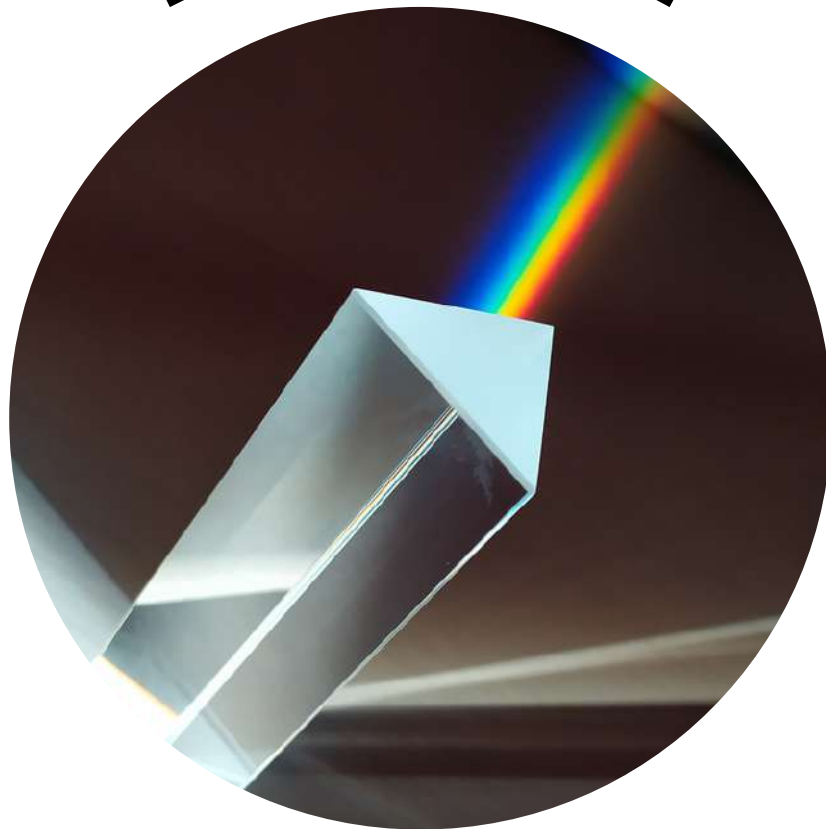


physique I



- OPTIQUE
- PHYSIQUE NUCLÉAIRE
- THERMODYNAMIQUE



Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

Année 2009
Licence de Sciences et Technologies - Mention Sciences et Vie de la Terre
1^{er} Semestre

Cours de Radioactivité

II. La radioactivité

Arnaud Serres
Ateliers
arnaud.serres@univ-nc.nc




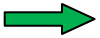

II. La radioactivité

1. introduction

- 1896 : découverte du phénomène par **Henri Bequerel**.
 - quelques noms célèbres : **Pierre et Marie Curie**, notamment au travers de leur travail sur le Radium.
 - la **radioactivité naturelle** observable sur Terre provient de la désintégration de **quatre noyaux radioactifs**:
 ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K
- et de leurs noyaux fils. Ces noyaux proviennent des étoiles et de certaines de leurs phases explosives (supernovae) et du bombardement du globe terrestre par des particules subatomiques d'origine cosmique.
- la **radioactivité naturelle** de la Terre a généré **suffisamment d'énergie pour maintenir son noyau en fusion** : l'énergie produite dite **géothermique est une énergie d'origine radioactive et nucléaire**.
 - les éruptions volcaniques et ont permis la formation de l'atmosphère terrestre primitive et de l'apparition de la vie. D'autre part, la radioactivité a certainement joué un rôle dans la **mutation cellulaire** et par conséquent la **diversification des formes de vie terrestre**.
 - la radioactivité n'est qu'une des multiples formes apparentes de l'immense énergie nucléaire contenue dans les noyaux atomiques.
 - des **applications civiles** mais aussi **militaires** : centrales électronucléaires, production de traceurs radioactifs pour le diagnostic médical, traitement des cancers par radiothérapie, **datation archéologique**, imagerie moléculaire par marquage à l'aide de traceurs radioactifs, bombes à fission ou fusion...

