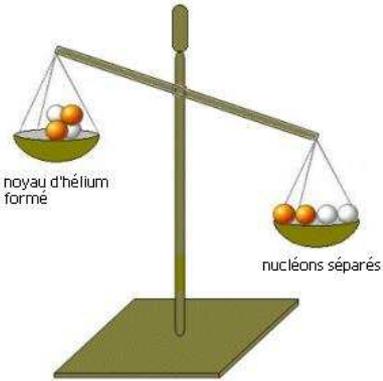


## Chap 2 : Noyaux, masse, énergie.

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié les réactions nucléaires spontanées (radioactivité). Dans ce nouveau chapitre, après avoir abordé le problème de la stabilité des noyaux, nous aborderons l'étude des réactions nucléaires provoquées (fission, fusion).

### I) Energie de liaison et stabilité des noyaux :

#### 1) Défaut de masse :

<p>Soit un petit noyau : le noyau d'hélium de masse <math>m(\text{He}) = 6,644\,49 \cdot 10^{-27} \text{ kg}</math> <math>= m_{\text{réelle}}</math></p>		<p>Masse d'un proton : <math>m(p) = 1,672\,62 \cdot 10^{-27} \text{ kg}</math>.</p> <p>Masse d'un neutron : <math>m(n) = 1,674\,93 \cdot 10^{-27} \text{ kg}</math>.</p> <p>Calculer la masse théorique <math>m_{\text{théo}}</math> d'un noyau d'hélium formé à partir de ses quatre nucléons initialement séparés et au repos. Comparer avec la masse réelle du noyau d'hélium et conclure.</p>
--	--	---

#### Conclusion :

#### 2) Energie de liaison :

En 1905, Einstein formula l'équivalence entre la masse et l'énergie (relation d'Einstein).



*Albert Einstein (1879-1955), physicien allemand, naturalisé suisse, puis américain en 1940, a obtenu le prix Nobel en 1921. Auteur de la théorie de la relativité, il postule l'équivalence de la masse et de l'énergie en 1905. Ses travaux sont à la base du développement de la physique nucléaire. Humaniste, il fut très préoccupé par le développement des armes nucléaires.*

**Relation d'Einstein :**

Reprenons l'exemple précédent :

A partir de la relation d'Einstein, exprimez et calculez l'énergie de masse réelle d'un noyau d'hélium :

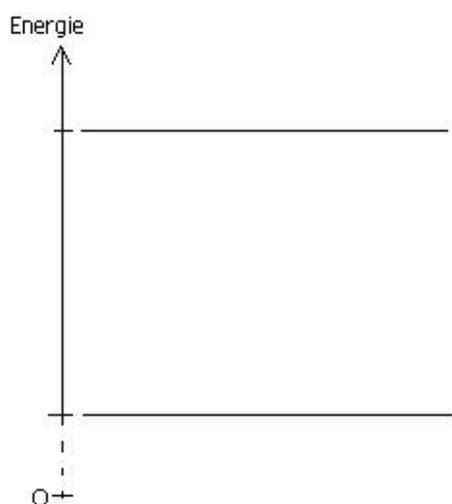


Exprimez et calculez l'énergie de masse correspondant aux nucléons de ce noyau, pris séparément :



Comparez ces deux énergies et concluez :

**Diagramme énergétique :** placer sur ce diagramme les deux énergies précédentes.



**Energie de liaison :**

### 3) Unités d'énergie :

#### Unité d'énergie :

A partir des calculs précédents, calculez l'énergie de liaison d'un noyau d'hélium.

En physique nucléaire, on utilise fréquemment comme unité d'énergie, l'électronvolt (eV) :  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$   
(kiloélectronvolt)

$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$   
(mégaélectronvolt)

$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$   
(gigaélectronvolt)

Convertir l'énergie de liaison d'un noyau d'hélium en eV et MeV :

A votre avis, pourquoi cette unité est-elle préférable ?

**Exemples :** calculer en MeV les énergies de masse du proton, du neutron :

Soit la masse d'un proton :  $m(p) = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

Soit la masse d'un neutron :  $m(n) = 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

En physique nucléaire, il est aussi fréquent d'utiliser une autre unité de masse que le kilogramme car les masses considérées sont très petites :

l'unité de masse atomique : (elle est définie comme étant le douzième de la masse d'un atome de carbone 12).

$$1 \text{ u} = 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Calculer en MeV l'énergie de masse correspondant à une unité de masse atomique (vous prendrez  $c = 2,997 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )

