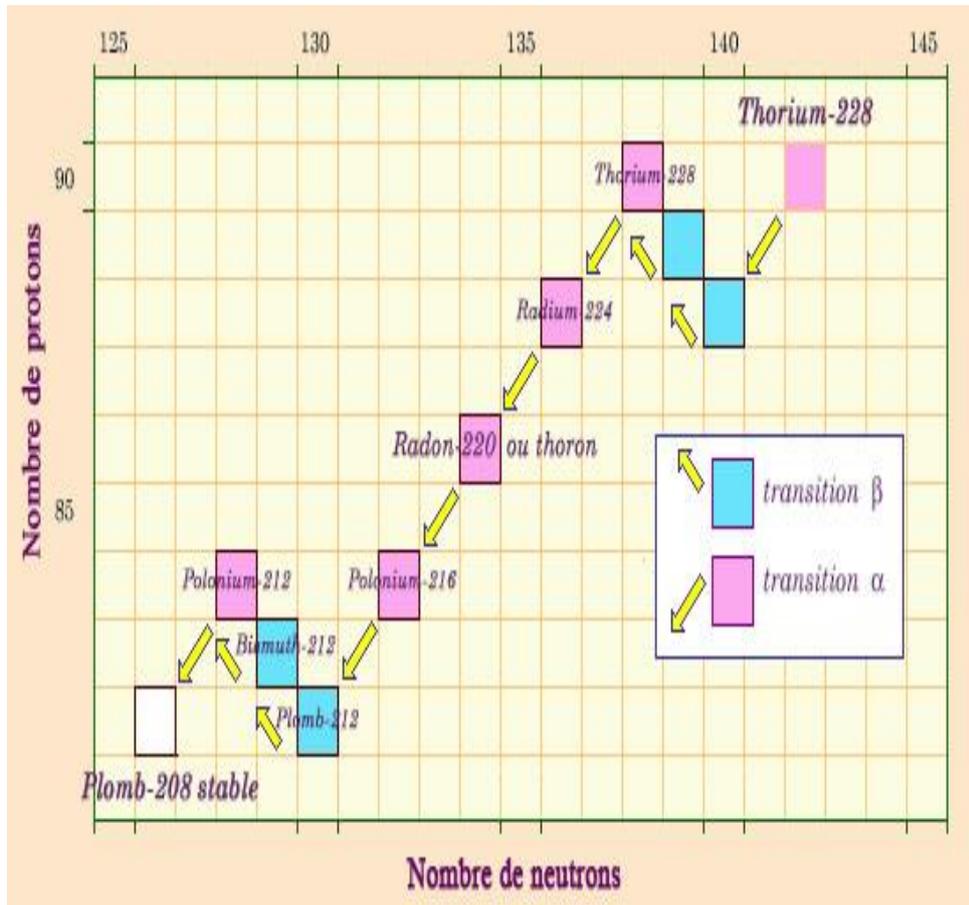


Famille de thorium

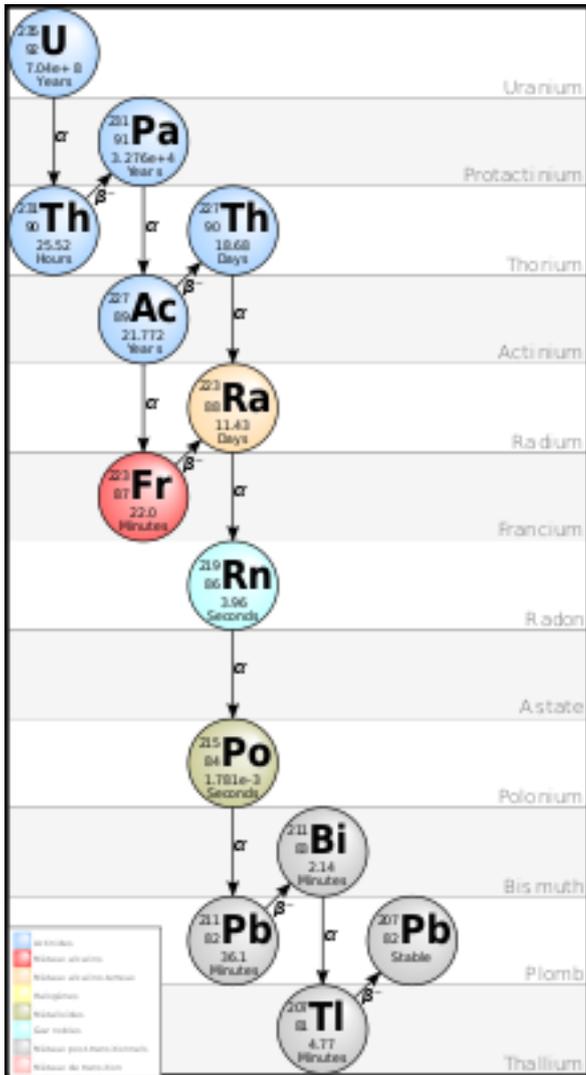
- La filiation du thorium

Le thorium naturel (thorium-232) est comme l'uranium-238 à l'origine d'une succession d'éléments radioactifs qui se termine par un isotope stable du plomb, le plomb-208. La filiation du thorium comporte comme celle de l'uranium un élément gazeux, le radon-220, appelé, pour des raisons historiques le thoron. Cette émanation radioactive est moins dangereuse que le radon de l'uranium. La période du thoron n'étant que de 55 secondes, le gaz n'a pratiquement pas le temps de s'échapper de la roche.

## Famille de thorium

Élément chimique	Rayonnement	Demi-vie
Plutonium 244	Radioactivité alpha	80 millions d'années
Uranium 240	Radioactivité bêta	14,1 heures
Neptunium 240	Radioactivité bêta	62 minutes
Plutonium 240	Radioactivité alpha	6.560 années
Uranium 236	Radioactivité alpha	23,42 millions d'années
<b>Thorium 232</b>	<b>Radioactivité alpha</b>	<b>14,05 millions d'années</b>
Radium 228	Radioactivité bêta	5,75 années
Actinium 228	Radioactivité bêta	6,15 heures
Thorium 228	Radioactivité alpha	1,9 années
Radium 224	Radioactivité alpha	3,63 jours
Radon 220	Radioactivité alpha	55,6 secondes
Polonium 216	Radioactivité alpha	0,145 secondes
Plomb 212	Radioactivité bêta	10,64 heures
Bismuth 212	Deux voies de désintégration : <b>Radioactivité bêta (probabilité de 64,06 %).</b> <b>Radioactivité alpha (probabilité de 35,94 %)</b>	60,55 minutes
$\beta^-$ : Polonium 212	Radioactivité alpha	0,3 $\mu$ -secondes
$\alpha$ : Thallium 208	Radioactivité bêta	3,053 minutes
Plomb 208	Stable	

