

- Objectifs :**
- Connaître la signification du symbole  ${}^A_Z X$  et donner la composition du noyau correspondant.
  - Définir l'isotopie et reconnaître des isotopes.
  - Reconnaître les domaines de stabilité et d'instabilité sur un diagramme (N, Z).
  - Définir un noyau radioactif.
  - Connaître et utiliser les lois de conservation.
  - Définir la radioactivité  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ , l'émission  $\gamma$  et écrire l'équation d'une réaction nucléaire pour une émission  $\alpha$ ,  $\beta^-$  ou  $\beta^+$  en appliquant les lois de conservation.
  - À partir de l'équation d'une réaction nucléaire, reconnaître le type de radioactivité.

## 1. Émissions radioactives

H. Becquerel découvre la radioactivité en 1896. Marie Curie invente le terme de radioactivité. Pierre et Marie Curie isolent le radium et le polonium. Ces trois scientifiques eurent le prix Nobel de physique en 1903.

Au fur et à mesure des découvertes sur la matière à l'échelle microscopique, on a découvert un certain nombre de particules avant même de connaître le noyau atomique et ses constituants. Les propriétés de ces particules ont même permis la découverte du noyau par Rutherford en 1911.

Plus tard, les particules émises par les corps radioactifs ont été identifiées comme étant des noyaux d'hélium ou des électrons.

Une source radioactive est constituée d'atomes pouvant éjecter des particules (autrefois appelées « rayons »).

## 2. Les noyaux atomiques et leur stabilité

### 2.1. Composition d'un noyau atomique

Le noyau est constitué de particules appelées nucléons.

Les nucléons sont de deux sortes : les protons et les neutrons.

Le proton porte une charge électrique positive  $q_p = +e$  (charge élémentaire de valeur  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ).

Le neutron ne porte pas de charge électrique, il est neutre  $q_n = 0 \text{ C}$ .

Un proton et un neutron ont approximativement la même masse :  $m_p \approx m_n \approx 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

Par définition :

Le nombre de nucléons d'un noyau est désigné par A.

Le nombre de protons d'un noyau s'appelle nombre de charges ou numéro atomique et se note Z.

Le nombre de neutrons est noté N et  $N = A - Z$

Le noyau de l'atome de symbole X est représenté par :  ${}^A_Z X$

avec : A le nombre nucléons et Z le nombre de charges (numéro atomique).

### 2.2. Les nucléides

Rappel : un élément chimique est l'ensemble des particules ayant même numéro atomique Z.

Un nucléide est l'ensemble des noyaux ayant le même nombre de proton et le même nombre de neutrons.

Un nucléide est donc un ensemble de noyaux identiques ayant même A et même Z.

Un nucléide est caractérisé par A et Z.

On connaît environ 1500 à 2000 nucléides dont environ 350 naturels.

### 2.3. Les isotopes

Des noyaux faisant partie du même élément chimique, mais pas du même nucléide, sont dits isotopes.

Des isotopes ont donc le même numéro atomique Z mais pas le même nombre de nucléons A.

Exemples :

➤ Les trois isotopes de l'hydrogène :

${}^1_1\text{H}$  (proton) ;  ${}^2_1\text{H}$  (deuton ou deutéron : noyau de deutérium) ;  ${}^3_1\text{H}$  (triton : ou noyau de tritium)

➤ Quelques isotopes du carbone :

${}^{12}_6\text{C}$  (noyau de carbone 12) ;  ${}^{13}_6\text{C}$  (noyau de carbone 13) ;  ${}^{14}_6\text{C}$  (noyau de carbone 14).

## 2.4. Stabilité d'un noyau atomique

Les protons se repoussent et malgré cela les noyaux comportant plusieurs protons dans une zone de très petites dimensions existent.

C'est l'interaction forte (Cf. 1<sup>ère</sup> S) qui unit les différents nucléons, cette interaction est beaucoup plus intense (environ  $\times 1000$ ) que la répulsion due à l'interaction électromagnétique entre charges de même signe. Mais la portée de l'interaction forte est de l'ordre de 1,5 fm, alors que l'interaction électromagnétique porte à l'infini, ainsi lorsque le volume du noyau devient trop important la somme des forces répulsives peut rivaliser avec la somme des forces attractives.

Si la cohésion du noyau est insuffisante, il est instable et peut se désintégrer spontanément : le noyau est radioactif.

Dans certains cas, une autre interaction dite « faible » rend également le noyau instable.