#### 4) Stabilité des noyaux :

Compléter le tableau suivant :

$$m(\text{proton}) = 1,007\ 28\ \text{u}$$

$$m(\text{neutron}) = 1,008\ 66\ \text{u}$$

	$^{56}\text{Fe}$	$^{235}\text{U}$
masse du noyau : m (en unité de masse atomique)	$m_{\text{réelle}}(\text{Fe}) = 55,920\ 1\ \text{u}$	$m_{\text{réelle}}(\text{U}) = 235,038\ \text{u}$
masse des nucléons séparés : $m_{\text{théo}}$ (en unité de masse atomique)	$m_{\text{théo}}(\text{Fe}) =$	$m_{\text{théo}}(\text{U}) =$
défaut de masse $\Delta m$ (en unité de masse atomique)	$\Delta m(\text{Fe}) =$	$\Delta m(\text{U}) =$
Energie de liaison en MeV	$E_{\text{l}}(\text{Fe}) =$	$E_{\text{l}}(\text{U}) =$

Le noyau de fer est plus stable que celui d'uranium : est-ce visible avec les résultats de ce tableau ?

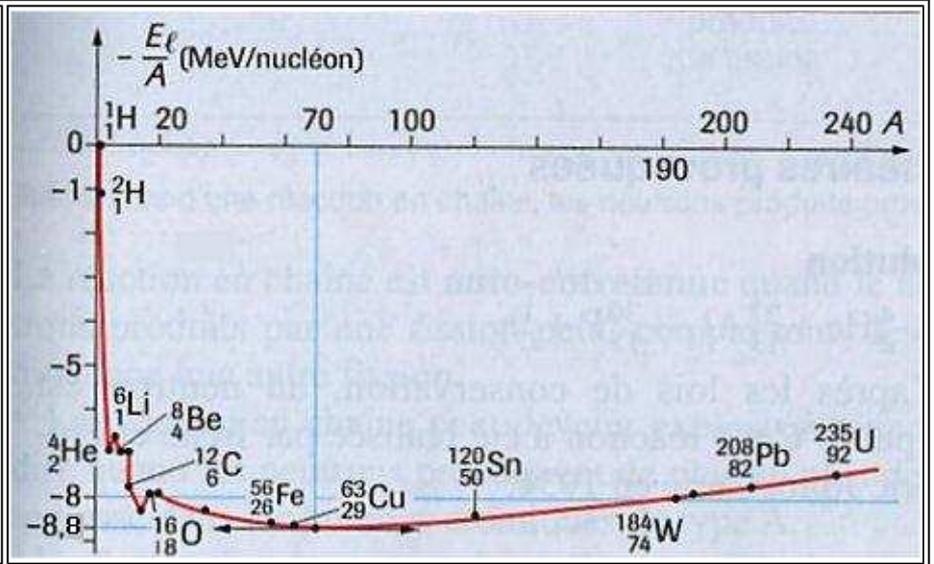
Quelle nouvelle grandeur énergétique peut-on alors définir pour mieux "visualiser" la stabilité des différents noyaux ?

Conclusion :

### 5) Courbe d'Aston :

La courbe d'Aston représente l'**opposé** de l'énergie de liaison par nucléon en fonction du nombre de nucléons A.

*Francis William Aston (1877-1945), physicien Anglais, participa à la découverte de l'isotopie et reçut le prix Nobel de chimie en 1922.*



Exploitation de la courbe : Comparez les valeurs des énergies de liaison par nucléon lues sur la courbe et calculées précédemment pour le fer 56 et l'uranium 235

Où se situent les points correspondant aux noyaux les plus stables sur la courbe d'Aston :

Considérez maintenant un noyau situé à gauche ou à droite de la zone de plus grande stabilité (noyau père) : supposons qu'une réaction permette de former à partir de ce noyau un nouveau noyau (noyau fils) appartenant à la zone de stabilité. Comparez l'énergie de liaison par nucléon du noyau père et du fils :

En déduire l'évolution de la masse de ce système :

Que se passe-t-il donc en terme d'énergie ?

Deux réactions nucléaires provoquées peuvent conduire à ce processus :

- **la fission nucléaire**

et

- **la fusion nucléaire**

A votre avis où sont situés les noyaux pouvant fissionner et ceux pouvant fusionner ?

## II ) La fission nucléaire :

Sir James Chadwick (1891-1974), physicien anglais a prouvé l'existence du neutron en 1932 et obtenu le prix Nobel en 1935. En 1938, O. Hahn et F. Stassmann ont utilisé des neutrons pour bombarder des noyaux d'uranium 235 et ont ainsi découvert la fission.

