

# Chapitre II RADIOACTIVITE & REACTIONS NUCLEAIRES

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
Cohésion du noyau, stabilité. Radioactivité naturelle et artificielle. Activité. Réactions de fission et de fusion.	Utiliser la représentation symbolique ${}^A_ZX$ ; définir l'isotopie et reconnaître des isotopes.
Lois de conservation dans les réactions nucléaires. Équivalence masse-énergie ; défaut de masse.	Utiliser les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire. Utiliser la relation $E = mc^2$ .
Réactions nucléaires et aspects énergétiques associés.	Ordre de grandeur des énergies mises en jeu dans les réactions nucléaires. Recueillir et exploiter des informations sur les réactions nucléaires (domaine médical, domaine énergétique, domaine astronomique, ...).

## I. Introduction historique

Activité p 190

## II. Réactions nucléaires spontanées

### A/ Cohésion du noyau et radioactivité

Malgré l'interaction nucléaire forte, sur les 1500 noyaux connus (naturels et artificiels), seuls **260 sont stables**. Les autres se désintègrent spontanément, plus ou moins rapidement selon leur composition.

Pour localiser ces deux types de noyaux, on utilise un **diagramme (N,Z)** ; où N = A-Z désigne le nombre de neutrons, et Z le nombre de protons. (voir livre p191 et 195)

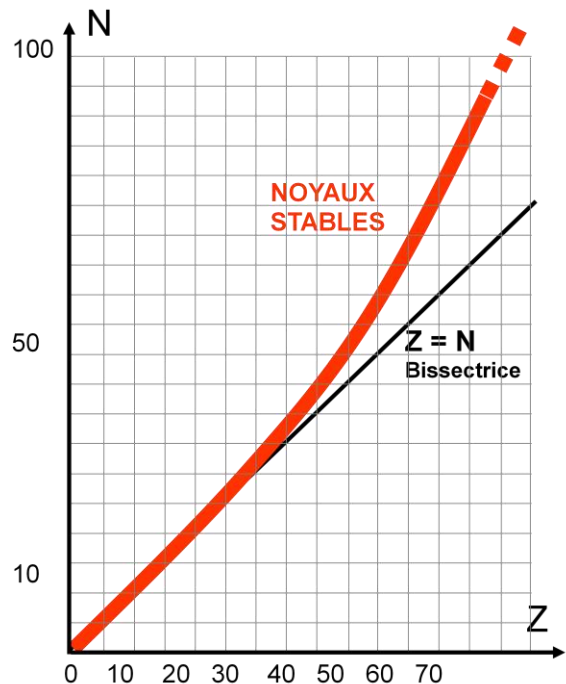
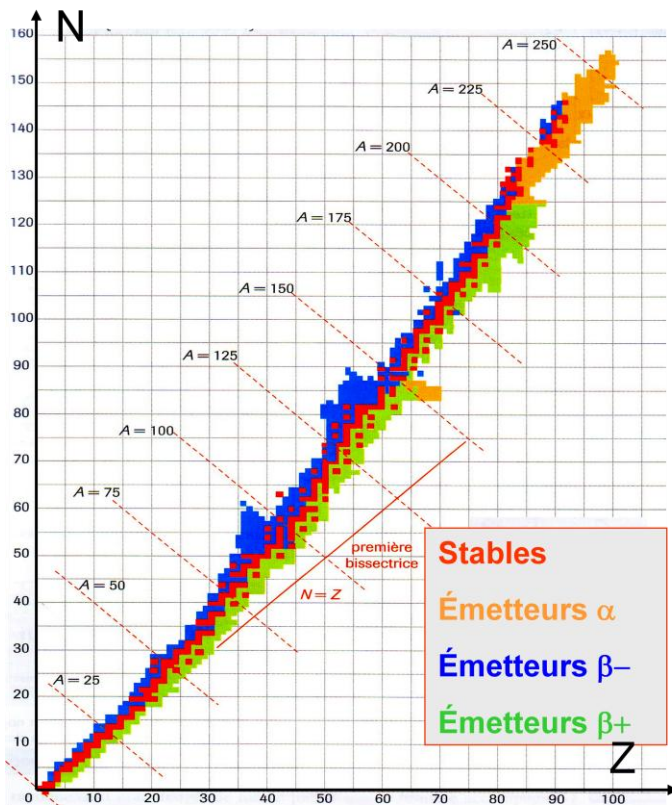


[http://www.ostralo.net/3\\_animations/animations\\_phys\\_nucleaire.htm](http://www.ostralo.net/3_animations/animations_phys_nucleaire.htm)

On voit que pour  $Z < 20$ , les noyaux stables se situent sur la diagonale, appelée **vallée de stabilité** (autant de protons que de neutrons).