Famille de l'uranium 235



Famille de l'uranium 235

Élément chimique	Radioactivité	Demi-vie
Plutonium 239	Radioactivité alpha	24 110 années
Uranium 235	Radioactivité alpha	7 milliards d'années
Thorium 231	Radioactivité bêta	25,2 h
Protactinium 231	Radioactivité alpha	32 700 ans
Actinium 227	Radioactivité bêta	21,8 années
Thorium 227	Radioactivité alpha	18,72 jours
Radium 223	Radioactivité alpha	11,43 jours
Radon 219	Radioactivité alpha	3,96 secondes
Polonium 215	Radioactivité alpha	1,78 millisecondes
Plomb 211	Radioactivité bêta	36,1 minutes
Bismuth 211	Radioactivité alpha	2,15 minutes
Thallium 207	Radioactivité bêta	4,77 minutes
Plomb 207	Stable	

Elément	Famille de l'235U	Famille de l'238U	Famille du 232 Th
Uranium	U-235 7,0E8 a	U-238 4,5E9 a	U-234 2,4E5 a
Protactinium	Pa-231 3,3E4 a	Pa-234m 1,2 min	
Thorium	Th-231 25,5 h	Th-234 24,1 j	Th-230 75400 a
Actinium	Ac-227 21,8 a		Th-232 1,4E10 a
Radium	Ra-223 11,4 j	Ra-226 1600 a	Ac-228 6,1 h
Francium			Ra-224 3,8 j
Radon	Rn-219 3,96 s	Rn-222 3,8 j	Rn-220 55 s
Astate			
Polonium	Po-215 1,8 ms	Po-218 3,1 min	Po-214 164 µs
Bismuth	Bi-211 2,1 min	Bi-214 19,9 min	Bi-210 5,0 j
Plomb	Pb-211 36,1 min	Pb-210 22,3 a	Po-210 138 j
Thallium	Tl-207 4,8 min	Pb-214 26,8 min	Pb-206 stable
	Pb-207 stable	Pb-212 10,6 h	Pb-212 10,6 h
		Pb-208 stable	Pb-208 stable
			Bi-212 60,5 min
			Tl-208 3,1 min

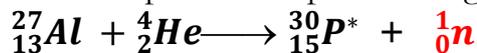


## 2- Réaction radioactive artificielle

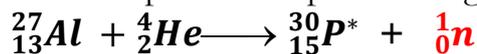
La **radioactivité artificielle** est **une radioactivité provoquée** par des activités humaines au moyen d'un accélérateur de particules ou d'un réacteur nucléaire.