II. La radioactivité

2. stabilité des atomes

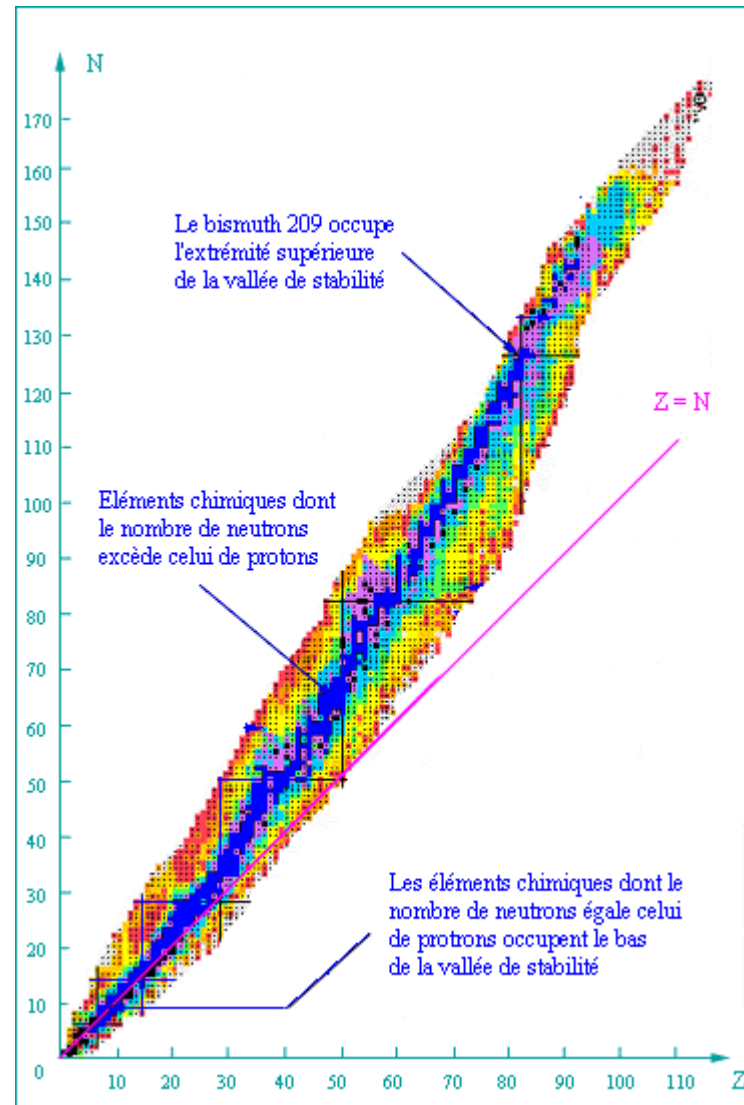
- pour certains nucléïdes  **transformation spontanée** au cours du temps.
 -  **changement de nature** du noyau qui s'accompagne d'**émission de particules**.
(par **fission** ou **capture électronique**).
- quels nucléïdes ?  noyaux **lourds** (A et Z importants)
 -  noyaux avec un **déficit** ou un **excès de neutrons**
 -  **noyaux radioactifs qui se désintègrent**.

Rque : la désintégration est indépendante des conditions physico-chimiques et de l'âge du nucléïde.

- on connaît près de de 2000 noyaux d'atomes, mais **seulement 279 sont stables**.
- règles d'identification d'un noyau stable (en général) :
 - * **noyaux légers** : noyaux dont le nombre de protons est égal au nombre de neutrons.
 - * **noyaux lourds** : il faut plus de neutrons que de protons afin de neutraliser les forces de répulsion croissantes entre les protons
 - * 80% des noyaux stables possèdent un nombre pair de protons et 78% un nombre de pair de neutrons.

II. La radioactivité

2. stabilité des atomes



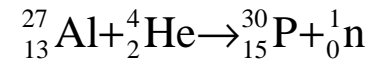
II. La radioactivité

2. stabilité des atomes

- **tous les éléments qui contiennent plus de 83 protons sont radioactifs.**

- il est possible de synthétiser au laboratoire des radio-isotopes artificiels qui n'existent pas à l'état naturel :

exemple : synthèse réalisée par **Pierre et Irène Joliot-Curie** en 1934



- **petit rappel** : l'énergie de cohésion du noyau est le **défaut de masse** dans le noyau lorsqu'on compare la masse individuelle des protons et des neutrons au noyau.

