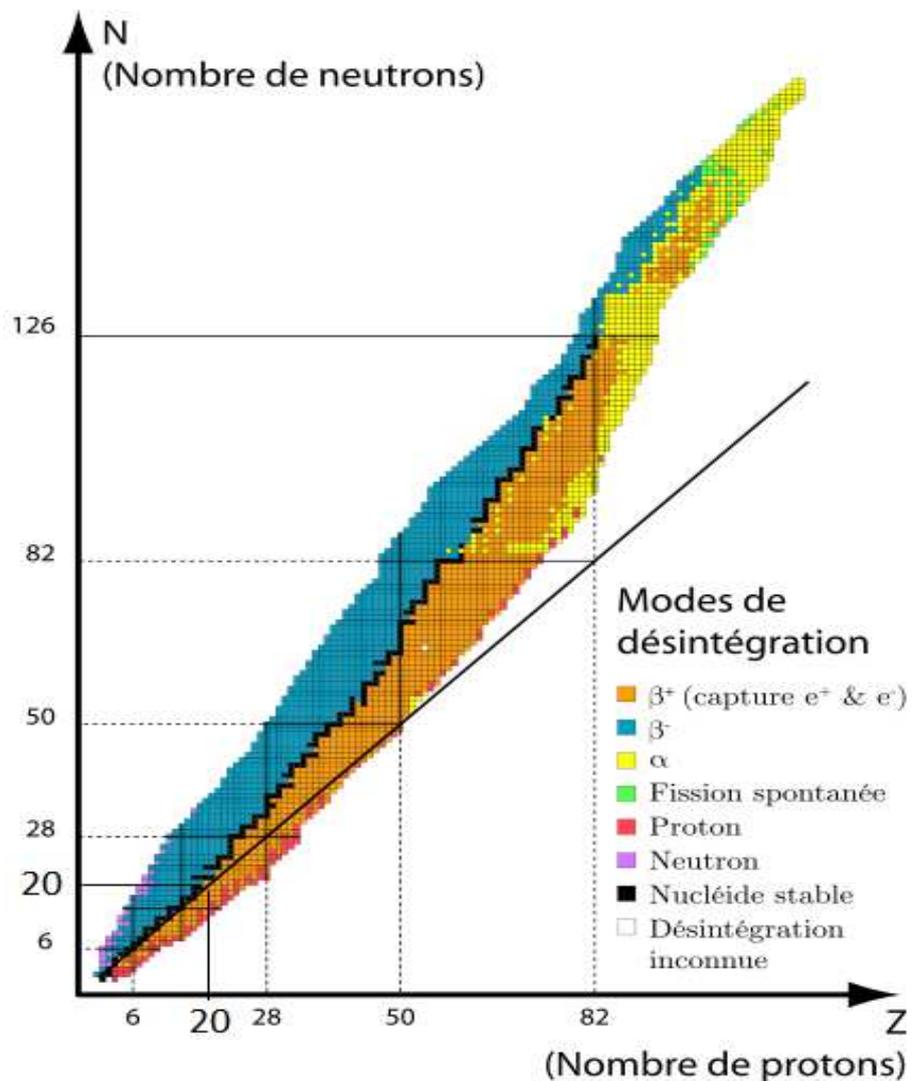




IMPORTANT :

Les désintégrations α et β sont souvent accompagnées de l'émission d'un ou plusieurs rayons γ .

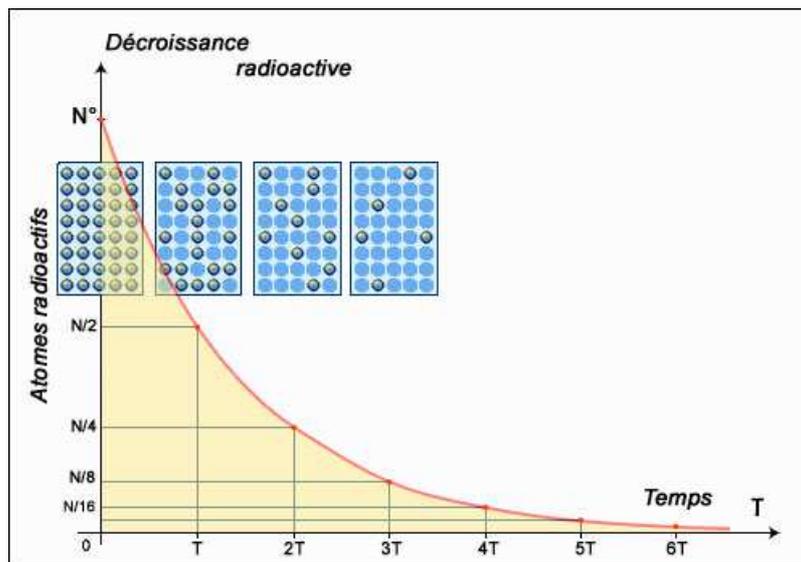
LA CARTE N-Z :



Le graphique représentant le nombre de neutrons en fonction du nombre de protons est appelé carte N-Z, on y distingue plusieurs zones différentes:

- Les noyaux stables ("vallée de la stabilité")(noyaux représentés en noir dans le graphique):
 Pour $Z < 20$, les noyaux stables se situent au voisinage de la droite $Z=N$
 Pour $Z > 20$, le nombre de neutrons augmente plus vite que le nombre de protons, les noyaux stables se situent au-dessus de cette droite.
- Les noyaux instables sont séparés en 3 cas:
 1. Excès de neutrons (au-dessus de la vallée de la stabilité)(zone bleue), les radionucléides appartenant à cette zone se désintègrent par émission d'un électron: particules β^-
 2. Défaut de neutrons (en dessous de la vallée de la stabilité) (zone orange), les radionucléides appartenant à cette zone se désintègrent par émission d'un positon, ils sont radioactifs β^+ .
 3. Noyaux ayant un défaut de neutrons et dont $A > 170$ se désintègrent par émission α .

Loi de décroissance radioactive :



Soit $N(t)$ le nombre de radionucléides d'un élément chimique donnés présents dans un échantillon à un instant t quelconque. N diminue au cours du temps : dN est la variation de N ($dN < 0$ puisque N diminue), le nombre de noyaux disparus est : $-dN$.

Comme la probabilité de désintégration d'un de ces radionucléides ne dépend ni de la présence d'autres radionucléides ni du milieu environnant, le nombre total de désintégrations $-dN$ pendant un petit intervalle de temps dt est proportionnel au nombre de radionucléides N présents à l'instant t et à la durée dt de cet intervalle :

$$-dN = \lambda \cdot N \cdot dt$$

où la constante de proportionnalité λ , appelée constante radioactive du radionucléide considéré, possède la dimension de l'inverse d'un temps ; la constante λ est positive.

En intégrant l'équation différentielle précédente, on trouve le nombre $N(t)$ de radionucléides présents dans l'échantillon à un instant t quelconque, sachant qu'à un instant donné $t = 0$ il y en avait N_0 ; c'est une loi de décroissance exponentielle :

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

où :

- N_0 est le nombre initial de noyaux radioactifs (non-désintégrés) ;
- λ est la constante radioactive de l'élément.