Ensuite, la stabilité du noyau n'est assurée que si le nombre de neutrons est supérieur au nombre de protons (si Z est trop élevé, les forces électrostatiques l'emportent sur les forces nucléaires et les noyaux se désintègrent).

**Aucun noyau dont  $Z > 83$  n'est stable.**



Lorsqu'un **noyau est instable**, il peut expulser spontanément une particule et émettre un rayonnement gamma ( $\gamma$ ) de grande énergie. Cette réaction est appelée « désintégration radioactive », au cours de laquelle se forme le noyau d'un autre élément. La particule émise peut être :

- un électron pour une réaction de type  $\beta^-$
- un positon pour une réaction de type  $\beta^+$
- un noyau d'hélium pour une réaction de type  $\alpha$

### B/ Les lois de conservation (ou lois de Soddy)

À partir du document : La décroissance radioactive, une maladie génétique des atomes

- ✎ Rappeler la définition du mot « isotope » à partir de l'exemple proposé dans « Le triste cas de la famille Uranium ».
- ✎ Donner la composition de la particule  $\alpha$ . Comment peut-on l'écrire sous la forme  ${}^A_ZX$  ?
- ✎ Donner la composition de la particule  $\beta^-$ . Comment peut-on l'écrire sous la forme  ${}^A_ZX$  ?
- ✎ Écrire l'équation de désintégration de  ${}^{238}\text{U}$  en  ${}^{234}\text{Th}$ . Puis celle du  ${}^{234}\text{Th}$  en  ${}^{234}\text{Pa}$ .
- ✎ En déduire les lois de conservation dans les réactions nucléaires.
- ✎ Pourquoi le mécanisme de désintégration de  ${}^{238}\text{U}$  s'arrête-t-il au  ${}^{206}\text{Pb}$  ?

Lors d'une **désintégration radioactive**, un noyau père se désintègre spontanément en émettant un noyau fils, une particule chargée et un rayonnement électromagnétique  $\gamma$ .

Lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation du nombre de nucléons  $A$  et du nombre de charges  $Z$ .

Soit une réaction nucléaire où un noyau père ( $X$ ) donne naissance à un noyau fils ( $Y$ ) en émettant une particule chargée  $P$  :

Les lois de conservation s'écrivent :  $A = A_1 + A_2$  et  $Z = Z_1 + Z_2$

### C/ Les différents types de désintégration

Type de réaction spontanée	Particule associée	Exemple d'équation de la réaction	Conservation du nombre de masse	Conservation du nombre de charge
Alpha $\alpha$				
Bêta moins $\beta^-$				
Bêta plus $\beta^+$				

### D/ La désexcitation $\gamma$

À la suite d'une désintégration, le noyau fils peut être dans un état dit « excité ». Il devient stable en libérant l'excédent d'énergie qu'il possède sous forme d'un rayonnement électromagnétique de fréquence très élevée appelé **rayonnement  $\gamma$** .

L'équation de la réaction nucléaire est :  ${}^A_Z Y^* \rightarrow {}^A_Z Y$  avec émission  $\gamma$ .

### E/ Activité et décroissance radioactive

L'activité d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations par seconde. Elle s'exprime en becquerel Bq.

Un becquerel correspond à une désintégration par seconde.

L'activité d'un échantillon radioactif peut être évaluée avec un compteur Geiger.

Pour un échantillon donné, le nombre de noyaux susceptibles de se désintégrer diminue au cours du temps, donc l'activité de l'échantillon diminue.

L'activité est **divisée par deux** au bout d'une durée  $t_{1/2}$ , appelée **demi-vie** de l'échantillon radioactif.

### III. Réactions nucléaires provoquées

#### A/ Définition

Il existe deux types de **réactions provoquées** : les réactions nucléaires de fusion et de fission. Les réactions nucléaires de fusion et de fission doivent vérifier les **lois de conservation** comme toutes réactions nucléaires :

- Conservation du nombre de masse (ou nombre de nucléons)
- Conservation du numéro atomique (ou nombre de protons)

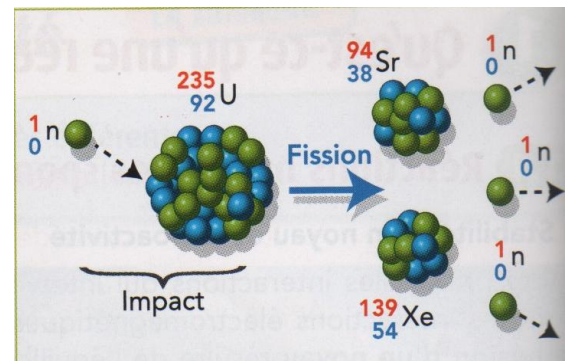
#### B/ La fission des noyaux lourds

##### 1) Définition

La **fission** est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd, dit **fissile**, est **scindé en deux noyaux plus légers** sous l'impact d'un neutron.

