

Chapitre 2
Transformations nucléaires

Dr. Pierre-Alexis GAUCHARD

Chapitre 2. Transformations nucléaires

Il existe 2 types de réactions nucléaires.

Les réactions nucléaires spontanées : un noyau se désintègre en émettant une ou des particules et/ou un rayonnement. Un tel noyau est dit radioactif.

Les réactions nucléaires provoquées : un noyau cible réagit avec une particule projectile pour produire un noyau de recul et une particule émise et/ou un rayonnement.

- I) Transformations nucléaires spontanées
- II) Transformations nucléaires provoquées
- III) Utilisation des radionucléides en santé

I) Transformations nucléaires spontanées

Radioactivité naturelle (certains noyaux dits radionucléides sont naturellement instables) :

Émission α

Emission β^-



Becquerel, Pierre Curie, Marie Curie
Prix Nobel de physique 1903

Radioactivité artificielle (radionucléide créé par une autre réaction nucléaire au préalable) :

Emission β^+



Irène et Frédéric Joliot-Curie
Prix Nobel de chimie 1935

I) Transformations nucléaires spontanées

I.1) Emissions α , β^- et β^+

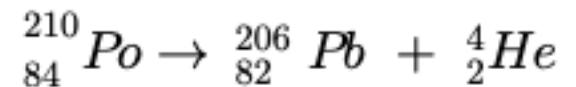
I.2) Stabilité / instabilité des noyaux

I.3) Rayonnement gamma

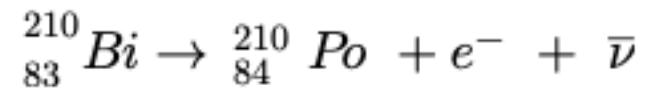
I.1) Emissions α , β^- et β^+

Radioactivité naturelle :

Émission α (particule = noyau d'helium ${}^4_2\text{He}$)

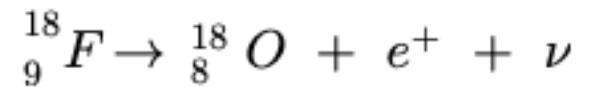


Emission β^- (particules = électron ${}^0_{-1}\text{e}^-$ + antineutrino ${}^0_0\bar{\nu}$)

