

## Noyaux – Masse - Energie

### I) Equivalence : Masse – Energie.

#### 1) La relation Albert Einstein:

Il y a une équivalence entre la masse  $m$  d'un système, quand il est au repos, et son énergie  $E$  qui s'appelle **énergie de masse**. On écrit

$$E = m \times C^2$$

*Energie (J)*      *Masse (kg)*      *Célérité de la lumière égale  
3.10<sup>8</sup> m.s<sup>-1</sup>*

#### 2) Unités de masse et d'énergie:

##### 2-1/ Unité de masse atomique :

En physique nucléaire, **l'unité convenable de la masse** s'appelle unité de masse atomique symbolisée par  $u$ , elle représente  $\frac{1}{12}$  de la masse d'un atome du carbone  $^{12}_6 C$

$$1u = \frac{m(^{12}_6 C)}{12} = \frac{M(^{12}_6 C)}{12 \times Na} = 1,66 \cdot 10^{-27} kg$$

$Na = 6,02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$ : le nombre d'Avogadro ;  $M(^{12}_6 C) = 12 g \cdot mol^{-1}$ : masse molaire du carbone

$m(P) = 1,0073 u$  : Masse d'un proton et  $m(N) = 1,0087 u$  : Masse d'un neutron

##### 2-2/ Unité de l'énergie : Electronvolt

En physique nucléaire, **l'unité convenable de l'énergie** est electronvolt et ces multiples comme mégaélectronvolt MeV :

$$1eV \approx 1,6 \cdot 10^{-19} J ; 1MeV = 1,6 \cdot 10^{-13} J$$

##### 2-3/ Energie équivalente à l'unité de masse atomique :

D'après la relation d'Albert Einstein et pour la masse égale à 1  $u$  on a

$$E = m \times C^2 = 1,66054 \cdot 10^{-27} \times (299792458)^2 = 1492,42 \cdot 10^{-13} J$$

$$E = \frac{1492,42 \cdot 10^{-13}}{1,602177 \cdot 10^{-13}} = 931,5 \text{ MeV} \text{ d'où } 1u = 931,5 \text{ MeV/C}^2$$

#### Exercice d'application N°1:

Calculer l'énergie de masse relative à un proton en SI puis en Mev.

Données :  $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

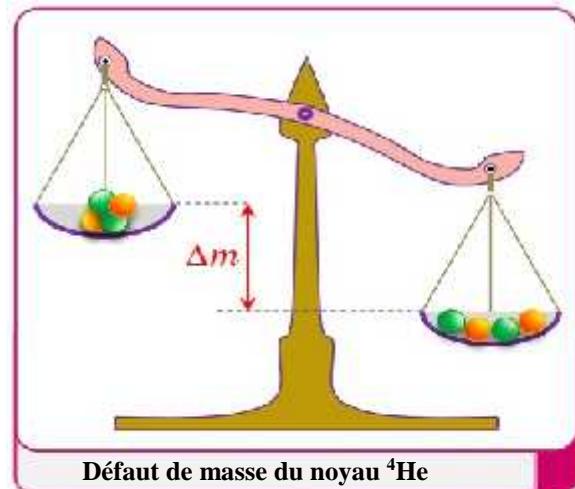
## II) Energie de liaison d'un noyau :

### 1) Défaut de masse :

Le défaut de masse d'un noyau de symbole  ${}^A_Z X$  est la différence entre la masse des nucléons isolé et au repos est la masse du noyau au repos, on le symbolise par :

$$\Delta m = Z \times m_p + (A - Z) \times m_n - m({}^A_Z X)$$

Le défaut de masse est toujours strictement positif.



### Exercice d'application N°2:

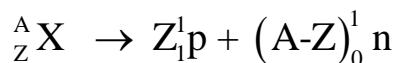
Calculer, en u et en kg, le défaut de masse du noyau du carbone  ${}^7_3\text{Li}$

On donne :  $m_p = 1,0073 \text{ u}$  ;  $m_n = 1,0087 \text{ u}$  ;  $m({}^7\text{Li}) = 7,0160 \text{ u}$  et  $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

### 2) Energie de liaison:

#### 2-1/ Définition :

L'énergie de liaison **d'un noyau** noté  $E_l$  est l'énergie qu'il faut apporter à un noyau au repos pour le dissocier en ses nucléons « protons et neutrons » isolés et au repos :