##### 2) Exemples

Soit la réaction de fission de l'uranium 235 qui donne naissance à un noyau de strontium 94 et à un noyau de Xénon 139. Ecrire l'équation correspondante.



Soit la réaction, réalisée dans un réacteur nucléaire, de fission de l'uranium 235 qui donne naissance à un noyau de césium 140 et à un noyau de rubidium 93. Ecrire l'équation correspondante.

##### 3) Remarque

Une réaction de fission va **donner naissance à des noyaux fils mais aussi à des neutrons**, ceux-ci pouvant aller rencontrer d'autres noyaux d'uranium : on obtient alors **une réaction en chaîne**.

On peut alors vouloir que cette **réaction en chaîne** s'emballe : on obtient alors une **bombe atomique A**. Ou bien, on veut la contrôler pour produire une quantité d'énergie souhaitée : c'est le cas dans les centrales nucléaires.

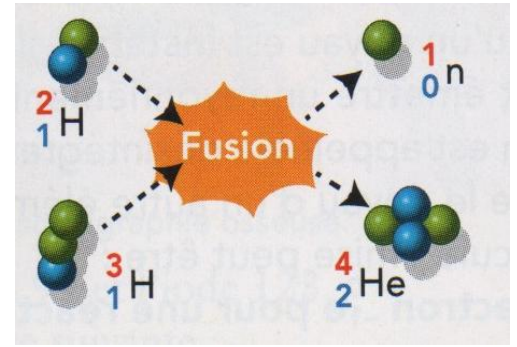
#### C/ La fusion des noyaux légers

##### 1) Définition

La **fusion** est une réaction nucléaire au cours de laquelle **deux noyaux légers** s'unissent pour donner **un noyau plus lourd**.

## 2) Exemples

La fusion la plus courante est celle entre un noyau de deutérium et un noyau de tritium. Ecrire l'équation de la réaction. (Le deutérium et le tritium sont deux isotopes de l'hydrogène, ils ont respectivement un neutron et deux neutrons, alors que le noyau d'hydrogène n'a qu'un proton).



## 3) Remarque

La fusion de deux noyaux chargés positivement nécessite des températures très élevées. Ces conditions existent dans les étoiles comme le Soleil. Sur Terre, les recherches sur la maîtrise de la fusion sont en cours, mais la fusion a déjà servi à créer des **bombes thermonucléaires** (bombes H). Dans ce cas, une réaction de fission permet d'engendrer la haute température nécessaire au démarrage de la réaction de fusion.

# IV. Energie libérée par une réaction nucléaire

## 1) Relation d'Einstein

Pour Einstein en 1905, un système au repos possède une énergie due à sa masse, appelée **énergie de masse** :

$$E = m \times c^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} E : \text{énergie de masse (J)} \\ m : \text{masse (kg)} \\ c : \text{vitesse de la lumière dans le vide (m.s}^{-1}\text{)} \\ c = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1} \end{array} \right.$$

Donc si la masse d'un système diminue, son énergie diminue et ce système fourni ainsi de l'énergie au milieu extérieur.

*Remarque* : En physique nucléaire, l'unité d'énergie la plus adaptée à l'échelle microscopique est l'électron-volt (eV) :  $1\text{eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J}$

L'unité de masse la plus adaptée est l'unité de masse atomique (u) :  $1 \text{ u} = 1,66054.10^{-27} \text{ kg}$

## 2) Energie libérée par une réaction nucléaire

Voir Radioactivité.ppt (diapo 18)

Lors d'une réaction nucléaire, la **masse des produits obtenus est inférieure à la masse des réactifs**. La masse manquante, appelée perte ou défaut de masse a pour expression :

$$|\Delta m| = |m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}|$$

D'après la relation d'Einstein, la perte de masse correspond à l'énergie libérée suivant la relation :

$$E_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2$$

L'énergie libérée  $E_{\text{libérée}}$  s'exprime en joule J, la perte de masse en kg et la vitesse de la lumière  $c$  dans le vide en m/s.

Exemple : Réaction de fusion du deutérium avec le tritium :  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

Calculer la perte de masse puis l'énergie libérée par la réaction de fusion.

Données : masse des noyaux ou particules p202.

### 3) Défaut de masse d'un noyau

La masse des nucléons qui constituent un noyau est supérieure à la masse de ce noyau : c'est le **défaut de masse**.

La masse manquante, appelée perte ou défaut de masse a pour expression :

$$|\Delta m| = | [Z \cdot m_{\text{proton}} + (A - Z) \cdot m_{\text{neutron}}] - m_{\text{noyau}} |$$

Au défaut de masse est associé une énergie, c'est l'**énergie de liaison du noyau** :

$$E_l = |\Delta m| \times c^2$$