Remarques :

- 1- Cette loi de décroissance s'applique aussi à la masse des noyaux du radionucléide :

Sachant que la masse d'un noyau d'un certain nucléide est égale à :

$$m = \frac{M}{N_A} \rightarrow m(g) = \frac{A}{N_A}$$

M est la masse molaire,

N_A nombre d'Avogadro.

A nombre de masse.

Donc :

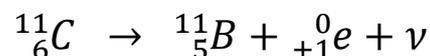
$$m(t) = m_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$m(t)$: masse de l'échantillon à l'instant t .

m_0 masse initiale de l'échantillon.

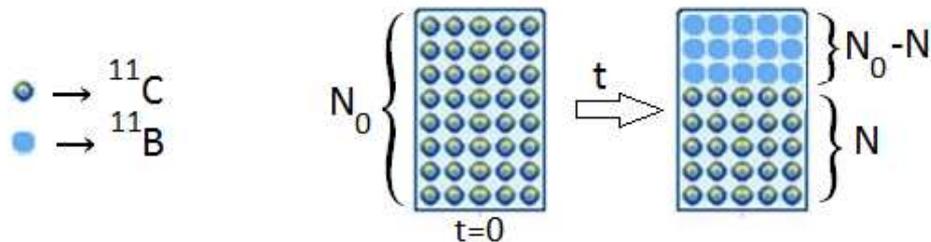
- 2- **N représente le nombre de noyaux qui ne se sont pas désintégrés. Le nombre de noyaux qui se sont désintégrés est égal à $N_0 - N$.**

Exemple :



Si à l'instant $t = 0$ on a un échantillon ne contenant que des noyaux de ${}^{11}_6\text{C}$ alors :

N représente ici le nombre de noyaux de carbone restants (qui ne se sont pas désintégrés).
 Le nombre de noyaux de $^{11}_6\text{C}$ qui se sont désintégrés est égal au nombre de noyaux de bore ($^{11}_5\text{B}$) qui se sont formés et il est égal à $N_0 - N$.



L'ACTIVITE :

L'**activité** d'un échantillon de matière radioactive est définie par le nombre des désintégrations par unité de temps qui se produisent en son sein à chaque instant. Cette activité est une caractéristique primordiale de cet échantillon avec la nature des rayons émis. Elle représente sa « radioactivité de base ». Quand l'échantillon contient plusieurs éléments, l'activité totale est la somme des activités de chaque élément.

On définit officiellement l'activité d'un échantillon de matière radioactive comme le nombre de désintégrations qui s'y produisent par seconde.

L'activité se mesure en Becquerels (Bq) ou en curies (Ci).

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ désintégration/seconde}$$

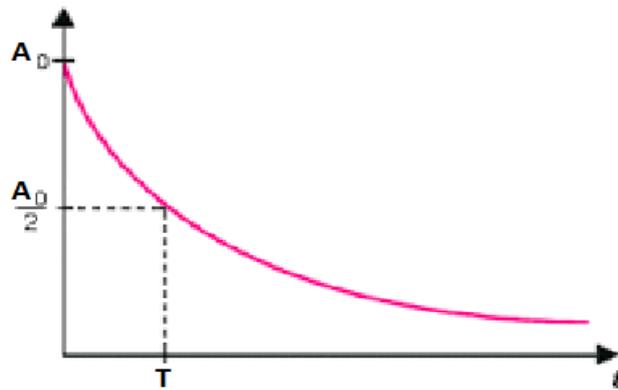
$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ Bq}$$

$$A_c = \frac{-dN}{dt} = \lambda \cdot N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A_c(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad : \quad A_0 = \lambda N_0$$

A_c : activité au temps t .

A_0 : activité initiale.



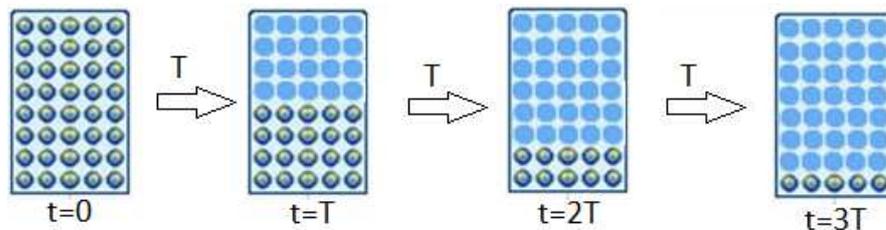
LA PERIODE :

La **période radioactive**, ou période d'un isotope radioactif, est le temps nécessaire pour que la moitié des noyaux de cet isotope initialement présents se désintègrent naturellement.

Elle représente aussi le temps nécessaire pour que l'activité de l'échantillon diminue de moitié.

Si au temps $t = 0$ on a : $N = N_0$, alors au temps $t = T$ (T est la période) on aura : $N = \frac{N_0}{2}$
donc :

$$N(T) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot T} = \frac{N_0}{2} \rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda} \text{ et } \lambda = \frac{\ln 2}{T}$$



Si l'on pose $n = \frac{t}{T}$ alors on obtient :

$$N = N_0 e^{\frac{-\ln 2}{T} \cdot t} = \frac{N_0}{2^n}$$

Et de même pour l'activité, on peut l'écrire :

$$A_c = \frac{A_0}{2^n}$$

n représente le nombre de périodes.

Relation entre la masse d'un radionucléide et son activité :

On a :

$$m(g) = \frac{N \cdot A}{N_A}$$

Et comme $N = \frac{A_c}{\lambda}$ donc :

$$m(g) = \frac{A_c \cdot A}{\lambda \cdot N_A} = \frac{A_c \cdot A \cdot T}{N_A \cdot \ln 2}$$

L'unité du temps dans l'activité et la période doit être la même, c-à-d si j'utilise désintégration/seconde pour l'activité je dois utiliser la seconde pour la période. Par contre si j'utilise désintégration/minute pour l'activité, alors je dois utiliser la minute comme unité de la période.

TAUX DE DESINTEGRATIONS ET TAUX DE RAYONNEMENTS EMIS :