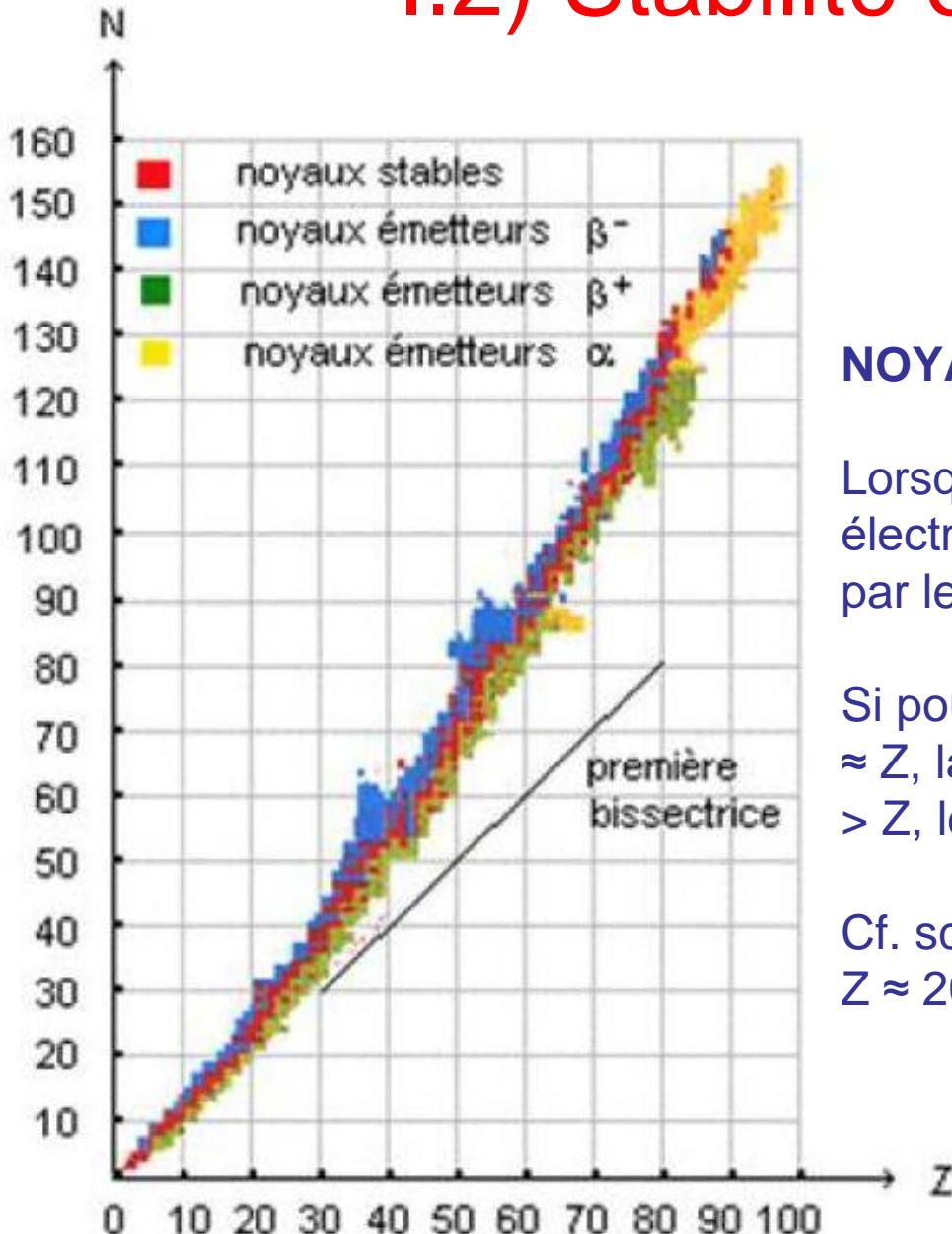


Radioactivité artificielle :

Emission β^+ (particules = positon ${}^0_1\text{e}^+$ + neutrino ${}^0_0\nu$)



I.2) Stabilité ou instabilité des noyaux



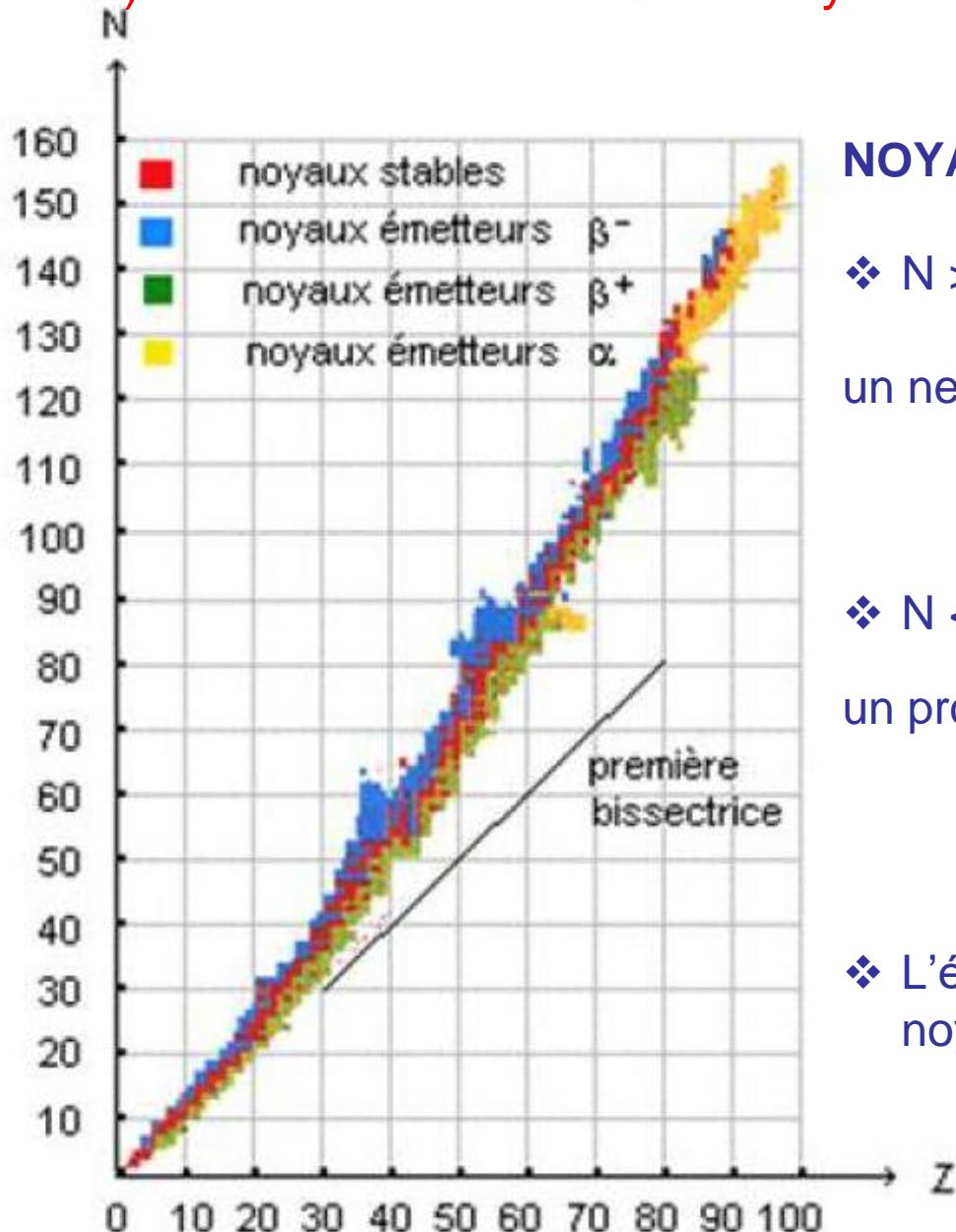
NOYAUX STABLES (en rouge)

