

PARTIE II : COMPRENDRE

- Recueillir et exploiter des informations sur la découverte de la radioactivité naturelle et de la radioactivité artificielle.
- Connaître la définition et des ordres de grandeur de l'activité exprimée en becquerel.
- Utiliser les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire.
- Utiliser la relation $E_{\text{libérée}} = |\Delta m| c^2$.
- Recueillir et exploiter des informations sur les réactions nucléaires (domaine médical, domaine énergétique, domaine astronomique, etc.).

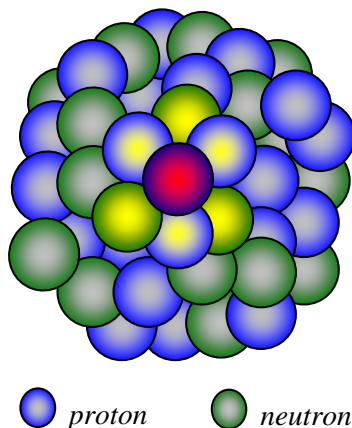
Chapitre 8

Radioactivité et réactions nucléaires

I. La radioactivité

I.1 Origine de la radioactivité

↓ Figure 1 : Un noyau lourd



Un proton donné du noyau n'est lié par l'interaction nucléaire forte qu'aux nucléons directement en contact. Les autres nucléons du noyau ne l'attirent pas du fait de la portée très limitée de l'interaction forte.

Ce même proton est aussi repoussé par, cette fois-ci, tous les protons présents dans le noyau, car l'interaction électromagnétique, bien que diminuant avec la distance, a une portée infinie.

Ainsi, si l'on augmente le nombre de nucléons dans un nucléide, la force nucléaire forte s'exerçant sur un proton reste constante alors que la force de répulsion électromagnétique augmente en fonction du nombre de protons.

Questions :

- Que représentent les nucléons au cœur jaune pour le proton au cœur rouge ?
- A l'échelle du noyau d'un atome, quelle est l'interaction fondamentale qui est théoriquement la plus forte ?
- Quelle est néanmoins un scénario prévisible pour un noyau possédant un trop grand nombre de nucléons dans son noyau ? Justifier.

Dans un **nucléide** (noyau d'atome) renfermant un nombre trop élevé de nucléons, ou selon la proportion du nombre de protons par rapport au nombre de neutrons, on observe une inversion du rapport de force entre l'interaction nucléaire forte et l'interaction électromagnétique : ces noyaux sont alors instables et vont émettre des particules à haute vitesse.

Ce phénomène est appelé **radioactivité**.

I.2 Découverte de la radioactivité

- La radioactivité naturelle

En 1896 le physicien *Henri Becquerel* découvre fortuitement un rayonnement mystérieux :

"Une plaque photographique a été enfermée dans un châssis opaque, fermé d'un côté par une plaque d'aluminium : si l'on expose le châssis en plein soleil, la plaque n'est pas voilée. Cependant, si l'on vient à fixer sur la plaque d'aluminium, à l'extérieur, une lamelle de sel d'uranium et si l'on expose le tout pendant plusieurs heures au soleil, on reconnaît, lorsqu'on développe ensuite la plaque par des procédés ordinaires, que la silhouette de la lamelle cristalline apparaît en noir sur la plaque sensible. Parmi les expériences qui précèdent, quelques unes avaient été préparées le mercredi 26 et le jeudi 27 février. J'avais conservé les expériences toutes préparées et rangé les châssis à l'obscurité en y laissant les lamelles de sel d'uranium. Le soleil ne s'étant pas montré pendant plusieurs jours, je décidais de sortir les plaques de l'obscurité et de les développer le 1^{er} mars sans avoir pu les exposer au soleil, en m'attendant à trouver des images très faibles. Les silhouettes des lamelles apparurent au contraire avec une grande intensité."

Henry Becquerel, note à l'Académie des Sciences, 1896

Questions :

- La lumière du Soleil est-elle en mesure d'impressionner des plaques photographiques enfermées dans un châssis opaque ?
- D'où provient le rayonnement à l'origine de la silhouette noire lors de la première expérience de H. B. ?
- Le physicien pense dans un premier temps que ce rayonnement a été émis par le sel d'uranium sous l'influence de la lumière solaire. Expliquer, au vu des expériences suivantes que cette hypothèse est fausse.
- Quels facteurs semblent influencer ce rayonnement du sel d'uranium ?