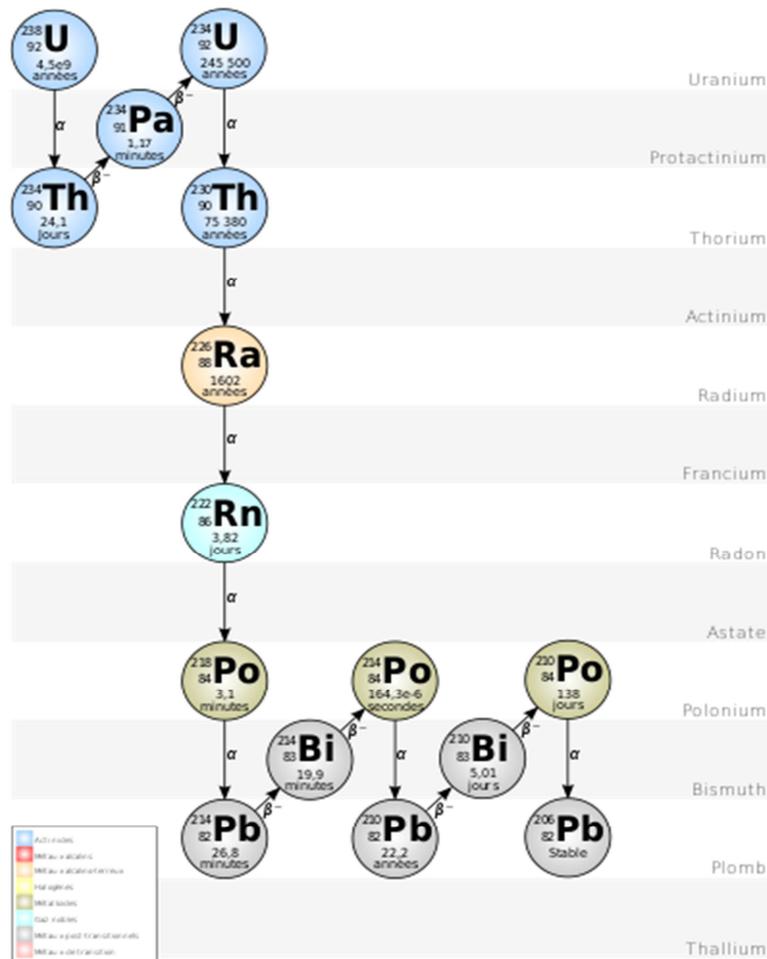
L'activité se mesure par le **nombre de rayonnements émis** par unité de temps. Plus une substance est active, plus elle émet de rayons. L'activité alpha ou bêta est égale au nombre de rayons alpha ou bêta émis par unité de temps. L'activité gamma dépend du nombre moyen de gamma par désintégration. Dans la plupart des cas où 100% des désintégrations produisent un alpha ou un bêta, les nombres de désintégrations et les activités alpha ou bêta sont égales.

FILIATION RADIOACTIVE :

Jusqu'ici on a considéré uniquement le cas où un radionucléide se désintègre pour produire un élément stable. Mais en réalité et dans la majorité des cas, le nucléide produit lors de la première désintégration n'est pas stable, et donc lui aussi est un radionucléide (instable) qui va se désintégrer et ainsi de suite. Cette succession de désintégrations s'appelle filiation radioactive.

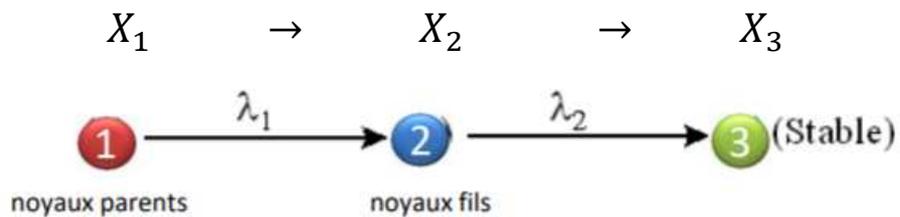
Dans le cas de la radioactivité naturelle, une filiation radioactive peut compter jusqu'à 15 désintégrations successives.

Exemple :



Chaîne de désintégration de $^{238}_{92}\text{U}$ qui comporte 14 désintégrations.

Dans ce qui suit on va se limiter au cas où l'on a uniquement deux désintégrations successives qui conduiront à un élément stable.



X_1 est appelé radionucléide père (parent).

X_2 est appelé radionucléide fils (descendant).

X_3 est le nucléide stable.

Supposons que dans un échantillon, à l'instant $t = 0$ il n'y a que des noyaux du nucléide père X_1 .

$$N_{10} \neq 0, N_{20} = 0, N_{30} = 0$$

A l'instant $t = 0$ on a :

$$N_1(t = 0) = N_{10}$$

$$N_2(t = 0) = 0$$

$$N_3(t = 0) = 0$$

Entre t et $+dt$, N_1, N_2 et N_3 subissent des variations dN_1, dN_2 et dN_3 .

Il disparaît (se désintègre) $\lambda_1 N_1 dt$ noyaux du nucléide père, il apparaît (se forme) $\lambda_1 N_1 dt$ noyaux du nucléide fils et il en disparaît $\lambda_2 N_2 dt$ noyaux. Enfin il apparaît $\lambda_2 N_2 dt$ noyaux du nucléide stable.

$$dN_1 = -\lambda_1 N_1 dt$$

$$dN_2 = +\lambda_1 N_1 dt - \lambda_2 N_2 dt = (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2) dt$$

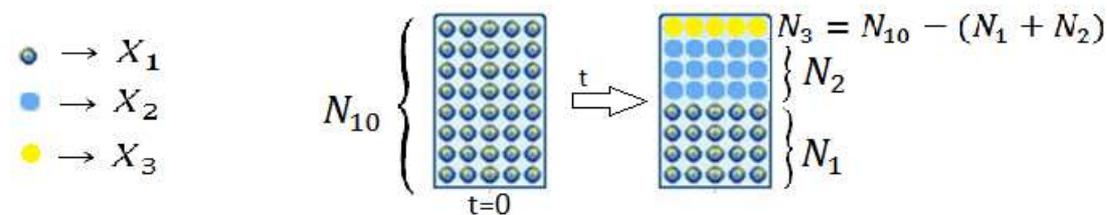
$$dN_3 = +\lambda_2 N_2 dt$$

L'intégration de ces équations différentielles donne :

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$N_3 = N_{10} - (N_1 + N_2)$$



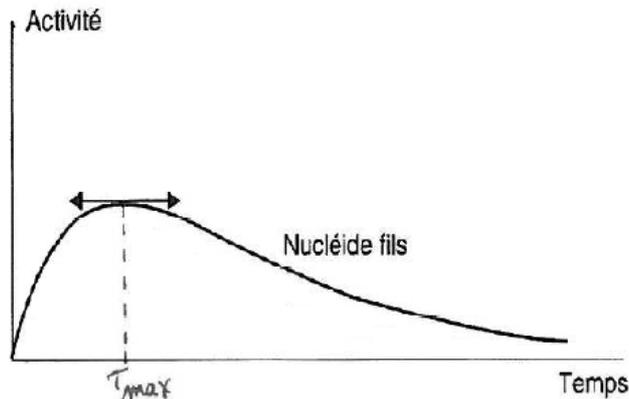
Les activités radioactives correspondantes sont :

$$A_1 = \lambda_1 N_1 = A_{10} \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t}$$

$$A_2 = \lambda_2 N_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$A_3 = 0 \quad \text{puisque } X_3 \text{ est stable.}$$

Maximum de N_2 et A_2 :



On sait qu'aux instants $t = 0$ et $t = \infty$, N_2 et A_2 sont nuls, donc obligatoirement ils passent par un maximum. Ce maximum est atteint pour un temps $t = t_m$ que l'on peut calculer en mettant :

$$\left. \frac{dN_2(t)}{dt} \right|_{t=t_m} = 0 \quad \text{ou bien} \quad \left. \frac{dA_2(t)}{dt} \right|_{t=t_m} = 0$$

On obtient :
$$t_m = \frac{\ln(\frac{\lambda_2}{\lambda_1})}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