La radioactivité artificielle est présente dans l'environnement depuis le début du xxe (20me) siècle. Elle comprend l'ensemble des phénomènes de transmutation des radio-isotopes créés artificiellement en bombardant des éléments stables (aluminium, béryllium, iode, etc.) avec divers faisceaux de particules (**neutron, proton, particule  $\alpha$ , deuton**).

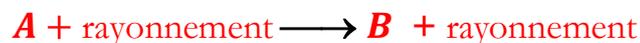
Historiquement, ce furent Frédéric Joliot-Curie et Irène Joliot-Curie qui, les premiers en 1934, découvrirent le phénomène en produisant du phosphore 30 en bombardant de l'aluminium 27 avec une particule  $\alpha$  provenant généralement d'une source de radium.



Historiquement, ce furent Frédéric Joliot-Curie et Irène Joliot-Curie qui, les premiers en 1934, découvrirent le phénomène en produisant du phosphore 30 en bombardant de l'aluminium 27 avec une particule  $\alpha$  provenant généralement d'une source de radium.

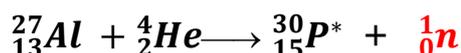


Les radioéléments artificiels sont obtenus en bombardant des éléments stables par des projectiles divers (neutron, proton, hélions .....)



Exemple :

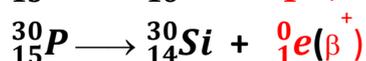
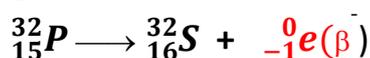
La réaction qui a permis la découverte de la réactivité artificielle :



**Remarque:**

Lorsqu'un élément comporte plusieurs isotopes, comme c'est le cas pour le phosphore  ${}_{15}^{31}\text{P}$  et les 2 radio-phosphores  ${}_{15}^{30}\text{P}$  et  ${}_{15}^{32}\text{P}$  .

Le radio-isotope qui contient le plus de neutrons que l'isotope stable présente la radioactivité  $\beta^-$ , alors celui qui contient le moins de neutron présente une radioactivité  $\beta^+$

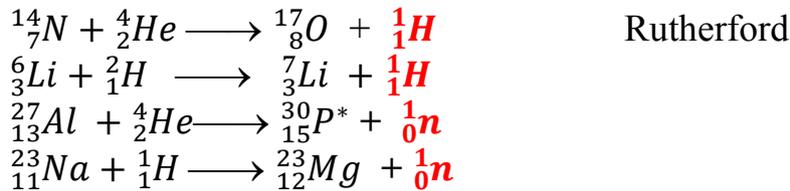


En distingue 3 types de réactions artificielles

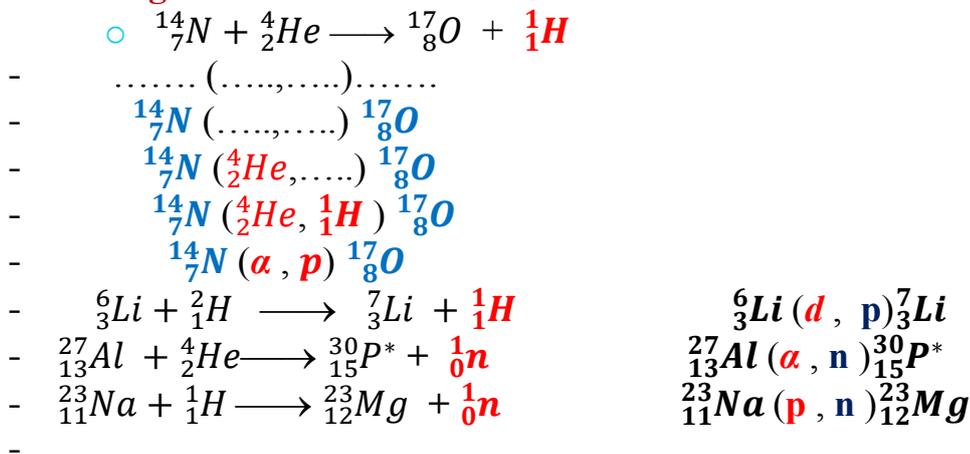
### 1- Réaction de transmutation (تحويل) nucléaire:

Les réactions de **transmutation** provoquées, produisent des nucléides de nombre de masse (A) égal ou très proche de celui du nucléide qui a servi de cible.