• La radioactivité artificielle

En 1934, Frédéric et Irène Joliot Curie découvrent qu'en bombardant une feuille d'aluminium avec des particules α (alpha), certains atomes d'aluminium de la feuille changent de nature et deviennent du phosphore 30. Ils remarquent alors que cet isotope du phosphore émet à son tour une particule (un positon) pour devenir un atome de silicium 30 stable.

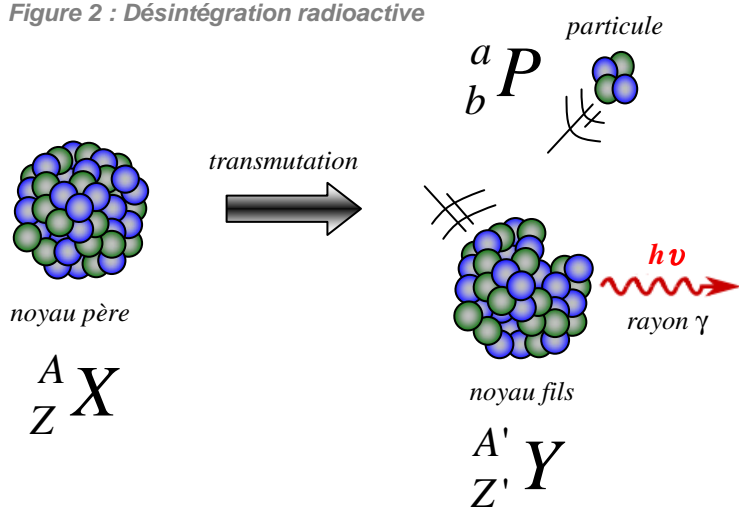
Questions :

- Pourquoi peut-on parler de radioactivité artificielle dans cette expérience ?
- Sachant qu'une particule α n'est rien d'autre qu'un noyau d'hélium 4, déterminer la composition exacte d'une telle particule.
- Un positon est l'antiparticule de l'électron. Déterminer la charge et la masse du positon (ou positron).

I.3 Les différentes formes de radioactivités

Lors d'une désintégration radioactive, un nucléide (noyau père) émet spontanément une particule et un rayonnement γ (gamma) électromagnétique pour transmuter en un autre nucléide (noyau fils).

↓ Figure 2 : Désintégration radioactive



Questions :

- Quelle relation semble exister entre A , A' et a ?
- Même question entre Z , Z' et b .
- Quel type de particule est émise dans l'exemple de la figure 2 ?

A noter :

Il existe 3 formes de radioactivité selon la particule émise :

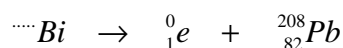
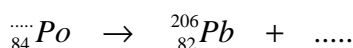
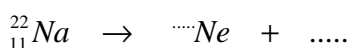
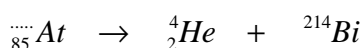
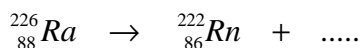
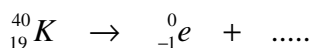
- Particule α notée : ${}^4_2 He$
- Particule β^- notée : ${}^0_{-1} e$ (électron)
- Particule β^+ notée : ${}^0_1 e$ (positon)

Les lois de Soddy :

Lors d'une désintégration radioactive, le nombre de masse et le nombre de charge doivent être conservés.

Exercice :

- Si le neutron s'écrit ${}^1_0 n$ et l'électron ${}^0_{-1} e$, comment écrit-on un proton ?
- Compléter l'écriture des équations ci-dessous :



I.4 L'activité d'un échantillon radioactif

Chaque élément chimique possède un ou plusieurs isotopes stables jusqu'à l'uranium ($Z = 92$). A partir de $Z = 93$ (neptunium) il n'existe plus de nucléide stable.