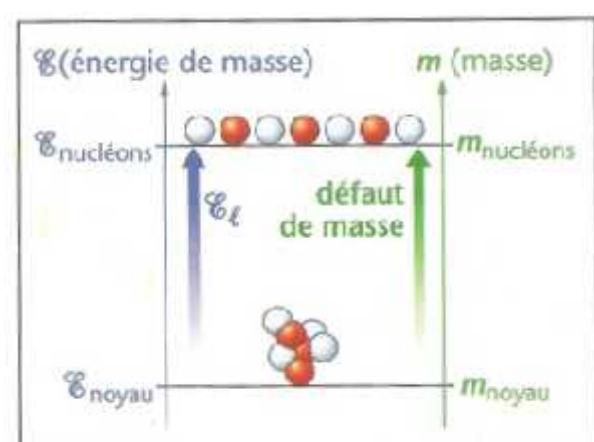
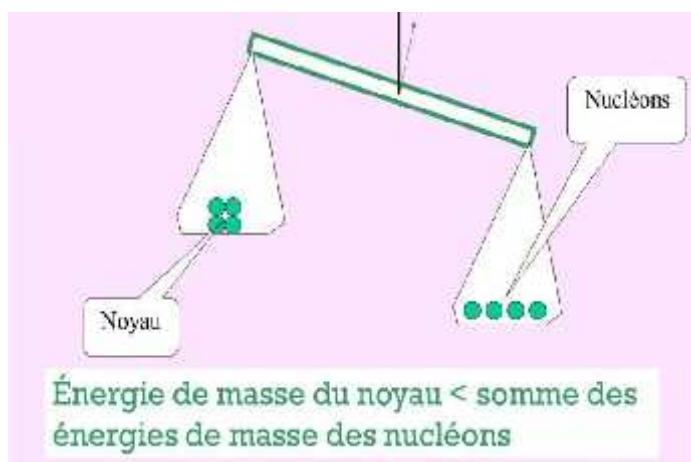


On l'exprime par la relation:

$$E_l = m \times C^2 = [Z \times m_p + (A - Z) \times m_n - m({}^A_Z X)] \times C^2$$

avec  $\Delta m$  est défaut de masse.

L'unité de l'énergie de liaison est MeV

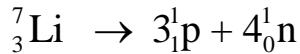


### Exercice d'application N°3:

Calculer, en Mev, l'énergie de liaison du noyau de Lithium  ${}^7_3\text{Li}$

On donne :  $m_p = 1,0073 \text{ u}$  ;  $m_n = 1,0087 \text{ u}$  ;  $m({}^7\text{Li}) = 7,0160 \text{ u}$  et  $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

Réponse :



On donne :  $m_p = 1,0073 \text{ u}$  ;  $m_N = 1,0087 \text{ u}$  ;  $m({}^7\text{Li}) = 7,0160 \text{ u}$  et  $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

$E_l = m \times C^2$  avec  $m = 3 \times m_p + 4 \times m_N - m({}^7\text{Li}) = 0,0407 \text{ u}$  donc  $E_l = 0,0407 \times C^2$  or  $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/C^2 \Rightarrow E_l = 0,0407 \times 931,5 \text{ MeV}/C^2 \times C^2 = 37,9 \text{ MeV}$

### 2-2/ Energie de liaison par nucléon :

L'énergie de liaison par nucléon est définie par la relation :  $E_l = \frac{E_l}{A}$  son unité est MeV/nucléon.

#### **Exercice d'application N°4:**

Calculer, en MeV/nucléon, l'énergie de liaison par nucléon du noyau du Lithium  ${}^7_3\text{Li}$ .

### 2-3/ Comparaison de la stabilité des noyaux radioactifs:

A partir de l'énergie de liaison par nucléon, on peut comparer la stabilité de 2 noyaux radioactifs :

**Plus l'énergie de liaison par nucléon est grande plus le noyau est stable.**

$$\frac{E_l(X_1)}{A_1} > \frac{E_l(X_2)}{A_2} \Leftrightarrow X_1 \text{ est plus stable que } X_2$$

**Plus l'énergie de liaison par nucléon est grande plus la désintégration du noyau radioactif est difficile et donc plus le noyau est stable.**