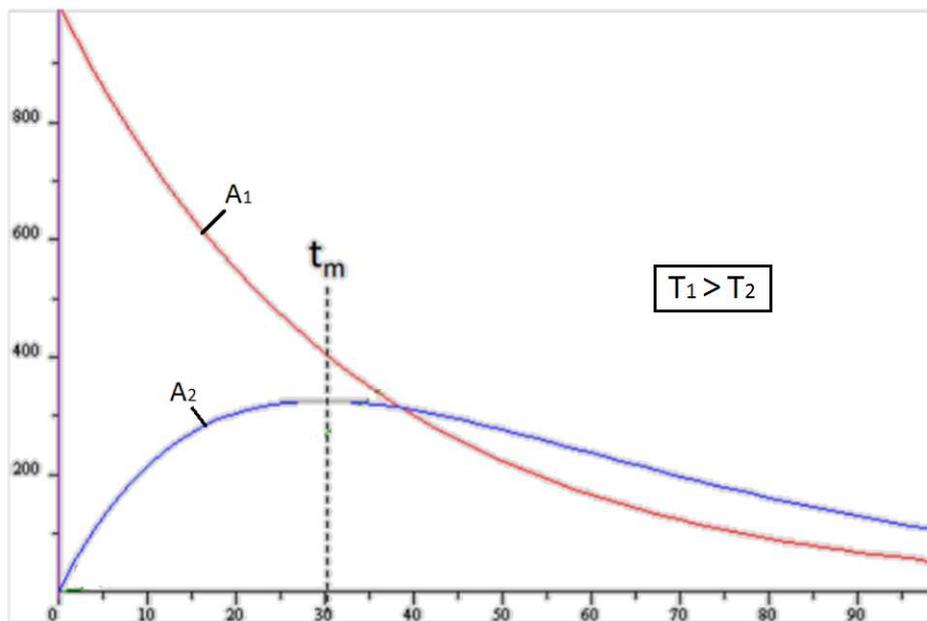
EQUILIBRES ENTRE ACTIVITES DU PERE ET DU FILS:

On est en présence de deux types de noyaux radioactifs de périodes T_1 et T_2 . Selon la grandeur de T_1 devant T_2 , on distingue généralement trois cas:

- $T_1 > T_2$ dans ce cas on atteint un équilibre.
- $T_1 < T_2$ dans ce cas il n'y a pas d'équilibre.
- $T_1 \approx T_2$ cas des périodes voisines.

Lorsque le rapport $\frac{A_2(t)}{A_1(t)}$ est constant, on dit qu'il y a équilibre sinon pas d'équilibre.

T1 > T2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) Equilibre transitoire (de régime) :



Après un temps de décroissance assez grand, ($t \gg t_m$), on peut écrire, du fait que $\lambda_1 < \lambda_2$, que l'activité du fils (descendant) est:

$$\lambda_1 < \lambda_2 \rightarrow e^{-\lambda_1} \gg e^{-\lambda_2} \rightarrow e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \approx e^{-\lambda_1 t}$$

$$A_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \approx \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{10} (e^{-\lambda_1 t})$$

$$t \gg t_m \rightarrow \frac{A_2(t)}{A_1(t)} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} = cste > 1$$

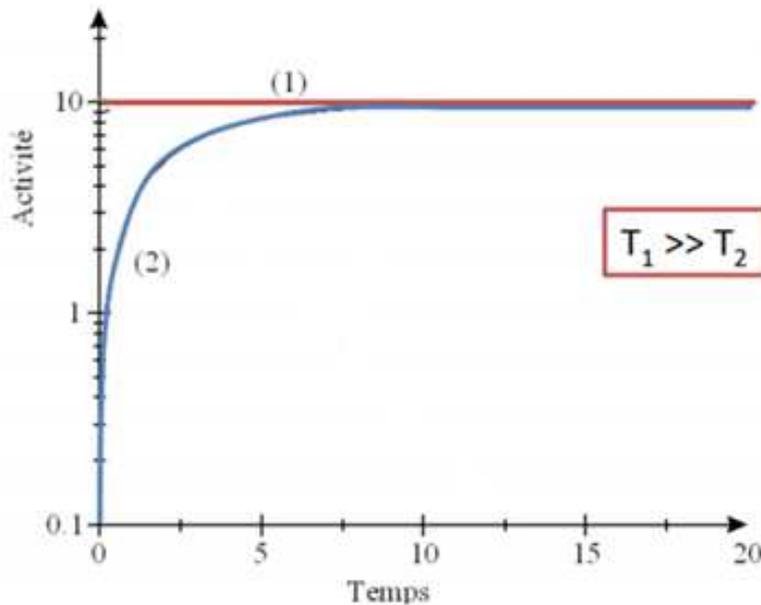
les noyaux fils décroissent avec la période du père. Dans ce cas on atteint un équilibre appelé équilibre transitoire.

En conclusion, on peut retenir les points suivants:

- Lorsque t devient assez grand, l'activité du descendant et l'activité totale décroissent avec la même période qui est la période du parent.
- Le descendant décroît seulement après le temps t_m , sa décroissance est donc déterminée par sa formation.

$$t \gg t_m \longrightarrow \boxed{\frac{A_2(t)}{A_1(t)} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} > 1}$$

$T_1 \gg T_2$ ($\lambda_1 \ll \lambda_2$) Equilibre séculaire :



Pour les faibles valeurs de t , les activités du père et du fils deviennent :

$$A_1(t) \approx A_{10} , \quad A_2(t) \approx A_{10}(1 - e^{-\lambda_2 t})$$

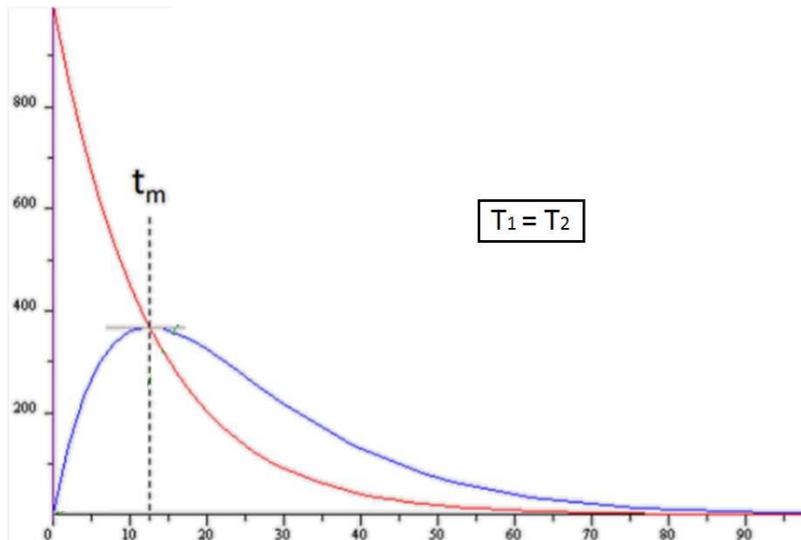
Pour $t > T_2 \rightarrow e^{-\lambda_2 t} = e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_2}} \approx 0$:

$$A_1(t) \approx A_{10} , \quad A_2(t) \approx A_{10}$$

$$\frac{A_2(t)}{A_1(t)} \approx 1$$

Dans ce cas les deux activités sont égales, on dit qu'il y a équilibre séculaire.