- exemple : énergie de cohésion du noyau ${}_{92}^{235}\text{U}$ de masse $m = 235,0439 \text{ u}$

* nombre de protons ? **92**  masse totale des protons (en u) : $m_p = 92 \times 1,00728 = 92,66976 \text{ u}$

* nombre de neutrons ? **143**  masse totale des neutrons (en u) : $m_n = 143 \times 1,00867 = 144,23981 \text{ u}$

* masse des nucléons (protons + neutrons) : $m_{\text{th}} = m_p + m_n = 236,9096 \text{ u}$

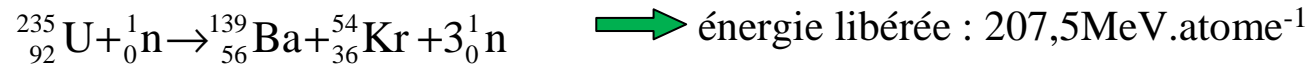
 **énergie de cohésion du noyau** : $E = m_{\text{th}} \cdot c^2 - m \cdot c^2 = 2,79 \cdot 10^{-10} \text{ J.atome}^{-1}$

II. La radioactivité

3. réactions nucléaires

a) fission nucléaire

- **définition** : réaction au cours de laquelle un **noyau se scinde en 2 fragments plus petits**.
- exemple : l'uranium ^{235}U subit la fission quand il absorbe un neutron thermique (de vitesse lente)



- **définition** : **masse critique**

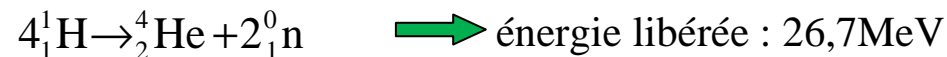
\longrightarrow c'est la plus petite masse pour laquelle on produit un nombre de neutrons supérieur au nombre de neutrons absorbés : on a alors une réaction en chaîne (contrôlée dans une centrale électronucléaire).

b) fusion nucléaire

- **définition** : réaction au cours de laquelle **2 noyaux se complètent pour en former un nouveau**.

\longrightarrow la réaction de fusion produit plus d'énergie que la fission.

- exemple : production d'hélium au cœur du soleil :



- la maîtrise des réactions de fusion nucléaire est un véritable **enjeu technologique** :

- * ITER : production de chaleur (objectif : produire 500MW avec 50MW initiaux)
- * par énergie laser : températures $\approx 10^6\text{C}$, pressions $\approx 10^3\text{atm}$...

II. La radioactivité

4. la radioactivité

a) loi de désintégration radioactive (ou décroissance radioactive)

- noyaux radioactifs \rightarrow instables donc se désintègrent au cours du temps.
- pour un noyau \rightarrow probabilité de désintégration pendant dt est une **caractéristique du noyau**.
- Soit $N_{(t)}$: nombre d'atomes radioactifs d'une espèce présents à un instant t .
 - * entre t et $t+dt$ \rightarrow dN noyaux (**variation du nombre de noyaux**) se sont désintégrés.

\rightarrow la variation est proportionnelle au nombre $N_{(t)}$ d'atomes à l'instant t selon : $dN = -\lambda N_{(t)} dt$

- en écrivant cette loi de variation sous la forme : $\frac{dN}{dt} = -\lambda N_{(t)}$, et en intégrant entre $t = 0$ et t :

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

N_0 \rightarrow nombre de noyaux à $t = 0$.

λ \rightarrow **constante radioactive** du nucléide

II. La radioactivité

4. la radioactivité

b) période radioactive T ou période de demi-vie ($1/2$ -vie)

- **définition** : la **période radioactive** ou la **période de demi-vie**

➔ **temps nécessaire** pour que la **moitié des N_0 atomes** présents à $t = 0$ se soient désintégrés.

- à l'instant $t = T$, le nombre de nucléides a été divisé par 2. On a donc :

$$N_{(T)} = N_0 e^{-\lambda T} = \frac{N_0}{2} \Rightarrow e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}$$

* expression de la période radioactive en fonction de λ : $\Rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda}$

- les périodes T des différents radioéléments couvrent un domaine très vaste :

* $T > 10^{30}$ ans pour le vanadium.

* $T < 2,96 \cdot 10^{-7}$ s pour ${}_{84}^{212}\text{Po}$

II. La radioactivité

4. la radioactivité

c) vie moyenne

- la vie moyenne d'un atome particulier est comprise entre $t = 0$ et ∞ .

