

RADIOACTIVITE

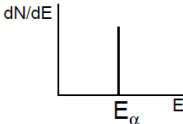
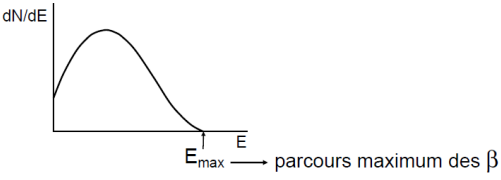
1. Transitions radioactives

- **Introduction**

Un noyau possédant un excès d'énergie (déséquilibre) émet de l'énergie par un processus radioactif.

Lois de conservation dans les réactions nucléaires	<ul style="list-style-type: none"> • Conservation du nombre de masse A • Conservation de la charge électrique totale Z • Conservation de l'énergie totale • Conservation de la quantité de mouvement
---	--

- **Bilan énergétique et spectre d'émission**

Bilan énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • $E(\text{noyau initial}) - E(\text{noyau final}) \rightarrow$ énergie disponible pour la(les) particule(s) émise(s). 	
Spectres d'émission		
Définition	<ul style="list-style-type: none"> • Courbe donnant la distribution des valeurs d'énergie dans un faisceau de particules : dN/dE en fonction de E, avec dN/dE le nombre de particules par intervalle d'énergie. 	
Types de spectres	Spectre de raies (= spectre discontinu)	Spectre continu
	<ul style="list-style-type: none"> • Valeurs précises d'énergie, avec des quantités différentes de particules. • Exemple (pour une émission α, une valeur d'énergie) : 	<ul style="list-style-type: none"> • Toutes les valeurs d'énergie sont prises, mais de façon inégale. • Exemple (pour une émission β) : 

- **Notion d'émission pure**

Définition	<ul style="list-style-type: none"> • Lors d'une transition vers un état stable à partir de certains nucléides, plusieurs processus différents peuvent se succéder. • Un émetteur « pur » n'émet qu'un seul type de rayonnement.
------------	---

1.1- Processus radioactifs

1.1-1. Processus α

- Description

Type d'émission	Particule(s) émise(s)	Equation	Schéma de désintégration
Émission α	particule α $= {}^4_2\alpha$ (particule lourde)	${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2\alpha$ avec ${}^4_2\alpha = {}^4_2\text{He}$ (hélium) Exemple : ${}^{232}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{228}_{90}\text{Th} + {}^4_2\alpha$	

- Spectre et bilan énergétique

Émission	Spectre	Bilan énergétique	Précisions
α	de raies / discontinu	$E = E_{\text{cinétique}}(Y) + E_{\text{cinétique}}(\alpha)$	Energie cinétique : de la particule α émise et du noyau fils (mouvement de recul)

1.1-2. Processus β

- Description

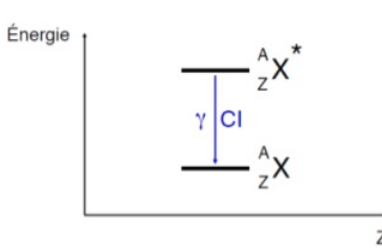
Types d'émission	Particule(s) émise(s)	Equation	Schéma de désintégration
Émission β^-	électron (particule β^-) + antineutrino	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1}e^- + {}^0_0\bar{\nu}$ $\Leftrightarrow {}^1_0 n \rightarrow {}^1_1 p + {}^0_{-1}e^- + {}^0_0\bar{\nu}$ ${}^0_0\bar{\nu}$ = antineutrino (particule sans masse ni charge) Exemple : ${}^{32}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + {}^0_{-1}e^- + {}^0_0\bar{\nu}$	
Émission β^+	positon (particule β^+ = antiparticule de l'électron) + neutrino	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_1e^+ + {}^0_0\nu$ $\Leftrightarrow {}^1_1 p \rightarrow {}^1_0 n + {}^0_1e^+ + {}^0_0\nu$ ${}^0_0\nu$ = neutrino (particule sans masse ni charge) Exemple : ${}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^{18}_8\text{O} + {}^0_1e^+ + {}^0_0\nu$	
Capture électronique	neutrino	${}^A_Z X + {}^0_{-1}e^- \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_0\nu$ $\Leftrightarrow {}^1_1 p + {}^0_{-1}e^- \rightarrow {}^1_0 n + {}^0_0\nu$ électron d'une couche proche du noyau capturé Exemple : ${}^{123}_{53}\text{I} + {}^0_{-1}e^- \rightarrow {}^{123}_{52}\text{Te} + {}^0_0\nu$	