$T_1 \approx T_2$, $\lambda_1 \approx \lambda_2$:



$$\frac{A_2(t)}{A_1(t)} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} [1 - \exp(-(\lambda_2 - \lambda_1)t)]$$

le rapport $\frac{A_2(t)}{A_1(t)}$ est fonction du temps, donc il n'y a pas d'équilibre.

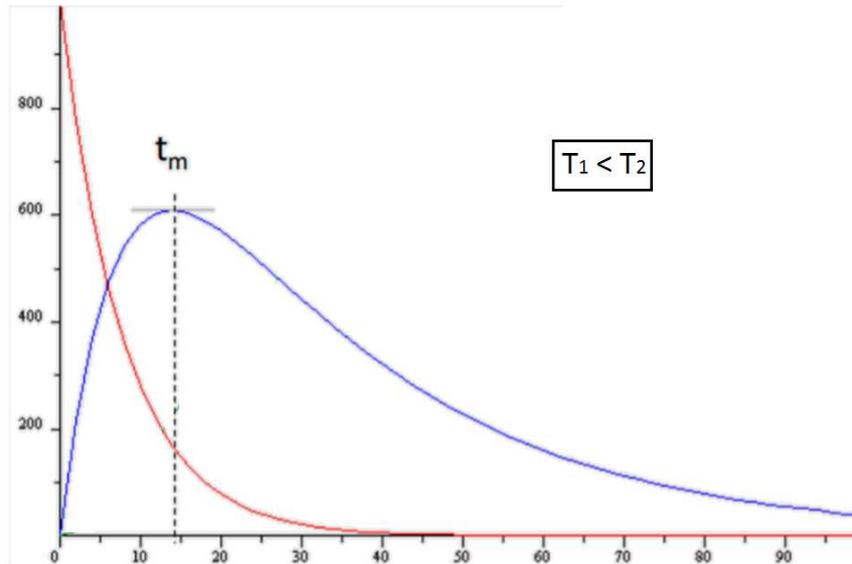
Remarque :

Dans ce cas précis lorsque \$A_2\$ atteint son maximum, il y a égalité avec \$A_1\$:

$$t = t_m \rightarrow A_2 = A_1$$

Ou bien : $A_2(t_m) = A_1(t_m)$.

T₁ < T₂ (λ₁ > λ₂) Non-Equilibre :



- T₁ < T₂ dans ce cas il n'y a pas d'équilibre

L'équilibre radioactif n'est jamais atteint car, pour t assez grand, il ne subsiste que les noyaux descendants.

PERIODE PHYSIQUE, PERIODE BIOLOGIQUE ET PERIODE EFFECTIVE:

La **période physique** est la période radioactive.

La **période biologique** d'un élément chimique est le temps au bout duquel la moitié d'une quantité ingérée ou inhalée (telle une drogue ou un radioisotope) est éliminée de l'organisme uniquement par des voies naturelles (sueurs, urines...).

Pour un radionucléide donné, l'élimination se fait à la fois par voies naturelles (suivant sa période biologique) et par décroissance radioactive du nombre de ses atomes du fait de sa radioactivité (suivant sa période radioactive propre, ou période physique). Pour les radionucléides, on définit la **période effective**, qui correspond au temps au bout duquel l'activité dans l'organisme aura été divisée par deux, du fait de ces deux décroissances.

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b}$$

Exemples :

Élément	Période physique T_p	Période biologique (T_b)	T_e
Iode-131	8,0 j	30 j (thyroïde)	6,3 j
Téchnetium-99m	6 h	1 j	4,8 h
Césium-137	10950 j	150 j	148 j

APPLICATIONS :

Les applications médicales de la radioactivité ont été envisagées sur le plan théorique peu de temps après sa découverte, mais c'est au cours du demi-siècle écoulé qu'elle est véritablement entrée de plain-pied dans la panoplie des moyens diagnostiques (imagerie médicale) et thérapeutiques (radiothérapie) de la médecine.

La « médecine nucléaire » est le domaine médical qui utilise la radioactivité tant pour explorer le corps humain que pour le soigner.

Parmi les méthodes d'imagerie médicale en médecine nucléaire, on a la scintigraphie et la tomographie par émission de positons (TEP).

La scintigraphie :



Gamma camera

Les organes ayant la propriété de fixer sélectivement certains éléments chimiques, on choisit pour les examiner un isotope radioactif approprié qui sera suivi « à la trace » grâce à son rayonnement.

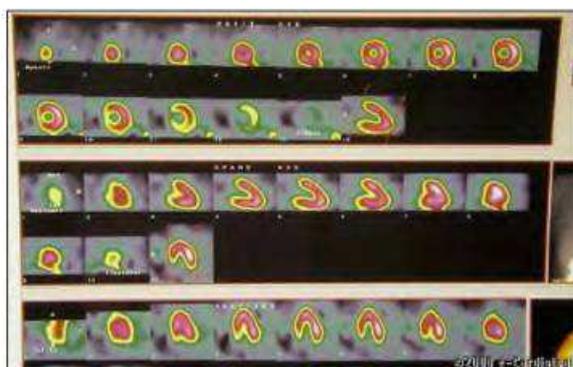
La scintigraphie est très fréquemment utilisée. Elle permet le dépistage précoce des cancers.

Radioisotope	Période	Energie gamma et X	Applications diagnostiques majeures
Technétium - 99m	6 h	140 keV	- Examen foie, rate, moelle osseuse
Thallium-201	72 h	72, 135, 167 keV	- Examen du muscle cardiaque
Iode-131 Iode-123	8 j 13,2 h	365 keV 159 keV	- Examen de la thyroïde,
Xenon-133	5,25 j	81 keV	- Ventilation pulmonaire associée à un examen de perfusion
Gallium-67	3,26 j	93, 185 et 300 keV	- Recherche de foyers de tumeurs et d'infection



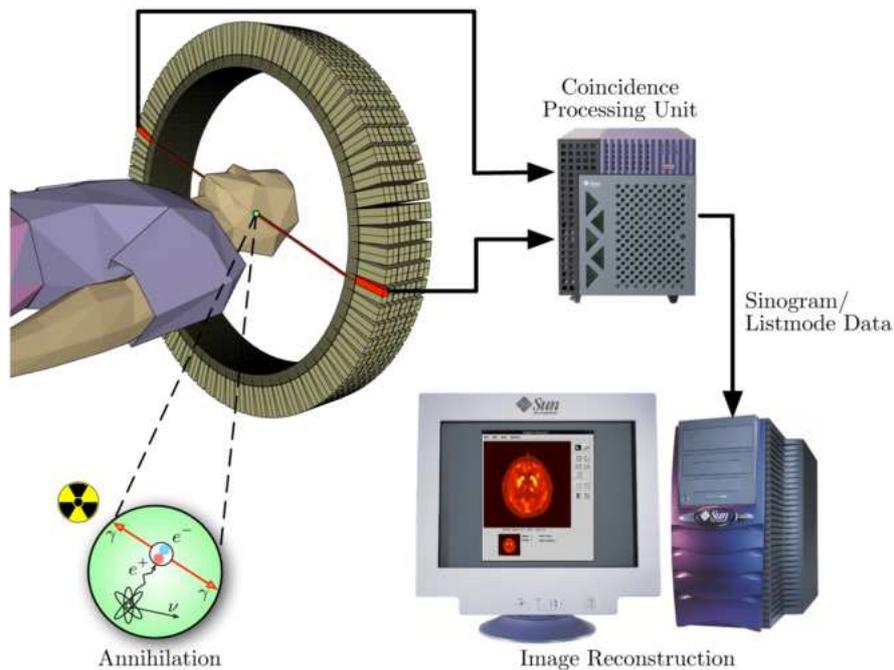
Le produit radio-actif se fixe sur les cellules du muscle cardiaque lorsque celui-ci est vivant et ne se fixe pas si le muscle est mort.