- si N_0 atomes sont présents à $t = 0$, il en reste à l'instant t : $N_{(t)} = N_0 e^{-\lambda t}$

- entre t et $t+dt$, on a dN atomes qui se désintègrent : $dN_{(t)} = -\lambda N_{(t)} dt$

→ durée de vie totale de l'ensemble des atomes est : $dN_{(t)} \cdot t = -\lambda N_{(t)} \cdot t dt$

- **définition** : la **vie moyenne τ** est la somme des durées de vie de tous les atomes divisée par N_0 :

$$\tau = -\frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} \lambda N_{(t)} \cdot t dt$$

- en rappelant que $N_{(t)} = N_0 e^{-\lambda t}$ (et après quelques heures de mathématiques), on peut montrer que :

→ la vie moyenne correspond au temps au bout duquel le nombre d'atomes a été divisé par e

$$\overline{N}_{(t)} = \frac{N_0}{e}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

II. La radioactivité

4. la radioactivité

d) activité

- **définition** : activité $A_{(t)}$ est le nombre de désintégration par seconde.

$$A_{(t)} = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

unité : le Becquerel : 1Bq = 1 désintégration/seconde

ancienne unité : le Curie : 1Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq


- l'activité décroît rapidement au début de l'émission, pour se stabiliser vers la fin de l'émission.

- l'activité sert à la datation des objets archéologiques :

exemple : l'activité d'un fragment d'os humain actuel contenant du ^{14}C est de 880Bq. Sachant qu'un fragment ancien a une activité de 110Bq, déterminer l'âge du fragment, sachant que la période T de ^{14}C est de 5570 ans.

* à $t = 0$, $A_0 = 880\text{Bq}$

* à t , $A_{(t)} = 110\text{Bq} = A_0 e^{-\lambda t}$; $T = \ln 2 / \lambda \Rightarrow \lambda = T / \ln 2$

 $t = 16713,5$ ans

II. La radioactivité

4. la radioactivité

e) quantité de radionucléide correspondant à une activité désirée.

* en nombre d'atomes N :

- pour un radionucléide de période T dont l'activité est de 1Ci ($=3,7 \cdot 10^{10}$ Bq), on peut déterminer le nombre de noyaux actifs :

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N = 3,710^{10} \Rightarrow N = \frac{3,710^{10}}{\ln 2} T$$

* en masse :

- plus la période est longue, plus il faut une masse importante d'échantillon actif pour avoir 1Ci d'activité.
(N : nombre d'Avogadro)

$$M = \frac{A}{N} N$$

nucléide	période T	masse g/Ci
^{226}Ra	1600ans	1,02
^{60}Co	5,2ans	$9,1 \cdot 10^{-4}$
^{32}P	14,3jours	$3,5 \cdot 10^{-6}$

II. La radioactivité

5. modes de transformation spontanée

- on peut classer les modes de transformations en 2 catégories :

→ transformations isobariques (à $A = \text{cste}$)

→ transformations par partition en 2 noyaux

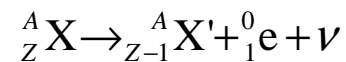
a) transformations isobariques : émission β

- **définition** : transformations sans changement du nombre de masse A .

→ dû à un déséquilibre trop important entre neutrons et protons dans le noyau.

* **émission β^+** : lorsque il y a un excès de protons dans le noyau.

- particule β^+ → **positron** ${}^0_1\text{e}$ (même masse que l'électron mais de charge positive).



ν : **neutrino** (de charge et de masse nulle)

→ dans cette transformation : un proton se transforme en neutron ${}^1_1\text{p} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_1\text{e} + \nu$

- exemple : désintégration du ${}^{22}\text{Na}$: ${}^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^0_1\text{e} + \nu$

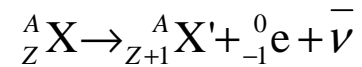
II. La radioactivité

5. modes de transformation spontanée

a) transformations isobariques : émission β

* émission β^- : lorsque il y a un **excès de neutrons** dans le noyau.

- particule β^- \longrightarrow **électron** $\begin{matrix} 0 \\ -1 \end{matrix} e$ éjecté du noyau.