Lorsque le nombre de protons dans le noyau augmente, la répulsion électrostatique finit par l'emporter sur l'interaction nucléaire (assurée par les neutrons).

Si pour les noyaux légers, la stabilité du noyau est assurée dès que $N \approx Z$, la stabilité des noyaux lourds nécessite un ration N/Z plus élevé ($N > Z$, les éléments ont besoin de plus de neutrons pour être stable)

Cf. schéma, la vallée des noyaux stables quitte la 1^{ère} bissectrice pour $Z \approx 20$, ce qui définit la limite noyaux légers / noyaux lourds.

I.2) Stabilité ou instabilité des noyaux



NOYAUX INSTABLES

- ❖ $N > N_{\text{stable}}$ (en bleu), excès de neutrons

un neutron se transforme en proton ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e^-$

⇒ émission d'un électron donc émission β^-

- ❖ $N < N_{\text{stable}}$ (en vert), excès de protons

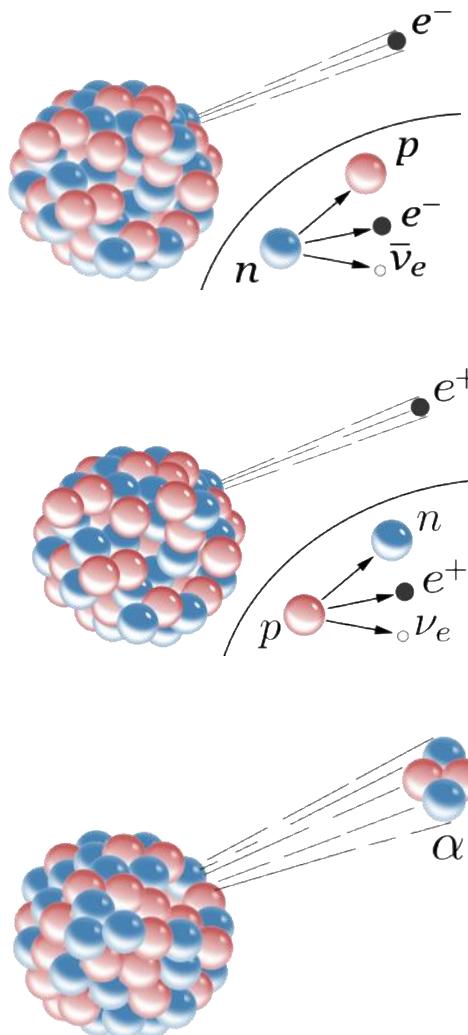
un proton se transforme en neutron ${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_1e^+$

⇒ émission d'un positon donc émission β^+

- ❖ L'émission α (en jaune) ne se produit quasiment que pour les noyaux très lourds : trop de nucléons (neutrons + protons)

⇒ émission d'une particule α (noyau 4_2He)

I.2) Stabilité ou instabilité des noyaux



NOYAUX INSTABLES

- ❖ $N > N_{\text{stable}}$ (en bleu), excès de neutrons

un neutron se transforme en proton ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e^-$

⇒ émission d'un électron donc émission β^-

- ❖ $N < N_{\text{stable}}$ (en vert), excès de protons

un proton se transforme en neutron ${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_1^0e^+$

⇒ émission d'un positon donc émission β^+

- ❖ L'émission α (en jaune) ne se produit quasiment que pour les noyaux très lourds : trop de nucléons (neutrons + protons)

⇒ émission d'une particule α (noyau ${}_{\frac{2}{4}}^4\text{He}$)

I.3) Rayonnement gamma

L'émission potentielle d'un rayonnement γ est un phénomène consécutif à la désintégration radioactive :

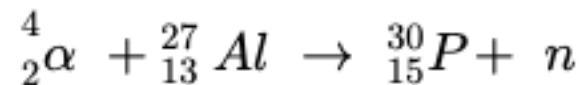
La radioactivité conduit en effet à un radionucléide qui est généralement dans un état excité

⇒ émission d'un photon γ (d'énergie $E = h \cdot v = h \cdot c / \lambda$)