• Spectre et bilan énergétique

Émission	Spectre	Bilan énergétique	Précisions
β^- et β^+	Continu	$\beta^- : E = E_{cinétique}(e^-) + E(\bar{\nu})$ $\beta^+ : E = E_{cinétique}(e^+) + E(\nu)$	Energie disponible répartie aléatoirement entre les deux particules émises : - β^- : électron et antineutrino - β^+ : positon et neutrino
Capture électronique	—	$E = E_{ionisation} + E(\nu)$	Processus suivi de réarrangement électronique

1.1-3. Processus γ

• Description

Types d'émission	Particule(s) émise(s)	Equation	Schéma de désintégration
Émission γ	photon γ (= une oem)	${}^A_Z X^* \rightarrow {}^A_Z X + {}^0_0 \gamma$ Exemple : ${}^{99m}_{43} Tc \rightarrow {}^{99}_{43} Tc + {}^0_0 \gamma$	 <p>Les 2 nucléides sont isomères</p>
Conversion interne	électron	${}^A_Z X^* \rightarrow {}^A_Z X + E$ \Rightarrow L'énergie libérée lors de la transition entre 2 niveaux nucléaires va ioniser l'atome	

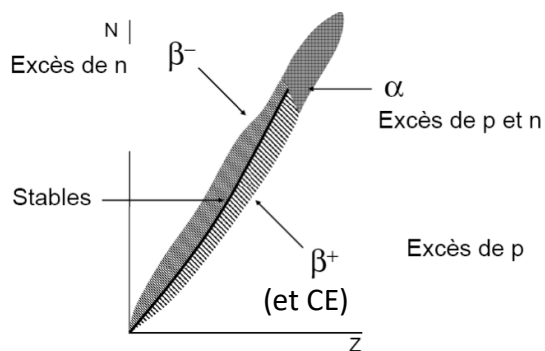
• Spectre et bilan énergétique

Émission	Spectre	Bilan énergétique	Précisions
γ	de raies / discontinu	$E = E({}^A_Z X^*) - E({}^A_Z X) = E_\gamma$	Energie du photon γ
Conversion interne	—	$E = E_{ionisation} + E_{cinétique}(e^-)$	Processus suivi de réarrangement électronique

1.2- Processus selon le type de noyau

• 3 zones d'instabilité nucléaire autour d'une zone de stabilité :

Processus	Zone d'instabilité
α	Excès de protons et de neutrons
β^+ et capture électronique	Excès de protons
β^-	Excès de neutrons

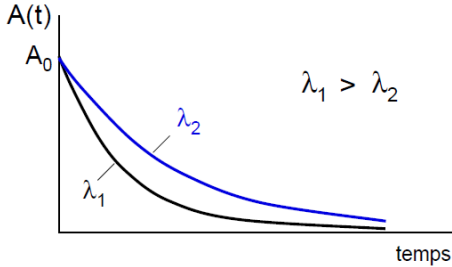


2. Cinétique des transitions radioactives

2.1- Nature stochastique de la radioactivité

Stochastique	<ul style="list-style-type: none"> • Synonymes = aléatoire, probabiliste, statistique • En opposition à déterministe. <ul style="list-style-type: none"> - pour 1 individu (1 noyau) : <u>probabilité</u> sur son devenir - pour une population : devenir <u>connu</u>
Constante radioactive (en s ⁻¹)	<ul style="list-style-type: none"> • Existence, pour tout noyau radioactif, d'une probabilité λ, appelée constante radioactive, qui est une probabilité de transformation par unité de temps. <ul style="list-style-type: none"> - λ ne dépend pas des conditions physico-chimiques (température, ...)