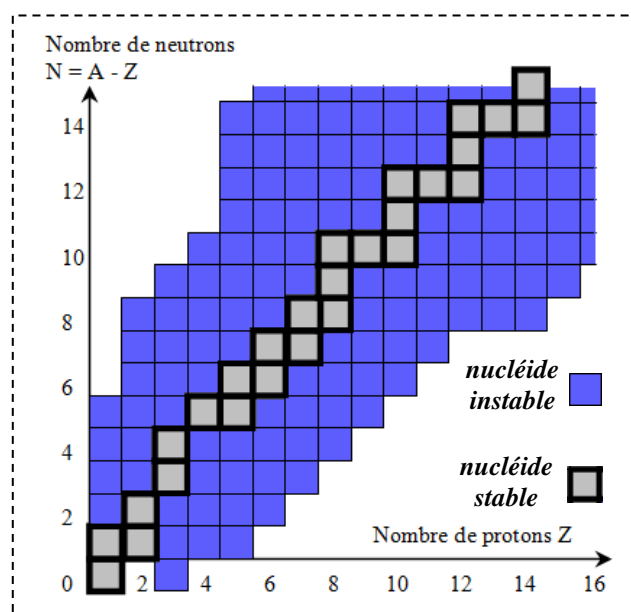
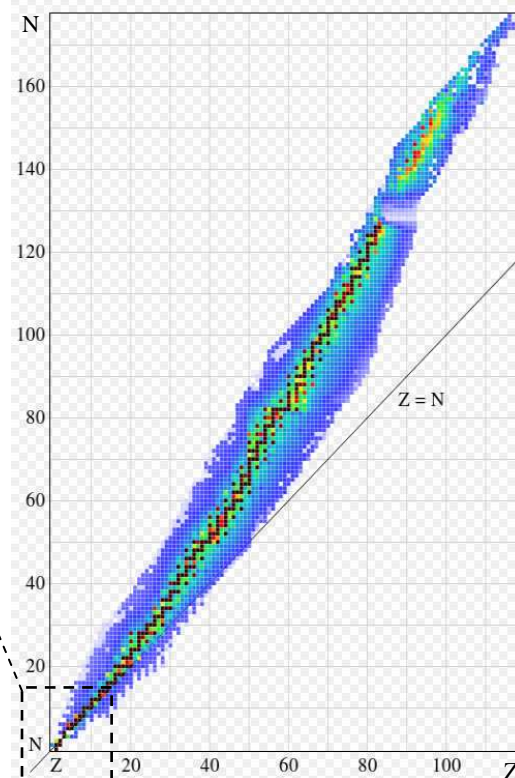


Figure 3



Questions :

- Repérer la colonne de l'élément hydrogène. Combien existe-t-il d'isotopes stables pour cet élément ? Ecrire ces nucléides stables.
- Pour l'hydrogène, combien existe-t-il d'isotopes radioactifs ?
- Indiquer le seul nucléide stable de l'élément $Z = 11$. Rechercher son nom.
- Que remarque-t-on quant au nombre de nucléides instables par rapport au nombre de nucléides stables ?

Les substances radioactives sont composées de noyaux d'atomes (nucléides) instables qui se transforment spontanément en d'autres noyaux tout en émettant des particules (α , β^- ou β^+) accompagnées d'un rayonnement de très haute énergie (rayon γ). Ces particules et rayonnements sont très dangereux pour la vie car ils détruisent ou modifient entre autre les molécules d'ADN contenue dans les cellules des êtres vivants.

A retenir :

- Lorsqu'un atome radioactif se désintègre, il émet une particule et se transforme en un autre atome.
- L'Activité notée A d'une substance radioactive est le nombre de désintégrations que l'on observe en une seconde. Elle se compte en becquerel (Bq)**
- Le nombre d'atomes radioactifs contenu dans un échantillon est appelé **population** et est noté N .
- Ainsi, à chaque fois qu'un noyau radioactif se désintègre, la population N de ce nucléide diminue de 1.

Quelques activités moyennes pour 1kg de matière :

Eau douce	0,1 à 1 Bq
Eau de mer	10 Bq
Homme	10^2 Bq
Granite	10^3 à 10^4 Bq
Radium	10^{13} Bq

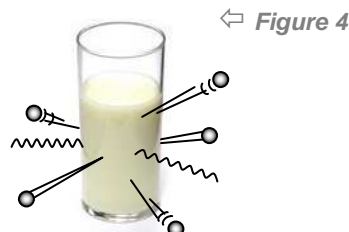


Figure 4

Questions :

- Soit une population de $N = 10\,000$ noyaux radioactifs. Sachant que l'activité A de cet échantillon est de 5 Bq , déterminer la population N de ce nucléide au bout de 3 secondes.
- Si dans un échantillon de matière, la population N d'un nucléide radioactif diminue, qu'advient-il logiquement de l'activité A de cet échantillon ?
- Que peut-on en déduire sur les substances radioactives avec le temps, et notamment des déchets radioactifs ?

II. Les réactions nucléaires

II.1 La fission

La **fission est une réaction nucléaire provoquée au cours de laquelle un noyau lourd**, percuté par un neutron de faible énergie, **se scinde généralement en deux noyaux plus légers** avec production de 2 ou 3 neutrons.