$\bar{\nu}$: **antineutrino** (de charge et de masse nulle)

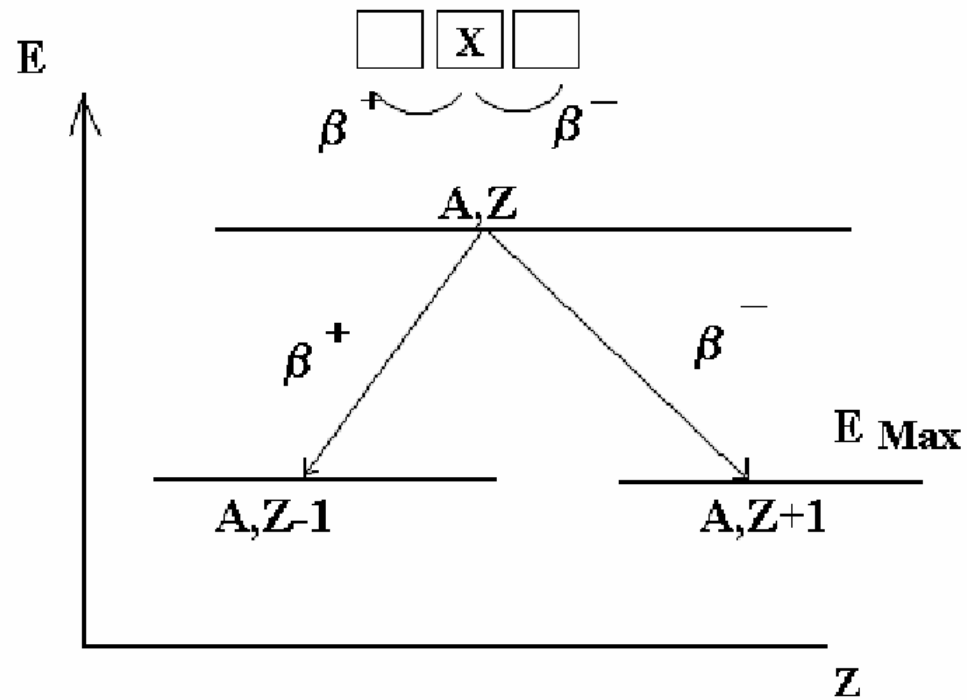
\longrightarrow dans cette transformation : un neutron se transforme en proton

- exemple : désintégration du ${}^{90}\text{Sr}$: ${}^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^{90}_{39}\text{Y} + {}^0_{-1} e + \bar{\nu}$

II. La radioactivité

5. modes de transformation spontanée

b) diagrammes d'énergie : représentation des émissions β^+ et β^-



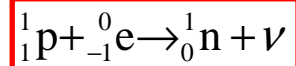
II. La radioactivité

5. modes de transformation spontanée

c) capture électronique :

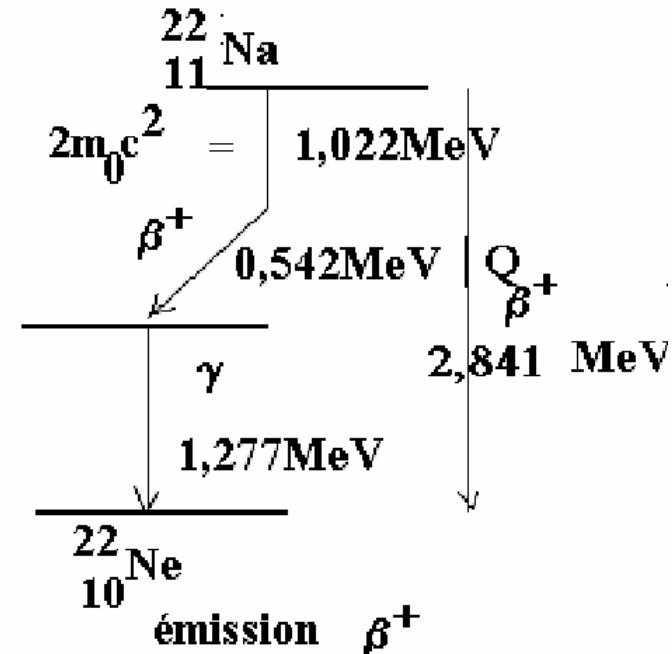
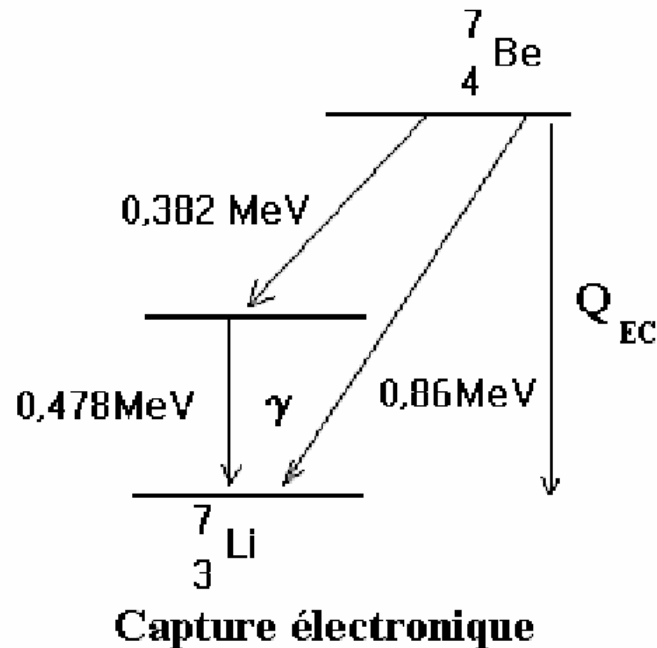
- il peut y avoir au lieu d'une émission d'une particule β^+ , une **capture électronique** :

