

**Introduction :** Quand une bombe nucléaire explose, une énorme d'énergie a libérée, résultant de réactions de fission nucléaire en chaîne.

- Qu'est-ce qu'une réaction de fission nucléaire en chaîne ?
- comment peut-elle produire une telle énergie ?
- Quelles sont les applications et dangers de radioactivité ?



## I-Équivalence entre masse et énergie

### 1-Relation d'Einstein

En 1905 **Albert Einstein** postulat l'équivalence entre la masse et l'énergie suivante :

« Tout corps de masse " $m$ " possède une énergie égale au produit de sa masse par le carré de la vitesse de la lumière »

$E$  ..... (...)

$m$  ..... (...)

$c$  : .....  $c = 2,9979.10^8 \text{m/s}$

Cette relation montre que toute variation de masse ..... d'un système s'accompagne d'une variation d'énergie

### Application 1 :

Calculer l'énergie de masse de protons (masse de protons  $m_p = 1,6726.10^{-27} \text{ Kg}$ )

### 2-Unités de masse et d'énergie

#### a- L'unité de masse atomique

En physique nucléaire, on exprime la masse d'un noyau ou d'un atome en unité de masse atomique, de symbole **u** :

**L'unité de masse atomique est égale à 1/12 de la masse d'un atome de carbone  $^{12}\text{C}$**

$$1u = \frac{1}{12} \cdot \frac{M(^{12}_6\text{C})}{N_A}$$

#### b- Unité d'énergie

L'unité joule est inadaptée, trop grande; on utilise plutôt l'électron-volt, **eV** : **1eV =  $1,602177.10^{-19} \text{ J}$**  et aussi le MeV:

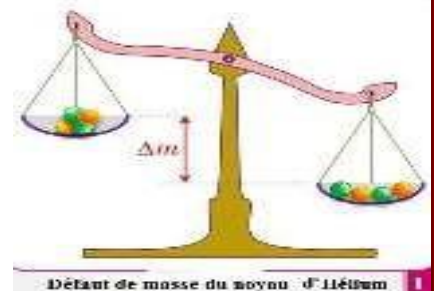
#### c-L'énergie correspondant à la masse atomique.

Déterminer l'énergie de masse **E** pour une masse de **1u**, en **J** et en **MeV** .

## II-Énergie de liaison d'un noyau $E_l$ .

### 1-Défaut de masse du noyau $\Delta m$ .

Des mesures précises montrent que la masse **du noyau d'un atome** est toujours **inférieure** à la somme de la masse **de ses nucléons** pris individuellement. Cette différence est appelée **défaut de masse  $\Delta m$**  :



Où  $m_p$  et  $m_n$  sont respectivement la masse d'un proton et la masse d'un neutron .

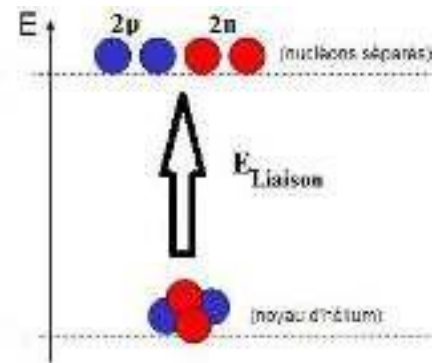
**Application 2 :** Calculer  $\Delta m$  pour un noyau d'hélium ; **Données :**  $m_n = 1,0087 \text{ u}$  ;  $m_p = 1,0073$  ;  $m({}_2^4\text{He}) = 4,0015 \text{ u}$

## 2- Énergie de liaison d'un noyau $E_p$ .

**Energie de liaison  $E_l$**  est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau immobile, pour le dissocier en nucléons libres et immobiles.

Cette énergie  $E_l$  est toujours .....

**Application 3 :** Calculer  $E_p$  pour le noyau d'hélium  ${}_2^4\text{He}$



## 3- Energie de liaison par nucléon $\xi$ :

L'énergie de liaison par nucléon d'un noyau notée  $\xi$  est :

avec  $E_l$  : l'énergie de liaison en **MeV** , et **A** : le nombre de masse , l'unité de  $\xi$  est en **MeV/nucléon** .