Les nucléides radioactifs sont aussi appelés radionucléides.

Il n'existe que 274 nucléides stables.

Si on classe les nucléides stables dans un diagramme  $N = f(Z)$ , on constate que pour  $A < 20$  les nucléides stables vérifient la relation approchée  $A = 2Z$  (ou  $N = Z$ ), puis pour  $A > 20$ , les noyaux présentent un excès de neutrons et le rapport  $A/Z$  augmente et tend vers 2,5 pour les noyaux les plus lourds.

Cette zone regroupant les noyaux stables est appelée « la vallée de stabilité ».

Les noyaux situés au dessus présentent un excès de neutrons, ceux en dessous un défaut de neutrons, et ceux au-delà de  $Z = 82$  ont trop de nucléons, ce sont les « noyaux lourds ».

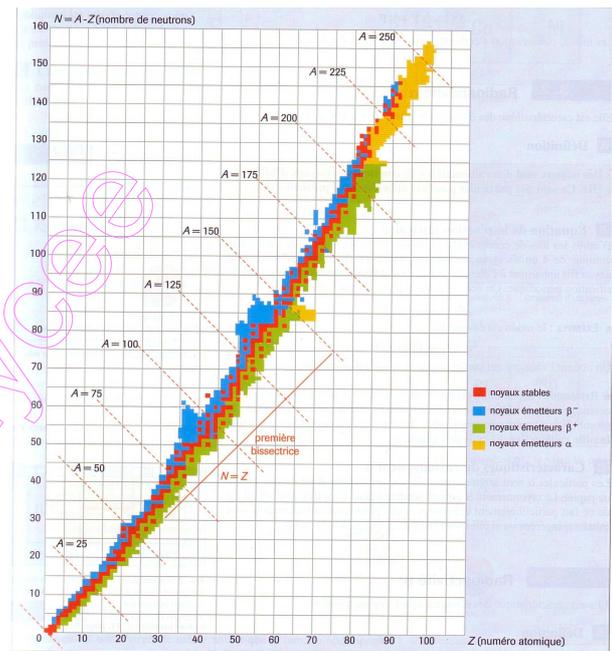


Fig. 5 Diagramme N en fonction de Z pour tous les noyaux. L'ensemble des noyaux stables (en rouge) forme la vallée de stabilité.

## 3. Les réactions nucléaires spontanées

### 3.1. La radioactivité

La radioactivité est la transformation spontanée d'un noyau au cours du temps. Cette transformation modifie la nature du noyau et s'accompagne de l'émission de particules et de radiations électromagnétiques.

La désintégration d'un noyau est :

- spontanée, (se déroule sans facteur déclenchant)
- inéluctable, (se produira tôt ou tard mais de manière certaine)
- aléatoire, (il est impossible de savoir à quel instant un noyau donné se désintégrera)
- indépendante des combinaisons chimiques dans lesquelles l'atome est engagé.
- indépendante des conditions physiques (température T, pression p, champ magnétique  $\vec{B}$ , champ électrique  $\vec{E}$ , état solide, état liquide, état gazeux ...),

Un noyau « père » disparaît pour former un noyau « fils » et du rayonnement (particules + radiations).

Loi de conservation :

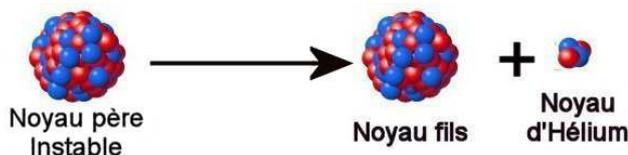
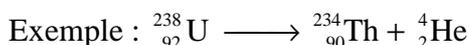
**Au cours d'une transformation nucléaire (spontanée ou non), il y a conservation du nombre total de nucléons A et du nombre total de charges électriques Z.**

## 3.2. Les différentes radioactivités

### 3.2.1. Radioactivité $\alpha$

La radioactivité  $\alpha$  correspond à l'émission de noyaux d'hélium  ${}^4_2\text{He}$  (autrefois appelés rayons, ou particules,  $\alpha$  avant la découverte de l'hélium) par certains noyaux. Ce type de radioactivité concerne les noyaux présentant un excès de nucléons et appelés « noyaux lourds » ( $A > 200$ ).

$$\text{Équation générale : } {}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$$