II) Transformations nucléaires provoquées

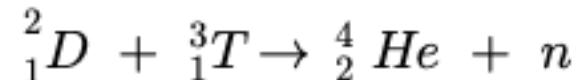
- Transmutation : par capture de diverses particules (e^- , neutron n, proton p, particule α)

Exemple : capture d'une particule α



- Fusion : réunion de 2 noyaux légers en un noyau plus lourd avec libération d'un neutron et d'énergie

Exemple :



- Fission : cassure, sous l'impact d'un neutron, d'un noyau lourd en deux noyaux plus légers excités, ceux-ci pouvant à leur tour se scinder (réaction en chaîne libérant une énergie considérable)

Exemple :



III) Utilisation des radionucléides en santé

Radiothérapie γ : destruction des tissus cancéreux

Stérilisation γ du matériel médical

Traitements locaux de cellules malades par fixation d'un radionucléide (traitement des hyperthyroïdies par l'iode 131, émetteur β^-)

Traceur pour obtenir l'image d'un organe, localiser une tumeur, une inflammation (scintigraphie, tomographie par émission de positons β^+)

Dilution isotopique (mesure du volume sanguin par injection de sodium radioactif)

Dosages des hormones de croissance, de l'insuline

Connaître les conséquences et justifier la prescription d'un examen irradiant (à but diagnostique ou thérapeutique) est une obligation légale pour tout médecin

L'essentiel

Les noyaux légers stables sont ceux pour lesquels $Z \approx N$

Pour les noyaux plus lourds, les éléments ont besoin de plus de neutrons pour être stable

Les autres noyaux sont radiactifs : émetteurs α (noyau d'helium 4) si excès de nucléons, β^- (électrons) si excès de neutrons ou β^+ (positons) si excès de protons.

Une désintégration radioactive est généralement suivie de l'émission d'un rayonnement γ .

Exercices

Exercice 1. L'uranium 238 se désintègre en un noyau de thorium Th par émission alpha.

Quel est le numéro atomique de l'élément thorium (l'uranium est l'élément de numéro atomique $Z = 92$) et quel est le nombre de mase du noyau créé ?

Exercice 2. Un noyau d'iode (${}_{53}\text{I}$) possédant 122 nucléons se désintègre en un noyau de tellure ${}_{52}\text{Te}$.

Par quel type d'émission spontanée se produit cette désintégration? Combien de neutrons possède le noyau de tellure formé?

Exercice 3. L'isotope le plus stable du sodium ($Z=11$) est l'isotope ${}^{23}\text{Na}$.

Le noyau de l'isotope spontanément radioactif ${}^{24}\text{Na}$:

- A. présente un excès de neutron par rapport à celui de l'isotope stable
- B. se désintègre par émission β^-
- C. se désintègre en un noyau de néon Ne ($Z=10$)
- D. se désintègre en un noyau de magnésium Mg ($Z=12$)

Exercices (correction)

Exercice 1. Émission α = émission d'un noyau d'hélium ${}_2^4\text{He}$)

La conservation des particules se traduit facilement avec l'équation : ${}_9{}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{10}{}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$

Le thorium est donc l'élément de numéro atomique 90, et le noyau créé a pour nombre de masse A = 234

Exercice 2. Le numéro atomique baissant de 1 unité, la désintégration de l'iode en tellure s'accompagne de l'émission d'une particule de nombre de charge = +1 soit un positon ${}_1^0\text{e}^+$

L'émission est donc une émission β^+

Le noyau de tellure formé possède 122 nucléons soit $122 - 52 = 70$ neutrons.

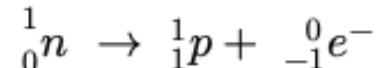
L'équation complète est : ${}_53^{122}\text{I} \rightarrow {}_{52}^{122}\text{Te} + {}_1^0\text{e}^+ (+ \nu)$

Exercices (correction)

Exercice 3. Items A, B, D

Le noyau de l'isotope spontanément radioactif ^{24}Na (24 nucléons et 11 protons soit 13 neutrons) possède un neutron de plus que l'isotope le plus stable du sodium (^{23}Na , 12 neutrons).

Le noyau du sodium ^{24}Na va donc se désintégrer via la transformation d'un neutron en proton



L'émission d'un électron $_1^0e^-$ (nécessaire pour la conservation des nombres de charge et de masse) est caractéristique d'une émission β^-

et le noyau créé possède un proton de plus que l'élément sodium : c'est donc un noyau de magnésium

L'équation complète est : $^{24}_{11}\text{Na} \rightarrow ^{24}_{12}\text{Mg} + _{-1}^0e^- (+ \bar{\nu})$

Mentions légales

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'Université Grenoble Alpes (UGA).

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits à l'Université Grenoble Alpes (UGA), et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.