De tels noyaux lourds sont dits fissiles

A noter :

- L'uranium 235 est le seul atome naturel fissile, c'est pour cette raison qu'on l'utilise comme seul combustible dans les centrales nucléaires conventionnelles.
- La fission nucléaire est une réaction nucléaire très exoénergétique.
- L'énergie des bombes atomiques provient de fissions en chaîne volontairement non contrôlées.

Question :

A l'aide des lois de Soddy, compléter ces équations de fission de l'uranium 235 :

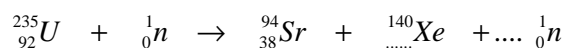
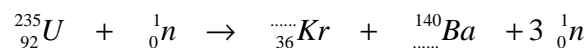
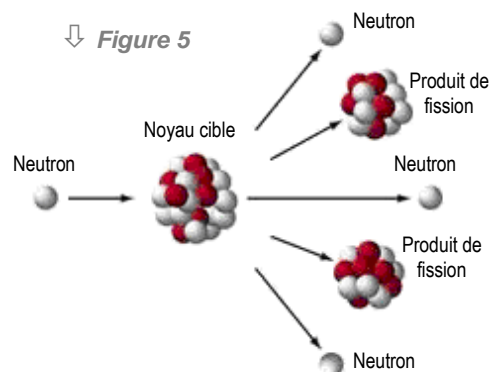


Figure 5



II.2 La fusion

La **fusion nucléaire est obtenue en obligeant deux noyaux (nucléides) légers à fusionner pour former un nucléide plus lourd**. Ce processus s'accompagne d'un fort dégagement d'énergie **à l'origine de la lumière produite par les étoiles**.

Produire cette énergie de manière contrôlée et rentable sur Terre est encore impossible car pour amorcer la fusion, il faut des températures et des pressions colossales très difficiles à atteindre.

A noter :

- L'énergie des bombes à hydrogène provient de la fusion nucléaire.
- A masse engagée équivalente la fusion dégage 5 à 10 fois plus d'énergie que la fission.

Question :

A l'aide des lois de Soddy, compléter ces équations de fusion nucléaire :

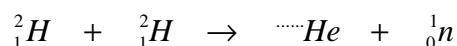
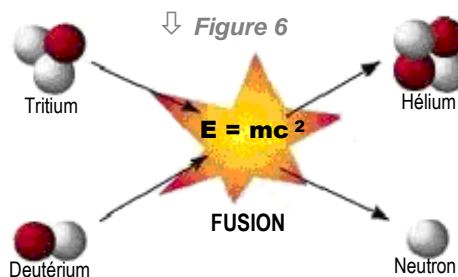


Figure 6



II.3 L'énergie des réactions nucléaires

Lors d'une réaction nucléaire, de la masse est convertie en énergie selon l'équivalence donnée par la relation :

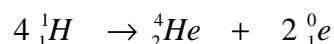
$$E = \Delta m \times c^2$$

E en J
 Δm en kg
 c en m/s

avec : • Δm la variation de masse entre les réactifs et les produits de la réaction nucléaire
• c la célérité de la lumière dans le vide.

Exercice :

Considérons la fusion thermonucléaire dans les étoiles de type naine jaune (Soleil) :



Données : $m_{\text{H}} = 1,67372 \times 10^{-27} \text{ kg}$

$m_{\text{e}} = 9,10938 \times 10^{-31} \text{ kg}$

$m_{\text{He}} = 6,64648 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Questions :

- Déterminer la masse totale M_R des réactifs.
- Déterminer la masse totale M_P des produits de la fusion
- Calculer alors la masse Δm qui a disparue en étant devenue de l'énergie.
- En déduire la valeur de l'énergie dégagée par cette réaction nucléaire.

Notre Soleil, de masse $2 \times 10^{30} \text{ kg}$, est une étoile de taille très modeste dans l'Univers. Elle perd, du fait des réactions thermonucléaires en son sein, près de 5 milliards de kilogrammes chaque seconde !

Ainsi, l'énergie lumineuse émise chaque seconde par le Soleil vaut : $E = \Delta m \times c^2 = 5 \cdot 10^9 \times (3 \cdot 10^8)^2 \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ J}$
C'est l'équivalent de 2 milliards de fois l'énergie produite par la bombe nucléaire la plus puissante fabriquée à ce jour.