définition : transformation d'un proton en neutron



- le noyau résiduel est laissé dans un état excité après capture :

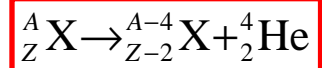
➔ la désexcitation se fera alors par émission d'un photon γ .



II. La radioactivité

6. désintégration α

➔ désintégration non isobarique, avec **émission d'un noyau d'hélium He** (particule α)



a) énergie de la désintégration α

- lors de la réaction, il y a **conservation de l'énergie** :

$$\boxed{m_X c^2 = m_X' c^2 + m_\alpha c^2 + E_\alpha + E_{m_X}}$$

E_α et E_{m_X} ➔ énergies de recul de la particule α et du noyau fils.

- les noyaux émetteurs α sont des noyaux lourds ➔ $A \approx 200$

- l'énergie totale, ou **énergie de désintégration α** est :

$$\boxed{E_0 = E_\alpha \left(1 + \frac{m_\alpha}{m} \right)} \quad \text{avec} \quad \frac{m_\alpha}{m} \approx 0,02$$

- l'énergie de désintégration α varie dans une **bande étroite comprise entre 4MeV et 9 MeV** .

II. La radioactivité

6. désintégration α

b) périodes des émetteurs α

- la période des émetteurs α varie de 10^{-7} s à 10^{10} ans.

→ plus l'énergie est grande, plus la période est étroite.

nucléide	E_α (MeV)	période T
^{232}Th	4,05	$1,39 \cdot 10^{10}$ ans
^{226}Ra	4,88	$1,62 \cdot 10^3$ ans
^{228}Th	5,52	1,9 ans
^{222}Rn	5,59	3,83 jours
^{218}Po	6,12	3,05 min
^{216}Po	6,89	0,16s
^{212}Po	8,95	$3 \cdot 10^{-7}$ s

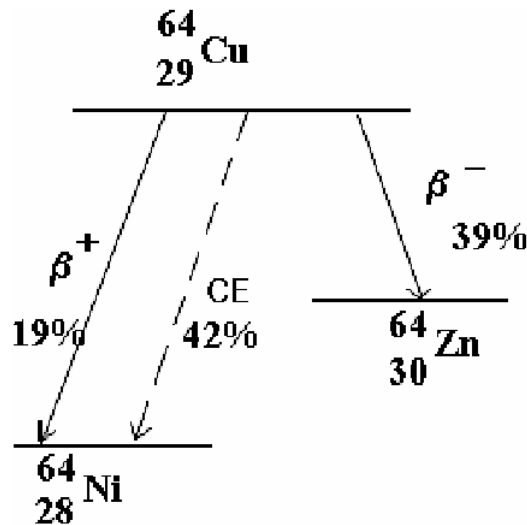
II. La radioactivité

7. noyaux ayant plusieurs modes de désintégration

- certains noyaux ont plusieurs modes de désintégrations possibles :

- exemple : désintégration de ^{64}Cu .

→ 3 modes possibles : émission β^+ , émission β^- et capture électronique (CE).