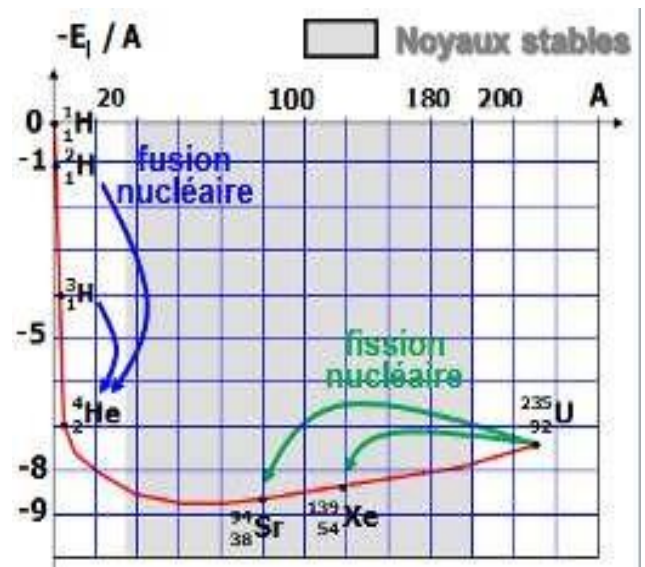
**Remarque :** « Plus l'énergie de liaison par nucléon  $\xi$  est élevée plus le noyau est stable. » .

**Application 4 :** Calculer l'énergie de liaison par nucléon  $\xi$  pour un noyau d'hélium

## 4- Courbe d'Aston :

La courbe d'Aston représente  $-E_l / A$  en fonction de A, permet de comparer la stabilité des noyaux atomiques. Cette courbe permet de comparer la stabilité des différents noyaux atomiques.

- Les **noyaux stables** se situent dans la région où  $20 < A < 195$
- Les **réactions de fusion nucléaire** affecteront les noyaux les plus légers ( $A < 20$ ).
- Les **réactions de fission nucléaire** affecteront les noyaux les plus lourds ( $A > 195$ ).

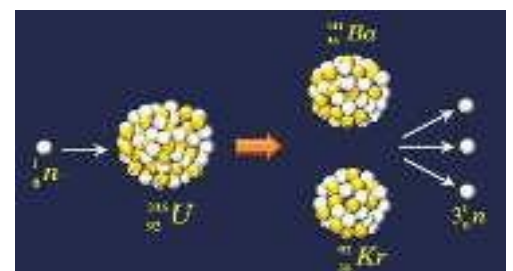


# II- Fission et fusion nucléaires :

## 1- Fission nucléaire

La **fission** est une réaction nucléaire **provoquée** au cours de laquelle un **noyau lourd** bombardé par un neutron se divise en deux noyaux **plus légers**.

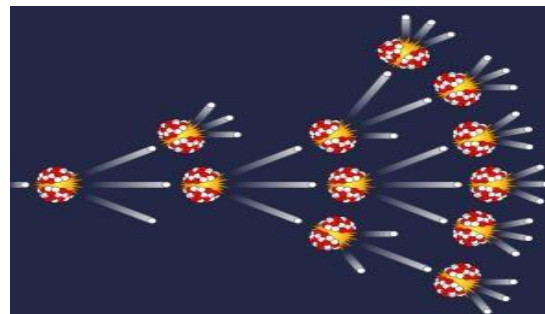
**Exemple :**



### Remarque :

-La fission nucléaire est une réaction en chaîne. Elle produit des neutrons qui peuvent provoquer d'autres réactions de fission.

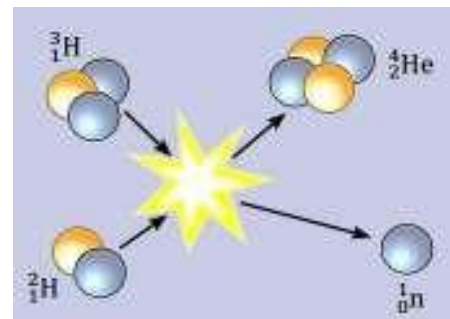
-La réaction en chaîne doit être contrôlée pour qu'elle ne soit pas explosive (le cas de la bombe A). Dans des réacteurs nucléaires, la fission est contrôlée.



### 2- Fusion nucléaire:

La fusion nucléaire est une réaction nucléaire provoquée, au cours duquel deux noyaux atomiques légers s'assemblent pour former un noyau plus lourd.

### Exemple :



### Remarque :

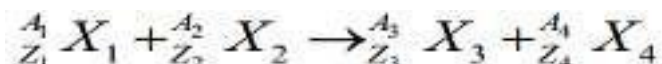
-La fusion n'est possible que si les deux noyaux possèdent une grande énergie cinétique pour vaincre les forces de répulsion électriques. On porte alors le milieu à très haute température ( $10^8\text{K}$ ). En conséquence, la réaction de fusion est appelée réaction thermonucléaire.