#### 3) . Courbe d'Aston:

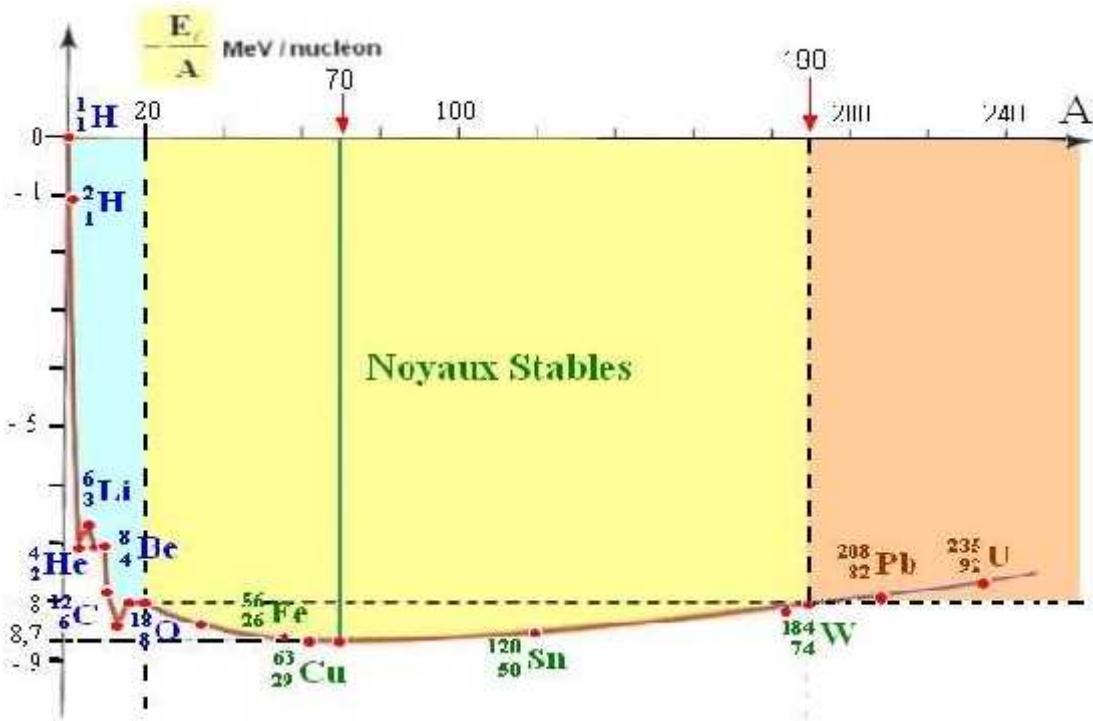
La courbe d'Aston représente l'opposé de l'énergie de liaison par nucléon  $-\frac{E_l}{A}$  en fonction du nombre de nucléon  $A$ , il permet de comparer la stabilité des différents noyaux

**Pour  $20 < A < 190$**  on constate sur la courbe des valeurs minimales de  $-\frac{E_l}{A}$  sa valeur absolue  $\approx 8 \text{ MeV} / \text{nucléon}$  cette partie contient les noyaux les plus stables.

**Pour  $A < 20$  et  $A > 190$**  l'énergie de liaison par nucléon de ces noyaux est faible, c'est pour cela ces noyaux sont instables. Ils peuvent se transformer aux noyaux plus stables selon deux types de réactions nucléaires :

➤ Pour les noyaux lourds ( $A > 190$ ) instables, chaque noyau est scindé en deux noyaux plus légers, on appelle ce phénomène la **fission nucléaire**.

- Pour les noyaux légers ( $A < 20$ ) ils se fusionnent entre eux pour former un noyau plus lourd, on appelle ce phénomène la *fusion nucléaire*.



### III) Fission et fusion nucléaire :

La fission nucléaire et la fusion nucléaire sont des transformations nucléaires forcées ou provoquées c.à.d nécessitant un apport d'énergie de l'extérieur.

#### 1) La Fission nucléaire :

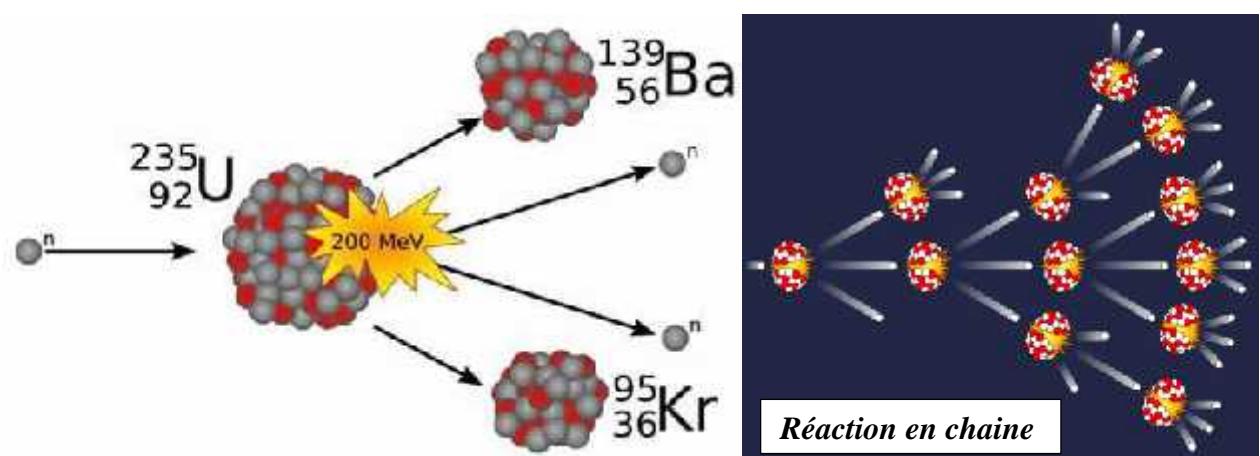
La fission est une réaction nucléaire dont laquelle un noyau *lourd* «  $A > 190$  » est scindé, sous l'impact d'un neutron, en deux noyaux plus légers.