Exemple:



### Forme abrégée d'une réaction nucléaire

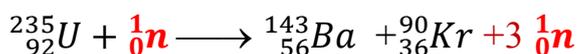


### 2- Réaction de fission (الانشطار النووي) nucléaire:

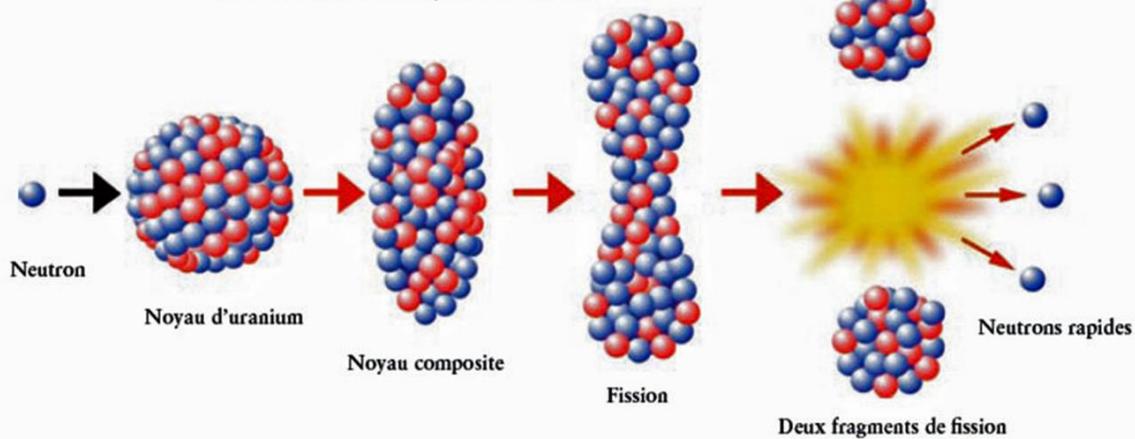
Ces réactions sont issues suite à bombardement d'un noyau lourd (A>200) par des particules légères pour former des noyaux plus légers (72 < A < 162).

#### Exemples :

Bombardement du noyau  ${}^{235}_{92}\text{U}$  par un neutron



### La fission d'un noyau d'uranium 235



Ces réactions sont accompagnées d'un fort dégagement d'énergie.

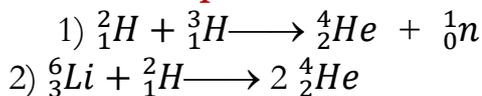
L'énergie dégagée **d'un 1 kg d'Uranium** est équivalente à celle fournie par l'explosion de **12000 tonnes** de dynamite.

- Ce type de réaction est utilisée dans les centrales nucléaires pour produire l'électricité.

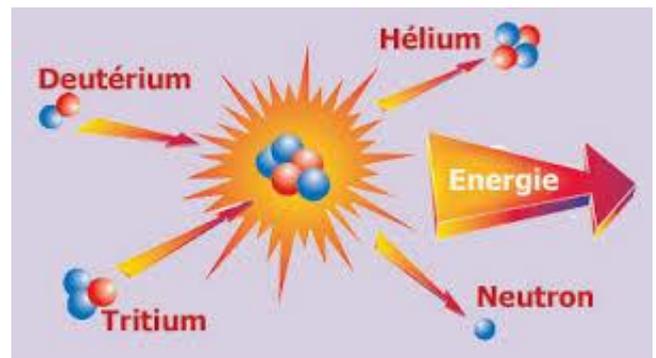
### 3- Réaction de fusion

Ce type de réaction se base sur la fusion des nucléides légers pour former des nucléides plus lourds (noyau cible,  $Z < 4$ ),

#### • Exemples



Dans la bombe d'hydrogène il se produit la réaction 1 et 2



Comme les noyaux ont **une charge électrique positive**, ils se **repoussent** mutuellement, ce qui les empêche de **fusionner**.

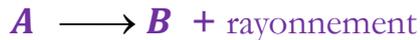
Si ces atomes sont dans **un milieu très chaud**, ils auront des **vitesse** suffisamment **élevées** pour pouvoir **fusionner avant d'être séparés** par la répulsion électromagnétique. C'est pourquoi on parle souvent de **fusion thermonucléaire**.

Au cœur du Soleil, la température est suffisamment élevée pour que des réactions de fusion nucléaire aient lieu : c'est ce qui fait briller le Soleil, car ces réactions s'accompagnent de **libération d'énergie**.

La fusion nucléaire **n'est pas encore** utilisée pour **produire de l'énergie** car il est très difficile de faire un réacteur fonctionnant à la température nécessaire de plusieurs millions de degrés ! Par contre, elle est malheureusement utilisée dans les bombes H.