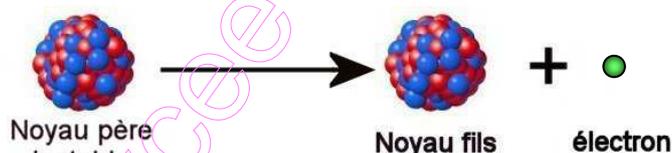
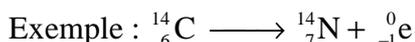


### 3.2.2. Radioactivité $\beta^-$

La radioactivité  $\beta^-$  correspond à l'émission d'électrons (autrefois appelés rayons, ou particules  $\beta$  avant la découverte de l'électron) par certains noyaux. Ce type de radioactivité concerne les noyaux présentant un excès de neutrons. Les noyaux radioactifs  $\beta^-$  sont situés au dessus de la vallée de stabilité.

$$\text{Équation générale : } {}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}$$

On omettra l'antineutrino  $\bar{\nu}$ .



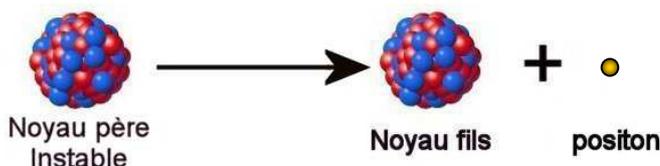
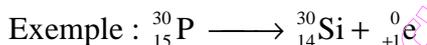
### 3.2.3. Radioactivité $\beta^+$

La radioactivité  $\beta^+$  correspond à l'émission de positrons (ou positons) par certains noyaux. Les positrons sont les antiparticules des électrons : toutes leurs propriétés sont identiques à celle des électrons sauf leur charge électrique qui est opposée. Ce type de radioactivité concerne les noyaux présentant un excès de protons. Les noyaux radioactifs  $\beta^+$  sont situés au dessous de la vallée de stabilité.

La radioactivité  $\beta^+$  existe surtout pour les nucléides artificiels (préparés dans des réacteurs nucléaires ou dans les accélérateurs de particules). Elle est extrêmement rare pour les nucléides naturels.

$$\text{Équation générale : } {}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + {}^0_{+1}\text{e} + \nu$$

On omettra le neutrino  $\nu$ .



(historique : 1<sup>er</sup> nucléide artificiel créé en 1934 par I. et F. Joliot-Curie)

### 3.2.4. Désexcitation $\gamma$

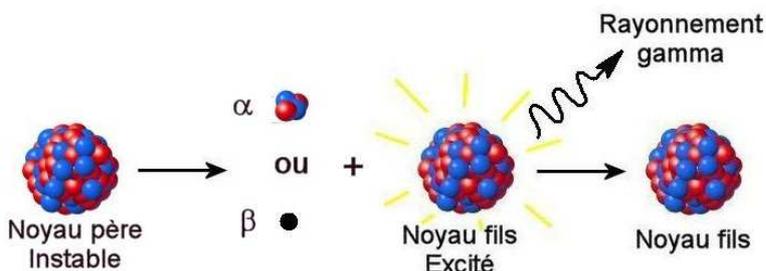
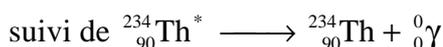
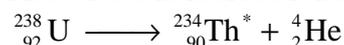
Si le noyau fils issu d'une désintégration radioactive  $\alpha$  ou  $\beta$  est dans un état excité, l'excédent d'énergie est libéré sous forme de rayonnement électromagnétique  $\gamma$  de très haute fréquence (de l'ordre de  $10^{20}$  Hz).

Un noyau dans un état excité est représenté avec un astérisque en exposant à droite.

$$\text{Équation générale : } {}^A_Z\text{X}^* \longrightarrow {}^A_Z\text{X} + {}^0_0\gamma$$

Exemple :

Associée à la radioactivité  $\alpha$



### 3.3. Familles radioactives

La radioactivité entraîne la transformation d'un nucléide en un autre nucléide. Si ce dernier est lui-même radioactif, il se transforme à son tour, et ainsi de suite jusqu'à ce que le nucléide obtenu ne soit plus radioactif.

L'ensemble des nucléides obtenus à partir d'un même noyau père est appelé famille radioactive.

Il existe 4 familles radioactives : celle du Neptunium, celle de l'uranium (cf ci-dessous), celle de l'actinium et celle du thorium.

Certains nucléides peuvent se désintégrer soit par radioactivité  $\alpha$  soit par radioactivité  $\beta^-$ , comme le polonium 218 dans la famille de l'uranium.