*Exemple* : l'envoie un neutron libères sur un noyau d'Uranium :



*Remarque :*

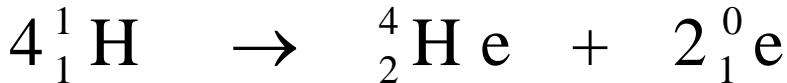
- Chacun des 2 neutrons libères va provoquer, à son tour, la fission d'un atome d'uranium et ainsi de suite : on parle de *réaction en chaîne*. « C'est ce qu'il faut maîtriser dans les centrales nucléaires »
- *Ce type de réaction rare naturellement. Elle est provoquée dans les centrales nucléaires afin de produire de l'électricité.*



## 2) La Fusion nucléaire :

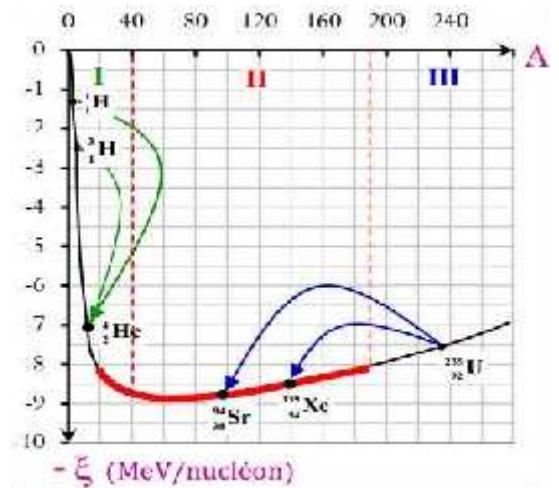
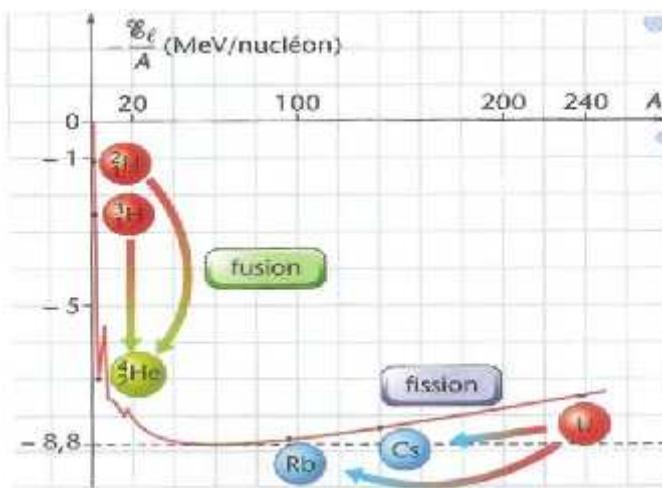
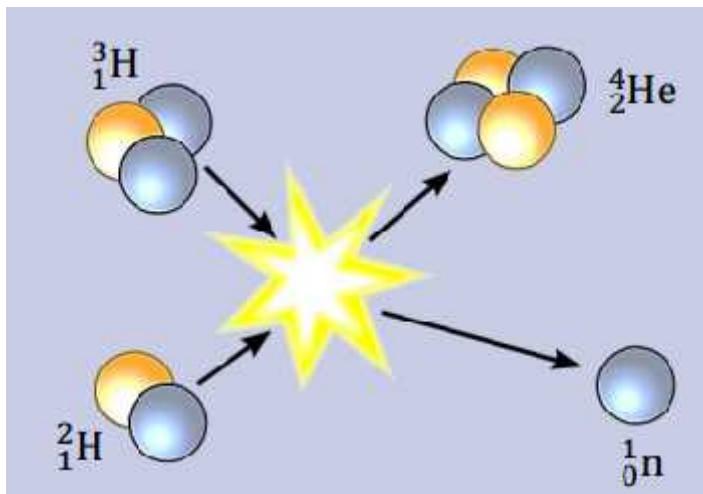
Deux noyaux légers «  $A < 20$  » fusionnent pour donner naissance à un noyau plus lourd stable.