### II.3 Loi de désintégration (تفكك أو إنشطار) radioactive

Soit la réaction de désintégration du corps A en corps B qui stable (non radioactif).



à  $t=0$   $N_0$  0 où  $N_0$  nombre de noyaux radioactif initial

à  $t$   $N_t$  où  $N_t$  nbre de noyaux radioactif restant à l'instant  $t$

on définit la vitesse de désintégration de A par le terme  $V_d = -\left(\frac{dN_t}{dt}\right)$

(le signe  $(-)$  car c'est une disparation où plutôt une diminution des noyaux radioactifs).

L'étude montre que la transformation de A en B dans le temps est une loi linéaire:

$$-\frac{dN_t}{dt} = \lambda \cdot N_t = A$$

$$-\frac{dN_t}{dt} = \lambda \cdot N_t = A \quad (1) \quad : \quad N_{\text{désin}} = N_0 - N_t$$

$-\frac{dN_t}{dt}$  : vitesse de désintégration

$N_t$   $N_t$  nbre de noyaux radioactif restant à l'instant  $t$

$\lambda$  : contante radioactive ( $s^{-1}$ ) dépend de la nature du noyau radioactif)

A : l'activité absolue

dps : désintégration par seconde

ou dpm : désintégration par minute

L'ancienne unité de A est le curie Ci ( qui correspond à la désintégration de 1 g de Ra)

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

$$1\text{mCi} = 10^{-3} \text{ Ci} \quad 1\mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci}$$

Il existe une autre unité : Rd =  $10^{+6}$  Bq

(Rutherford) on utilise beaucoup plus le becquerel (Bq) :

$$- \quad 1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$$

$$-\frac{dN_t}{dt} = \lambda \cdot N_t = A \quad (1) \Rightarrow \frac{dN_t}{N_t} = -\lambda dt : \text{équation différentielle de 1 ordre}$$

$$\Rightarrow \int_{N_0}^{N_t} \frac{dN_t}{N_t} = - \int_0^t \lambda dt \Rightarrow \ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t \Rightarrow N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

(2) est appelée la loi de désintégration radioactive Ou loi de décroissance radioactive

Autre forme de la loi :

$$\text{On a } n = \frac{m}{M} = \frac{Nt}{N_A} \Rightarrow Nt = \frac{m}{M} \cdot N_A \quad (3)$$

$$n_0 = \frac{m_0}{M} = \frac{N_0}{N_A} \Rightarrow N_0 = \frac{m_0}{M} \cdot N_A \quad (4)$$

En remplaçant (3) et (4) dans (2)  $\Rightarrow m_t = m_0 \cdot e^{-\lambda t}$

En multipliant (2) par  $\lambda$  :

$$\lambda N_t = \lambda N_0 \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$N_t$  décroît exponentiellement avec le temps.

## - Temps de demi vie $t_{1/2}$ : période T

- La période radioactive est le temps au bout duquel la moitié des noyaux initiaux a subi la désintégration.

$$\text{Lorsque } t = t_{1/2} = T \Rightarrow N_t = \frac{N_0}{2}$$

$$(2) \Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \Rightarrow$$

$$t_{1/2} = T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$t = T = t_{1/2} \Rightarrow N_t = \frac{N_0}{2}$$

$$t = 2 \cdot T \Rightarrow N_t = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$$

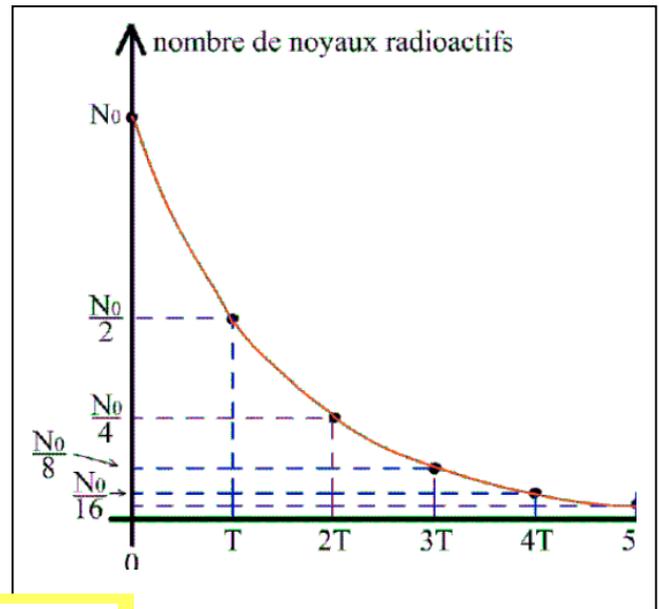
$$t = 3 \cdot T \Rightarrow N_t = \frac{N_0}{8} = \frac{N_0}{2^3}$$

$$t = n \cdot T \Rightarrow N_t = \frac{N_0}{2^n} \quad \text{nbre de noyau restant}$$