* chaque mode de désintégration est caractérisé par sa **probabilité partielle par unité de temps** :

$$\lambda_{\beta^-} \quad \lambda_{\beta^+} \quad \lambda_{\text{CE}}$$

* chacune de ces probabilités est indépendante :

→ constante de désintégration totale pour ^{64}Cu : $\lambda = \lambda_{\beta^+} + \lambda_{\beta^-} + \lambda_{\text{CE}}$

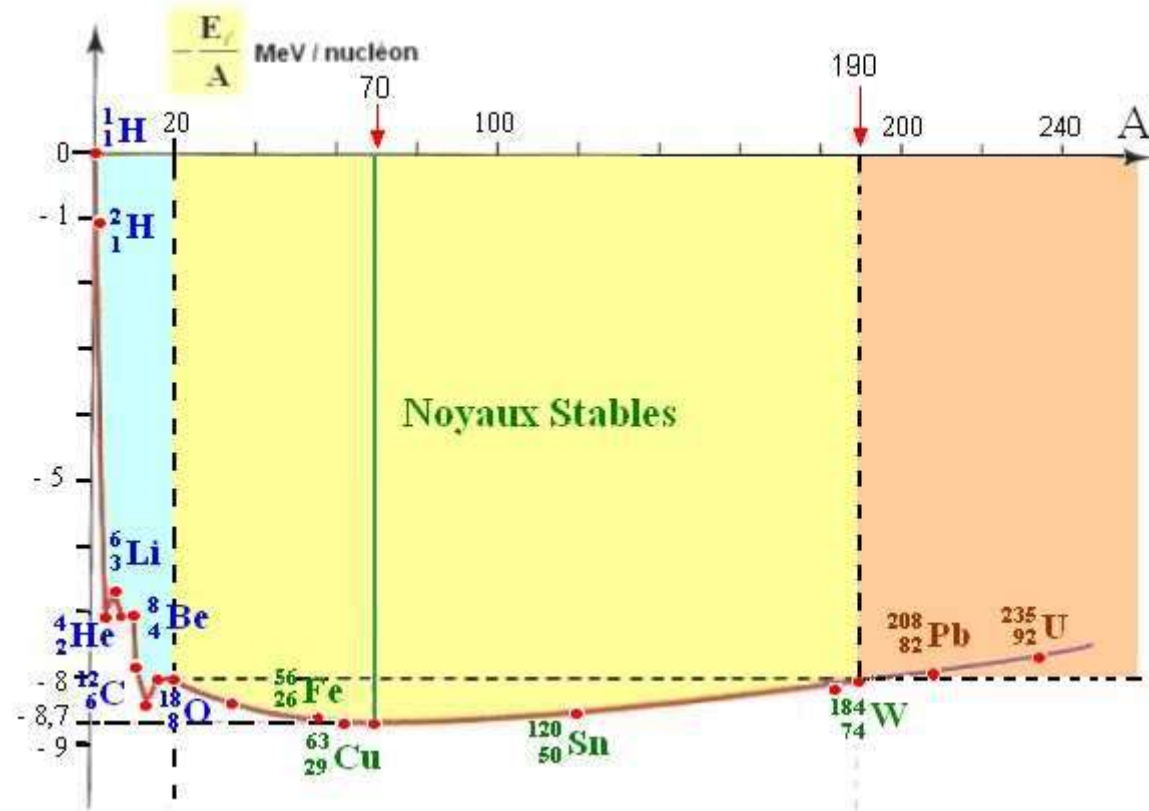
* **définition** : rapport d'embranchement

$$R_{\beta^-} = \frac{\lambda_{\beta^-}}{\lambda}; R_{\beta^+} = \frac{\lambda_{\beta^+}}{\lambda}; R_{\text{CE}} = \frac{\lambda_{\text{CE}}}{\lambda}$$

* ces rapports pour ^{64}Cu sont 39% (β^-), 19% (β^+) et 42% (CE).