Ainsi, les zones vivantes du muscle sont colorées en rouge alors que les zones mortes sont colorées en bleue ou vert.



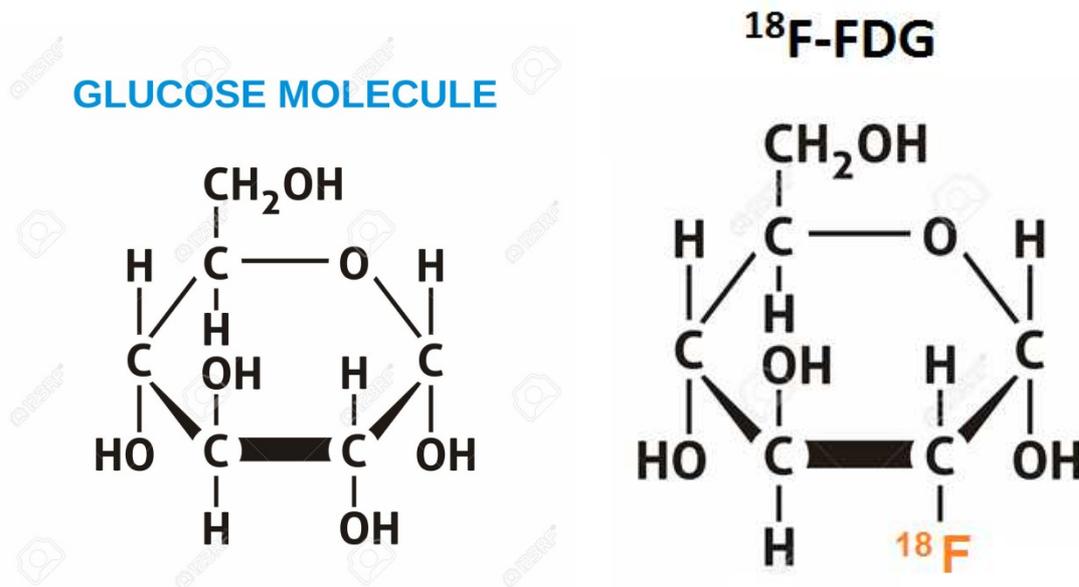
Description d'une scintigraphie du cœur. Toutes les zones qui sont rouges ou oranges sont normales alors que celles qui sont jaunes ou bleues n'ont pas assez de sang.

La tomographie par émission de positons (TEP)



Une tomographie par émission de positons (TEP) est un examen d'[imagerie médicale](#) par scintigraphie réalisé dans un service de [médecine nucléaire](#).

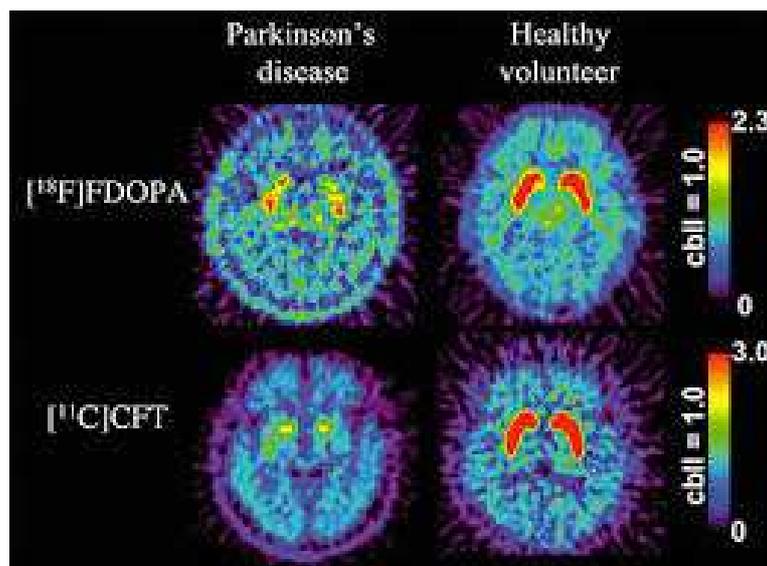
La scintigraphie en TEP est obtenue par injection d'un traceur faiblement radioactif par voie intraveineuse. Le marqueur est le plus souvent le fluor 18 (^{18}F) incorporé dans une molécule de glucose formant le ^{18}F -fluorodésoxyglucose (en abrégé ^{18}F -FDG).



Ce traceur est semblable au glucose : il se fixe au niveau des tissus qui consomment de grandes quantités de ce sucre, comme les tissus cancéreux, le muscle cardiaque ou encore le cerveau. Le fluor 18, dont la période est inférieure à deux heures, émet ensuite de façon temporaire des rayonnements que l'on peut suivre dans l'organisme du patient grâce à une

caméra spéciale, une caméra TEP. Le fluor 18 ainsi que les autres isotopes pouvant être utilisés (oxygène 15 (^{15}O), azote 13 (^{13}N), carbone 11 (^{11}C)) ont une courte demi-vie, jusqu'à 110 minutes pour le fluor. Ces isotopes de courte durée nécessitent pour leur production un cyclotron.