- Exemple :

$$- {}^{187}_{75}\text{Re} : T = 3 \times 10^{12} \text{ ans}$$

$$- {}^{213}_{84}\text{Po} : T = 4,2 \times 10^{-6} \text{ s}$$



$$N' = N_0 - N_t = N_0 - \frac{N_0}{2^n} = N_0 \left(1 - \frac{1}{2^n}\right)$$

$N'$  nombre de noyaux désintégrés

Exemples :

$${}^{187}_{75}\text{Re} : T = 3 \times 10^{12} \text{ ans} ; {}^{213}_{84}\text{Po} : T = 4,2 \times 10^{-6} \text{ s} ; {}^{209}_{84}\text{Po} : T = 103 \text{ ans}$$

$${}^{210}_{84}\text{Po} : T = 138,376 \text{ jours}$$

$${}^{203}_{84}\text{Po} : T = 36,7 \text{ min}$$

## Les unités de mesure de la radioactivité

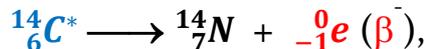
- Il existe trois unités de mesure de la radioactivité :
- **le Becquerel (Bq)** : il mesure la radioactivité proprement dite, c'est-à-dire le nombre d'atomes qui, par unité de temps, se désintègrent et émettent un rayonnement. Plus l'activité mesurée est forte, plus il y a de rayonnement et donc d'énergie émise.
- **le Gray (Gy)** : il mesure la dose absorbée, c'est-à-dire l'énergie cédée par les rayonnements ionisants à la matière par unité de masse ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ joule par kilogramme}$ ). A dose absorbée égale, les effets varient suivant la nature des rayonnements ( $1 \text{ gray de rayonnement alpha est considérablement plus dangereux qu'un gray de rayonnement bêta}$ ).
- **le Sievert (Sv)** : c'est la dose équivalente, qui mesure les effets biologiques des rayonnements sur la matière vivante. Pour la même quantité d'énergie déposée, les rayonnements ont des effets différents sur les tissus. La dose équivalente permet d'évaluer les effets biologiques des rayonnements en radioprotection (c'est-à-dire aux faibles doses).

## Application de la radioactivité

- Les applications de la radioactivité sont très nombreuses, on peut citer:
- 1) Datation d'échantillons anciens, des roches et des sédiments,
- 2) Production d'énergie: centrales nucléaires
- 4) Applications militaire

### 1-Datation en archéologie

- On peut dater l'âge d'une matière animale ou végétale grâce aux éléments radioactifs.
- Le  $^{14}\text{C}$  radioactif est produit de manière continue dans l'atmosphère par l'action des neutrons des rayons cosmique sur l'azote  $^{14}\text{N}$  de l'atmosphère suivant la réaction :  $^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{14}_6\text{C}^* + {}^1_1\text{p}$
- Le carbone  $^{14}_6\text{C}^*$  s'oxyde en  $^{14}\text{CO}_2$  est participe au cycle de la matière vivante, sa concentration dans celle -ci se maintient constante.
- La datation par  $^{14}_6\text{C}^*$  se fonde ainsi sur la présence dans tout organisme de radiocarbone en infime proportion ( $r_o = \frac{N(^{14}_6\text{C}^*)}{N(\text{C}_{total})} \approx 10^{-12}$  ( $\text{C}_{total}$  :  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  et  $^{14}\text{C}$ )
- Après la mort de l'organisme,  $^{14}_6\text{C}^*$  n'est plus absorbé, la proportion de  $^{14}_6\text{C}^*$  diminue car cet isotope est radioactif ( $\beta^-$ ), sa période  $T = t_{1/2} = 5730$  ans.



- La mesure de l'activité d'un échantillon permet d'évaluer le rapport  $r$ , donc la date de sa mort, En effet  $r = r_o \cdot e^{-\lambda t}$

#### Exemple

La mesure de ce rapport  $r$  sur un objet ancien permet de dater cet objet.

#### Exemple:

La mesure de l'activité d'une momie dans un sarcophage donne un rapport

$A = 6 \cdot 10^{-13}$ . la période de  $^{14}_6\text{C}^*$  est  $T = t_{1/2} = 5730$  ans.