-La fusion se produit naturellement dans les étoiles. Dans une bombe thermonucléaire (appelée bombe H), la fusion nucléaire est incontrôlée et explosive.

## IV- Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

### 1- Cas général d'une réaction nucléaire

On considère une transformation nucléaire quelconque :



Il y a deux façons de calculer l'énergie produite  $\Delta E$  par la transformation nucléaire :

- En utilisant la variation de masse :

-En utilisant les énergies de liaison des noyaux :

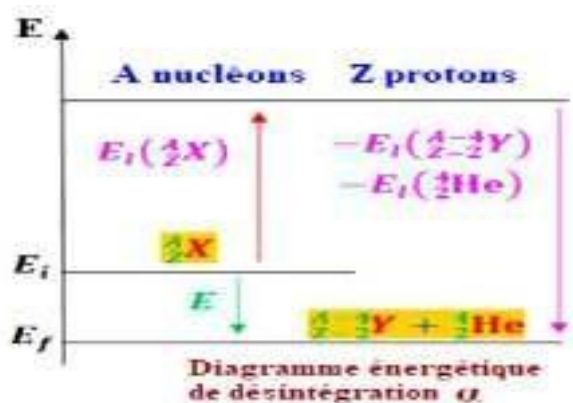
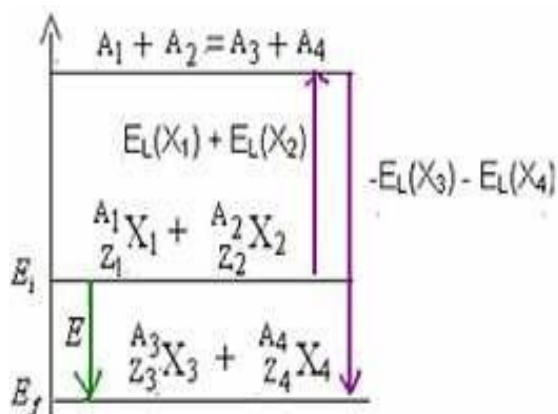
**Remarques :** -Si  $\Delta E < 0$  on dit que la réaction nucléaire est **exoénergétique** (cède l'énergie)

-Si  $\Delta E > 0$  on dit que la réaction nucléaire est **endoénergétique** (prend l'énergie)

- L'énergie libérée d'une réaction nucléaire est :  $E_{libérée} = |\Delta E|$

### Diagramme d'énergie

**Exemple :** Diagramme d'énergie pour radioactivité  $\alpha$



## 2- Applications : Bilan énergétique des transformations nucléaires .

### a-fusion nucléaire :

Calculer l'énergie libérée au cours de cette réaction nucléaire :  ${}^2_1H + {}^3_1H \longrightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$

Données :

$$m({}^2_1H) = 2,0136u \text{ , } m({}^3_1H) = 3,0155u \text{ , } m({}^4_2He) = 4,0015u \text{ , } m({}^1_0n) = 1,0087u$$
$$1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

.....

.....

.....

### b- Fission nucléaire

Calculer l'énergie libérée au cours de cette réaction nucléaire  ${}^1_0n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{94}_{38}Sr + {}^{140}_{54}Xe + 2 {}^1_0n$

Données :

$$m({}^{235}_{92}U) = 234,9935u \text{ ; } m({}^{94}_{38}Sr) = 93,8945u \text{ ; } m({}^{140}_{54}Xe) = 139,8920u \text{ ; } m(n) = 1,0087u \text{ ; } 1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

.....

.....

.....

### c- Radioactivité $\alpha$

Calculer l'énergie libérée au cours de désintégration de radioactivité  $\alpha$  :  ${}^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^4_2He$

Données :

$$m({}^{226}_{88}Ra) = 225,9770u \text{ , } m({}^{222}_{86}Rn) = 221,9702u \text{ , } m({}^4_2He) = 4,0015u$$

.....

.....

.....

### d- Radioactivité $Q^-$

Calculer l'énergie produit au cours de désintégration de radioactivité  $Q^-$  :  ${}^{14}_6C \longrightarrow {}^{14}_7N + {}^0_{-1}e$

Données :

$$m({}^{14}_6C) = 13,9999u \text{ , } m({}^{14}_7N) = 13,9992u \text{ , } m({}^0_{-1}e) = 0,00055u$$

.....

.....

.....

## V- Applications et dangers de la radioactivité

**Devoir : faites une recherche sur les thèmes suivants :**

- Production de l'électricité par les centrales nucléaires ;
- Les applications de la radioactivité ( dans la médecine ; L'industrie et l'agriculture )
- Les dangers de la radioactivité.