II. La radioactivité

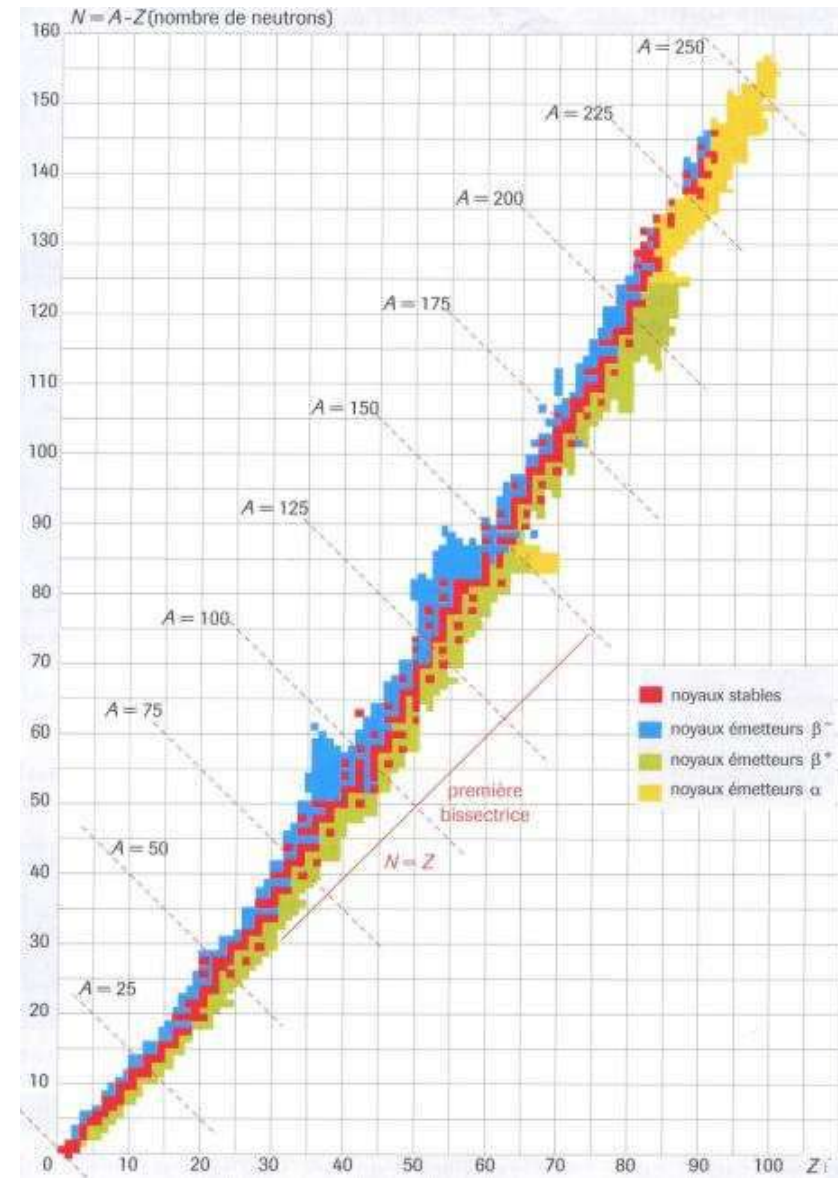
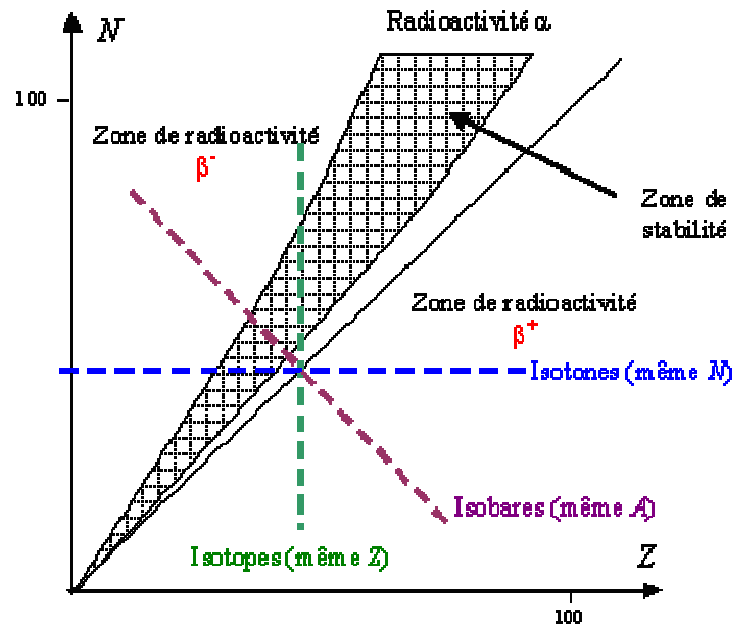
8. un petit résumé...



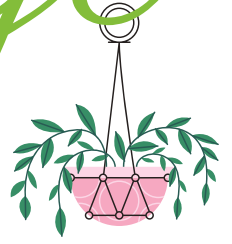
énergie de cohésion par nucléon en fonction du nombre de masse A

II. La radioactivité

8. un petit résumé...



Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