#### Solution

$$r = r_o \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{r}{r_o} = e^{-\lambda t} \Rightarrow \text{Ln} \frac{r}{r_o} = -\lambda t \Rightarrow \text{Ln} \frac{r_o}{r} = \lambda t \Rightarrow$$
$$\Rightarrow t = \frac{1}{\lambda} \cdot \text{Ln} \frac{r_o}{r} \text{ avec } T = \frac{\text{Ln} 2}{\lambda} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\text{Ln} 2} \Rightarrow t = \frac{T}{\text{Ln} 2} \text{Ln} \frac{r_o}{r}$$

AN:

$$t = \frac{5730}{\text{Ln} 2} \text{Ln} \frac{1 \cdot 10^{-12}}{6 \cdot 10^{-13}} \Rightarrow t = 4222,8 \text{ ans} \approx 4223 \text{ ans},$$

La momie est dans le sarcophage depuis 4223 ans,

### Exemple

La période de  $^{14}\text{C}$  est de  $T = 5568$  ans et qu'un échantillon de charbon de bois fraîchement préparé donne une activité de  $A_0 = 15,3 \frac{\text{dpm}}{\text{gr}}$ . Quel est l'âge d'un échantillon de bois trouvé dans une grotte préhistorique dont un échantillon de même masse que le précédent donne une activité  $A_t = 9,6 \text{ dpm/gr}$ .

### Solution :

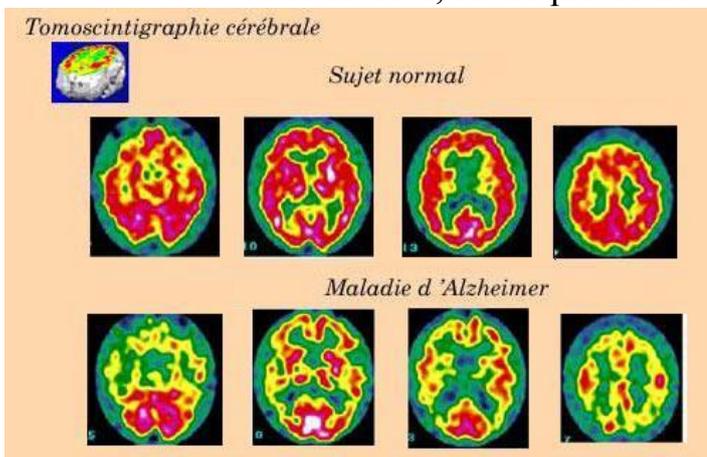
$$A_0 = \lambda \cdot N_0 \quad \text{et} \quad A_t = \lambda \cdot N_t$$
$$N_t = N_0 e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow \ln \frac{N_t}{N_0} = \ln e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow \ln \frac{A_t/\lambda}{A_0/\lambda} = -\lambda \cdot t$$
$$\ln \frac{A_0}{A_t} = \frac{\ln 2}{T} \cdot t \Rightarrow t = \frac{T}{\ln 2} \cdot \ln \frac{A_0}{A_t}$$