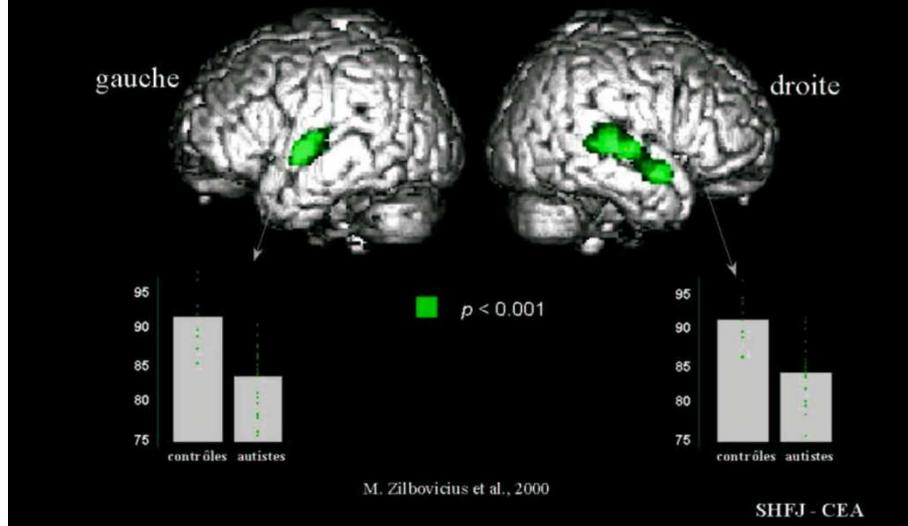
Une caméra TEP est un appareil qui a l'aspect d'un *scanner* mais son principe de fonctionnement est différent. En effet, l'atome radioactif (par exemple, le fluor 18) se désintègre en émettant un positon. Celui-ci va s'annihiler avec un électron du milieu, après un très court parcours de l'ordre du millimètre (0,6 mm dans l'eau pour le positon du ^{18}F). Cette annihilation produit deux [photons gamma](#) de 511 keV qui partent sur une même direction mais dans un sens opposé, ce qui rend possible le traitement tomographique des données. En effet, les capteurs situés tout autour du patient détectent les photons d'annihilation en coïncidence (c'est-à-dire ceux qui arrivent en même temps), ce qui permet d'identifier la ligne sur laquelle se situe l'émission des photons. Un système informatique reconstitue ensuite à l'aide d'un [algorithme de reconstruction](#) les images de la répartition du traceur au niveau d'une partie ou de la totalité du corps sous la forme d'une image 2D ou d'un objet [3D](#). Les images ainsi obtenues sont dites « d'émission » (la radioactivité provient du traceur injecté au patient). La résolution spatiale de l'image ainsi obtenue est comprise entre 4 et 7 mm en imagerie clinique (pour l'homme) et inférieure à 1,5 mm en imagerie préclinique (destinée au rat ou à la souris).



A gauche : image du cerveau d'un patient atteint de la maladie de Parkinson

A droite : image du cerveau d'un patient sain.

Hypoperfusion bitemporale chez 21 enfants autistes



Autisme (dsc (débit sanguin cérébral))

C. Radiothérapie :

Plus de la moitié des patients souffrant d'un cancer reçoivent un traitement par radiothérapie. Ce seul traitement peut en certains cas suffire ; parfois l'équipe médicale qui soigne le cancer peut estimer qu'une radiothérapie doit suivre une ablation chirurgicale de la tumeur.

Depuis près d'un siècle, la radiothérapie fait partie de l'arsenal thérapeutique des maladies cancéreuses. Après quelques balbutiements, la technique est aujourd'hui bien maîtrisée et constitue avec la chirurgie le traitement le plus répandu des cancers, aboutissant à un grand nombre de guérisons.

Le principe de la radiothérapie :

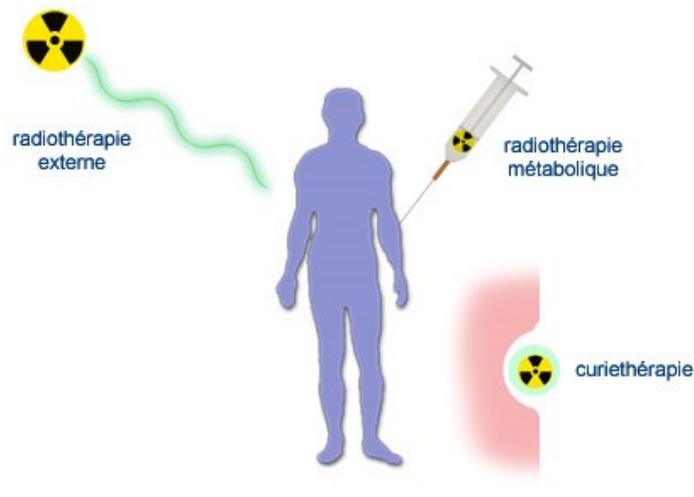
Le principe de la radiothérapie est des plus simples : il s'agit d'exposer les cellules cancéreuses à une **ionisation**, c'est-à-dire une émission de radiations qui va altérer la composition de l'information génétique (ADN) des cellules cancéreuses. La radiothérapie utilise les propriétés des radiations ionisantes qui modifient la structure des atomes. Ces rayons agissent en altérant notamment le patrimoine génétique (ADN) des cellules. Dès lors, ces cellules meurent au moment où elles entrent en division pour se multiplier. On utilise un rayonnement ionisant car les cellules d'une tumeur cancéreuse sont des cellules jeunes, qui se reproduisent facilement. Elles sont de ce fait plus sensibles que les tissus voisins à un rayonnement ionisant susceptible de les détruire.

La radiothérapie est un traitement local pendant lequel des rayons sont délivrés sur une zone précise en préservant le plus possible les tissus sains. Mais ces derniers peuvent également être lésés, provoquant alors des complications. Il faut donc trouver les doses suffisantes pour détruire la tumeur sans altérer les tissus sains environnants.

L'effet différentiel :

Les cellules normales peuvent également être affectées par ces radiations, mais leur taux de réparation est supérieur à celui des cellules cancéreuses. Cet « effet différentiel » explique le bénéfice de la radiothérapie. Cependant la limite est parfois si fine que ces traitements sont bien souvent accompagnés de nombreux effets secondaires.

Les différents types de radiothérapie :



La radiothérapie externe

La **radiothérapie externe** consiste en l'exposition externe du patient. On utilise essentiellement des rayons X ou γ , des électrons et dernièrement des protons. Les rayons traversent la peau pour atteindre les cellules visées. Les photons, les électrons et les protons sont produits par des accélérateurs linéaires.

La curiethérapie

La **curiethérapie** repose sur l'implantation de sources radioactives directement à l'intérieur de la tumeur. La source radioactive est laissée quelques jours en place. Cette technique nécessite une hospitalisation du patient en chambre isolée et protégée.

La radiothérapie métabolique

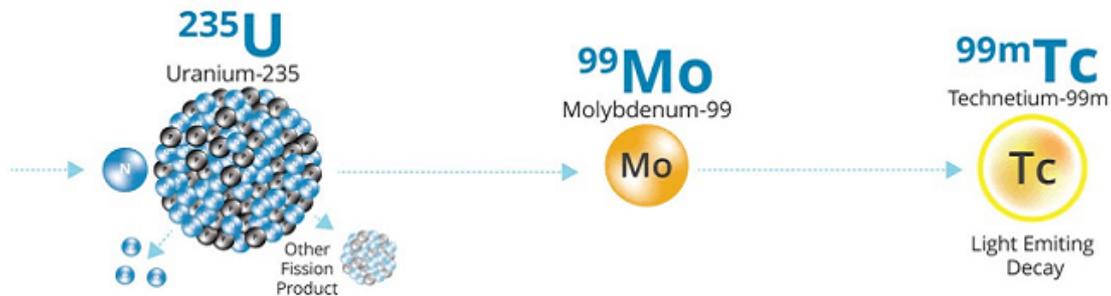
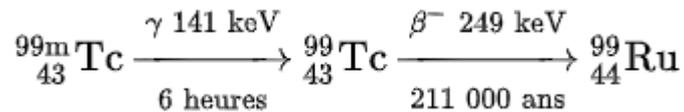
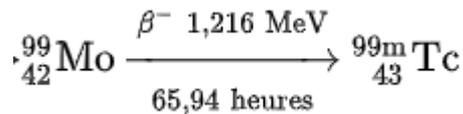
La **radiothérapie métabolique** est utilisée pour traiter certains cancers de la thyroïde, la maladie de Vaquez et certaines métastases osseuses. Ce type de radiothérapie consiste à administrer par voie orale (capsule ou boisson) ou par injection intraveineuse, une substance radioactive qui va se fixer de façon sélective sur les cellules cancéreuses pour les détruire.