2.2- Nombre de noyaux et activité

Nombre de noyaux	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de noyaux radioactifs N(t) à l'instant t : $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ <ul style="list-style-type: none"> - avec N_0 nombre de noyaux initiaux à l'instant t = 0.
Activité (en Bq)	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre moyen de transformations (= désintégrations) par unité de temps : <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> $A(t) = \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t}$ <ul style="list-style-type: none"> - avec A_0 activité initiale à l'instant t = 0. </div> <div>  </div> </div> • 1 Bq (Becquerel) = 1 désintégration/seconde (ancienne unité : le Curie : Ci)

2.3- Décroissance radioactive

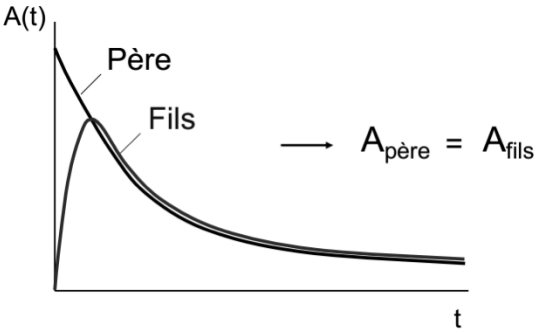
Loi de décroissance	<ul style="list-style-type: none"> • N(t) et A(t) : loi de décroissance exponentielle au cours du temps. <ul style="list-style-type: none"> ➔ Plus la constante radioactive λ \uparrow, plus A et N diminuent rapidement.
Période radioactive T (en s)	<ul style="list-style-type: none"> • Période radioactive T : $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$ avec $\ln 2 = 0,693 \approx 0,7$. • T : temps pour lequel l'activité et le nombre de noyaux radioactifs décroissent de moitié.
Activité (résiduelle) après un temps t + nT	<ul style="list-style-type: none"> • Au bout de n périodes T écoulées, l'activité est donnée par : $A(t + nT) = \frac{A(t)}{2^n} \quad (2^{10} \approx 1000)$

- Relation entre masse m, activité A et période T d'un échantillon constitué d'un nucléide radioactif (= radionucléide) de masse molaire M :

$$m = A(t) \frac{1}{\lambda} \frac{M}{N_A} = A(t) \frac{T}{\ln 2} \frac{M}{N_A}$$

- avec :
- m : masse (en g)
 - A(t) : activité (en Bq)
 - λ : constante radioactive (en s⁻¹)
 - M : masse molaire (en g.mol⁻¹)
 - N_A : nombre d'Avogadro (6,02.10²³ mol⁻¹)
 - T : période (en s)

2.4- Filiations radioactives

Définition	<ul style="list-style-type: none"> Transformation d'un nucléide père en un nucléide fils (périodes différentes des 2 nucléides).
Cas particulier	<ul style="list-style-type: none"> Cas particulier : si $T_{\text{père}} \gg T_{\text{fils}}$. → alors les activités $A_{\text{père}}$ et A_{fils} se rapprochent, jusqu'à l'atteinte d'un équilibre : $A_{\text{père}} = A_{\text{fils}}$ 

- Origine des **nucléides radioactifs naturels** :

Type	Exemple	Période
Nucléides de période longue	^{40}K	$T = 1,6 \cdot 10^9$ ans
Nucléides synthétisés par rayonnement cosmique	^{14}C	$T = 5730$ ans
Nucléides issus d'une famille radioactive naturelle	^{222}Rn	$T = 3,82$ j

- **Famille radioactive naturelle** : ensemble de nucléides issus d'un père de période longue. Il y a 3 familles :

Famille	Nucléide initial (Père)	Période du père	Nucléide fils intermédiaire	Nucléide fils final (stable)	Remarques
Thorium	^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ ans	—	^{208}Pb	—
Uranium 235	^{235}U	$7 \cdot 10^8$ ans	—	^{207}Pb	—
Uranium 238	^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ ans	^{222}Rn	^{206}Pb	Emissions α et β^- à partir de ^{238}U , donnant naissance au radon ^{222}Rn (gaz responsable d'une grande partie de la radioactivité terrestre naturelle)