**Exemple 1:** Dans le soleil le noyau d'hydrogène fusionne pour former de l'hélium.



*Ce type de réaction rarement produite c'est la bombe H .Elle a lieu naturellement dans le soleil et les étoiles. Les scientifiques travaillent pour la contrôler « projet ITER » car elle produit 4 fois plus d'énergie que la fission nucléaire*

**Exemple 2 :**



## IV) Le bilan massique et énergétique d'une réaction nucléaire :

### 1) Variation de masse et d'énergie :

On considère la réaction nucléaire suivante :



Avec X le symbole du noyau

➤ **Le bilan massique**  $\Delta m$  :  $\Delta m = m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}$

$$\Delta m = (m(X_4) + m(X_3)) - (m(X_2) + m(X_1))$$

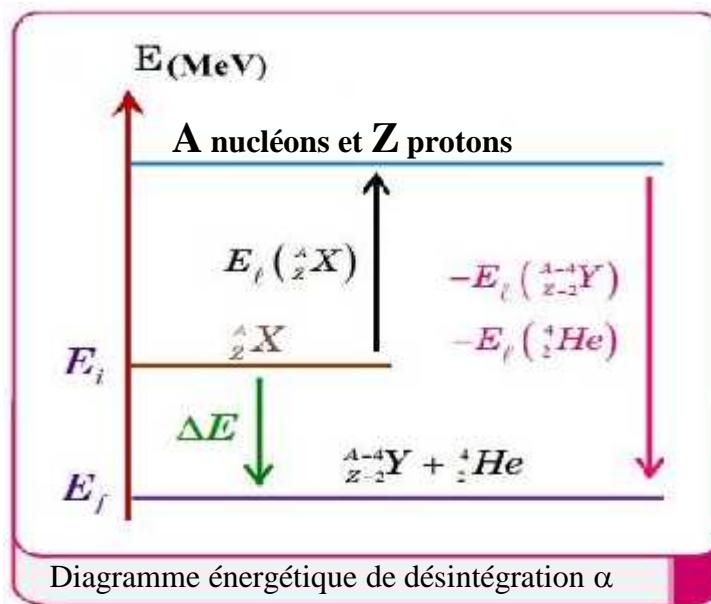
➤ *Le bilan énergétique*  $\Delta E$  :

$$E = \Delta m \times C^2 = [(m(X_4) + m(X_3)) - (m(X_2) + m(X_1))] \times C^2$$

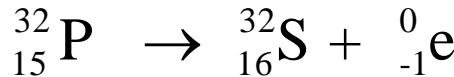
*Remarque :*

- Si  $E < 0$  la réaction est exothermique.
- Si  $E > 0$  la réaction est endothermique.
- L'énergie libérée par cette transformation :  $E_{\text{libérée}} = |E|$ .
- On peut calculer l'énergie de réaction à partir des énergies de liaisons grâce à la formule suivante :

$$E = [E_l(X_1) + E_l(X_2)] - [E_l(X_3) + E_l(X_4)]$$



*Exemple :*



Calculer l'énergie libérée par cette transformation.

On donne :

$$m(\text{S}) = 5,30763 \cdot 10^{-26} \text{ kg} ; m(\text{P}) = 5,30803 \cdot 10^{-26} \text{ kg} ; m(\text{e}) = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} .$$

*Réponse :*

$E_{\text{libérée}} = |E|$  avec  $E = \Delta m \times C^2$  calculons  $\Delta m$  la variation de masse :

$$\Delta m = m(\text{S}) + m(\text{e}) - m(\text{P})$$

A.N :

$$\Delta m = 5,30763 \cdot 10^{-26} + 9,1 \cdot 10^{-31} - 5,30803 \cdot 10^{-26} = -3,09 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

$$\text{et } E = \Delta m \times C^2 = -3,09 \cdot 10^{-30} \times (3 \cdot 10^8)^2 = -2,781 \cdot 10^{-13} \text{ J} = -1,73 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{libérée}} = |E| = 1,73 \text{ MeV}$$