- La radiothérapie peut être employée seule ou en association avec d'autres thérapies telles que la chirurgie ou la [chimiothérapie](#). Le choix dépend de la localisation et du stade de la tumeur, et de l'état général du patient.
- La radiothérapie peut précéder la chirurgie pour réduire la taille de la tumeur et la rendre plus facilement opérable. Elle peut aussi la suivre afin de compléter le traitement chirurgical et éliminer le reste de cellules cancéreuses. Enfin, elle peut également être administrée en même temps que la chimiothérapie.

PRODUCTION DE RADIOISOTOPES POUR LA MEDECINE NUCLEAIRE :

PRODUCTION DU ^{99m}Tc ($T = 6 \text{ h}$):

Le Tc 99m est le produit de la désintégration du Mo 99. Ce dernier est produit par différentes méthodes. La plus courante de ces méthodes est la fission de l'U 235 sous l'impact d'un neutron accéléré dans un réacteur nucléaire. Le Mo 99 ainsi obtenu est acheminé vers des centres de fabrication des générateurs de Technetium où il est fixé chimiquement sur des colonnes en alumine. Celles-ci sont placées à l'intérieur de petits conteneurs blindés avec du plomb. Ce dispositif est appelé générateur de Tc 99m.



Pour recueillir les noyaux de Tc 99m qui se sont formés sur la colonne on procède à une élution. Ceci consiste à immerger la colonne dans une solution d'eau salée où les noyaux de Tc 99m vont se dissoudre car faiblement liés à la colonne d'alumine.

Pour recueillir le maximum de noyaux de Tc 99m on procède à l'élution à l'instant où l'activité du Tc 99m est maximale.

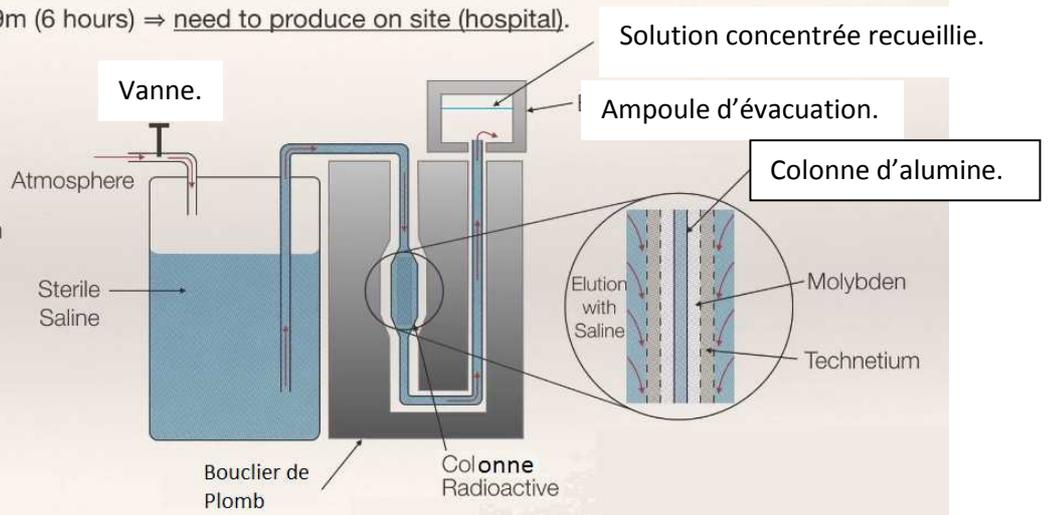
❖ Short half life of Tc-99m (6 hours) ⇒ need to produce on site (hospital).

❖ Lead shields operators from gamma (Tc) and beta⁻ (Mo).

❖ Vial is evacuated; atmospheric pressure will force saline through generator.

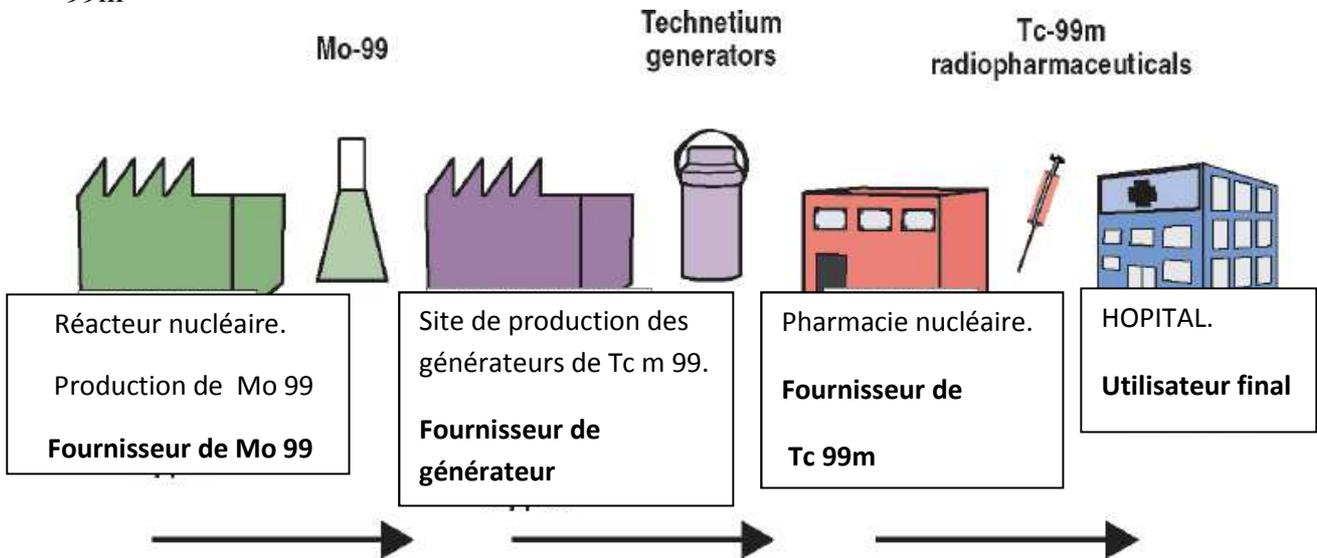
❖ Mo-99 chemically attached to alumina column; not removed during elution.

❖ Regular checks to ensure no Mo or Al in eluted solution.



Générateur de Tc 99m

99m



PRODUCTION DU ¹⁸F (T = 110 min):

La production se fait dans des cyclotrons (dispositif permettant l'accélération de particules chargées) situés près des TEP SCAN à cause de la demi-vie assez courte du ¹⁸F.

Plusieurs réactions nucléaires permettent de produire le fluor 18. La plus utilisée le bombardement d'une cible constituée d'eau enrichie en oxygène 18 par des protons d'énergie élevée (>16 MeV) :