3. Réaction nucléaire

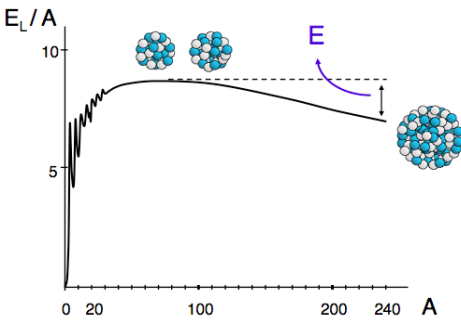
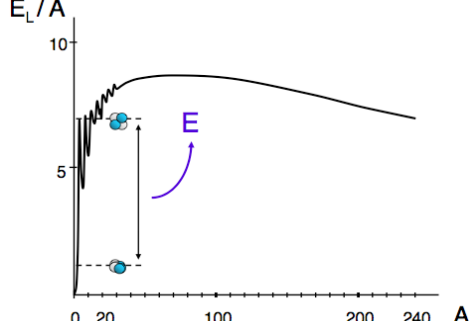
3.1- Réactions nucléaires

- La synthèse par réaction nucléaire naturelle est une autre source naturelle de radioactivité, hors des nucléides de périodes longues.

Notations	<ul style="list-style-type: none"> • Noyau cible + projectile → Noyau résiduel + particule <p style="text-align: center;">Ex : ${}^{14}_7N + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^{17}_8O + {}^1_1p$</p> <p style="text-align: center;">ou Noyau cible (Projectile, Particule) Noyau résiduel</p> <p style="text-align: center;">Ex : ${}^{14}_7N(\alpha, p){}^{17}_8O$</p>		
Lois de conservation	<ul style="list-style-type: none"> • Conservation du nombre de masse (A), de la charge (Z), de l'énergie totale et de la quantité de mouvement 		
Formation/origine des projectiles	Sources des projectiles	Projectile	
	Noyaux radioactifs	α	
	Accélérateur de particules (chargées) exemple : cyclotrons	p (proton)	
	Réaction nucléaire Exemple : fission	n (neutron)	

3.2- Fission et fusion nucléaires

- Réactions très **exoénergétiques** (= libérant une quantité importante d'énergie) :

Processus	Fission	Fusion
Utilisation	Bombe A Centrales nucléaires actuelles	Bombe H Centrales nucléaires à l'étude
Explication		
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> • Production de 2 noyaux moyens, à partir d'un noyau lourd : forte libération d'énergie • 2 noyaux de 100 nucléons sont plus légers qu'un noyau de 200 nucléons (libération de masse ⇔ libération d'énergie) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fusion de deux petits noyaux pour former un seul noyau : <u>très forte</u> libération d'énergie • 1 noyau de 4 nucléons est plus léger que 2 noyaux de 2 nucléons (libération de masse/d'énergie) • Energie fusion > Energie fission

Fission provoquée	<ul style="list-style-type: none"> • Un neutron (projectile) heurte un noyau fissile. <ul style="list-style-type: none"> - Réaction utilisée dans les centrales : production de déchets + émission de neutrons. - Exemple : ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{54}^{140}\text{Xe} + {}_{38}^{93}\text{Sr} + 3{}_0^1\text{n}$ ➔ les neutrons émis peuvent intervenir dans des réactions en chaînes ou servir à la production de nucléides artificiels.
Energies	<ul style="list-style-type: none"> • La fission de l'uranium 238 libère environ 2 millions de fois plus d'énergie que la combustion du carbone et 10 fois moins que la fusion du deutérium.

3.3- Produits de cyclotron

Cyclotron	<ul style="list-style-type: none"> • Définition : accélérateur de particules chargées (ions)
Exemples de produits de cyclotron	<ul style="list-style-type: none"> • Emetteur γ pur après capture électronique. Ex : ${}_{53}^{123}\text{I}$ • Emetteurs de positons β^+. Ex : ${}_{8}^{18}\text{O}(p,n){}_{9}^{18}\text{F}$. <ul style="list-style-type: none"> - Le proton projectile a été accéléré par le cyclotron. - Le noyau résiduel peut être utilisé. • Exemples d'autres nucléides produits : ${}^{11}\text{C}$, ${}^{13}\text{N}$, ${}^{15}\text{O}$, ${}^{18}\text{F}$. Ces nucléides doivent être utilisés à proximité du cyclotron car leurs périodes sont courtes.