**AN:  $t = 3695$  années**

### Applications à l'énergie

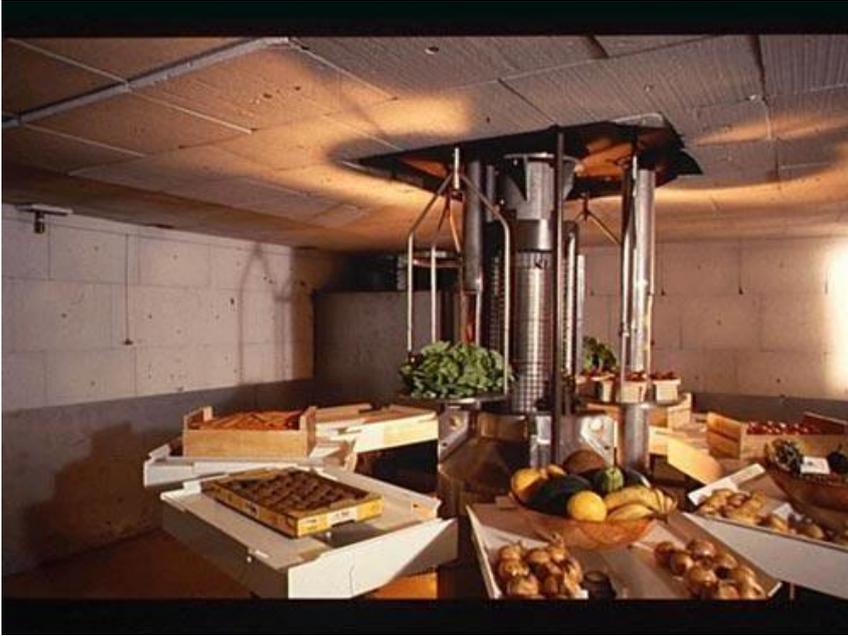
- La radioactivité est, avec l'émission de neutrons, la forme essentielle de l'énergie dégagée par les réactions nucléaires de fission.
- La production d'électricité par les centrales nucléaires
- Dans ces centrales, l'énergie primaire est produite par un réacteur chargé en **uranium enrichi en isotope instable 235**. Ce mélange est instable, car l'absorption d'un neutron lent par **l'uranium 235** le transforme en **uranium 236** qui fissionne en libérant deux à **trois neutrons**. Il y a donc une possibilité de **réaction en chaîne**. La radioactivité et l'énergie cinétique des produits de fission sont transformées en chaleur dans le matériau enveloppant le cœur du réacteur. Pour produire de l'électricité, cette chaleur est convertie en vapeur qui entraîne une turbine.
- En février 2020, plus de 440 réacteurs nucléaires à neutrons lents sont « opérationnels » dans le monde selon l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). La France, qui a historiquement misé sur le nucléaire, a produit **70,6% de son électricité en 2019** grâce à **ses 19 centrales nucléaires totalisant 58 réacteurs**.
- Une nouvelle génération de réacteurs à neutrons rapides, fonctionnant à haute température, pourrait obtenir des rendements très supérieurs aux centrales actuelles à neutrons lents. Elle permettrait d'utiliser directement et plus efficacement le combustible fertile qui constitue aujourd'hui l'essentiel des déchets des centrales des premières générations. Ces réacteurs « surgénérateurs » font l'objet d'études et de développements dans la plupart des grands pays nucléarisés, en particulier en Chine, en Inde et aux États-Unis.

- La radioactivité s'applique aussi dans la médecine.
- Quand on parle de radioactivité dans la médecine, on entend par là « **la médecine nucléaire** ». La médecine nucléaire désigne tous les actes médicaux qui nécessitent l'administration d'un produit radioactif.
- La radioactivité s'utilise notamment dans les services d'imagerie médicale avec **la scintigraphie** (*Elle consiste à injecter chez le patient une substance radioactive dans un organe ou un tissu, ce qui grâce aux radiations émises par la substance qui va circuler et se fixer sur certaines zones, et captées par une caméra spécifique, dessinera une cartographie visuelle de la zone à explorer*).
- mais aussi pour effectuer, en laboratoire, des **analyses en radio-immunologie** (La radio-immunologie permet de chercher des anticorps dans le sérum d'une personne ou de chercher un antigène spécifique en utilisant les anticorps.)
- Les sources radioactives visent des cellules pour les détruire. La radioactivité s'inscrit dans le **domaine de l'oncologie** (مجال الأورام) chargée de l'étude, du **diagnostic** et du **traitement des cancers**, conséquence de multiplications de certaines cellules.



### Comparaison d'une tomoscintigraphie cérébrale d'un patient normal et d'un patient atteint d'Alzheimer

- La tomoscintigraphie est une technique d'imagerie médicale qui sert à détecter les **radiations gamma** émises par une substance **radioactive** introduite dans l'organisme (scintigraphie), ce qui permet d'obtenir des images en coupe (**tomographies**) de différents organes. On peut remarquer sur ces coupes que le cerveau du patient atteint de la maladie que son cerveau possède moins d'activité cérébrale.
- **En biologie**, on peut utiliser la radioactivité dans l'agroalimentaire et l'agronomie.
- **Dans les secteurs agricole et agroalimentaire**, la radioactivité est utilisée par exemple pour la protection des cultures contre les insectes ou la conservation des aliments. L'irradiation gamma est utilisée industriellement en hygiène alimentaire.
- **Dans l'industrie**, on l'utilise pour des tâches variées (contrôle des soudures, détection de fuites ou d'incendies, etc.).



Ionisateur d'expérimentation visant à traiter les produits frais.

### Danger de la radioactivité

Les conséquences d'une exposition aux rayonnement radioactifs sont de 2 types:

- **Des effets somatiques** (الأثار الجسدية) qui infectent l'individu, notamment les organes formateurs du sang (globules rouge) ou encore les muqueuses de la peau ou **l'intestin** (الأغشية المخاطية للجلد أو الأمعاء).
- **Des effets génétiques** (الأثار الجينية) qui affectent l'espèce comme les modifications du patrimoine génétique (التراث الجيني).