Définition de la réaction de fission nucléaire :

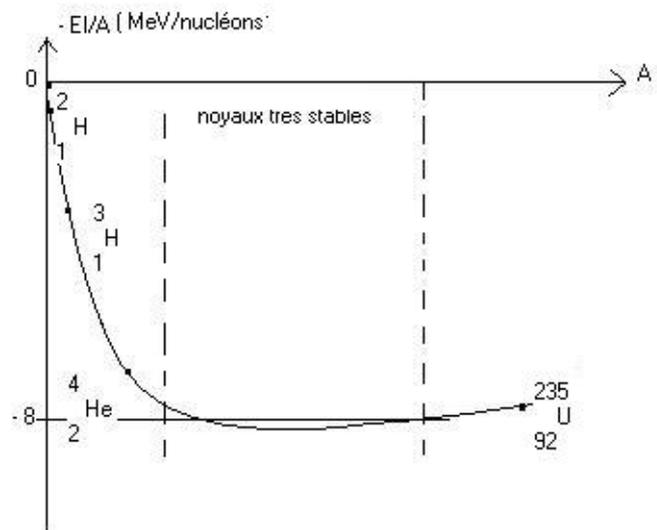
Les produits obtenus sont généralement radioactifs ce qui rend difficile leur gestion ( demi-vie qui peut durer plusieurs centaines de milliers d'années).

Exemples :

Remarque : pour que la fission ait lieu, l'énergie cinétique du neutron a un rôle important. Elle doit être de l'ordre de 0,02 MeV :

- si le neutron est trop lent, le neutron rebondit sur le noyau
- s'il est trop rapide, il le traverse sans être capturé.

Indiquer sur la courbe d'Aston ci-contre la réalisation de la fission du noyau d'uranium 235 en deux noyaux plus légers.



Noyau	U235	Sr94	Xe140
$E/A$ (MeV/nucléon)	7,59	8,59	8,29

Bilan énergétique : Calculer l'énergie libérée par la réaction précédente, en MeV.

$$m(\text{U}_{235}) = 234,993\,32\text{ u}$$

$$m(\text{Sr}_{94}) = 93,894\,46\text{ u}$$

$$m(\text{Xe}_{139}) = 139,891\,94\text{ u}$$

$$m(\text{n}) = 1,008\,66\text{ u}$$

### Application de la fission nucléaire :

La fission nucléaire est à l'origine de l'énergie électrique produite dans les centrales.

Lors d'une fission deux neutrons sont libérés et peuvent à leur tour provoquer des fissions ... on parle de **réaction en chaîne**. Cf. doc.

Lorsqu'elle n'est pas contrôlée, une réaction de fission peut devenir explosive car la réaction en chaîne s'emballé : c'est ce qui se passe dans les bombes atomiques A.

*Voir document : "l'électricité d'origine nucléaire".*

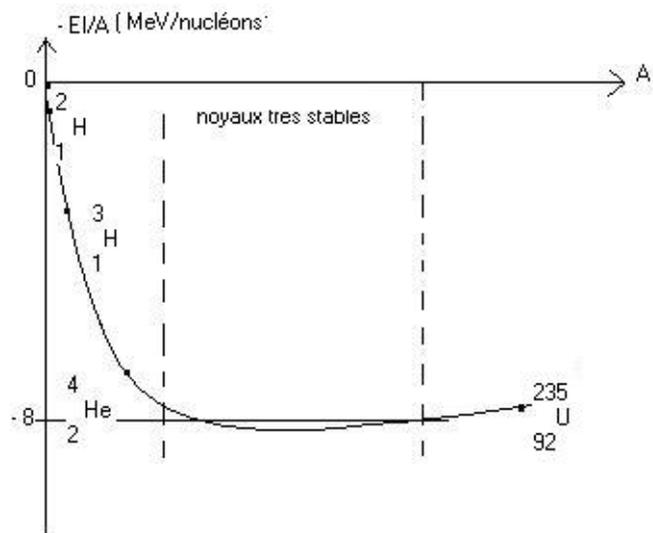
### III ) La fusion nucléaire :

Définition de la réaction de fusion nucléaire :

Exemple :

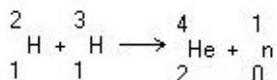
*Remarque : Quelles difficultés vont rencontrer les deux noyaux initiaux pour fusionner?*

Indiquer sur la courbe d'Aston ci-contre la réalisation de la fusion des noyaux d'hydrogène.



### Exercice d'application :

Le combustible des réactions de fusion dans les futures centrales est un mélange de deutérium (d) et de tritium (t). La réaction de fusion est :



Données :

$$m(\text{d}) = 2,013\ 55\ \text{u}$$

$$m(\text{t}) = 3,015\ 50\ \text{u}$$

$$m(\text{n}) = 1,008\ 66\ \text{u}$$

$$m(\text{He}) = 4,001\ 50\ \text{u}$$

- 1) Calculer la quantité d'énergie libérée au cours de cette réaction en MeV.
- 2) Calculer la quantité d'énergie, en Joule, libérée lors de la formation d'une mole d'hélium, soit environ 4g.

### Application de la fusion nucléaire :

La fusion nucléaire se fait naturellement dans les étoiles.

Dans la bombe thermonucléaire, appelée bombe H, la fusion nucléaire est incontrôlée et explosive. Pour amorcer cette réaction de fusion, il y a préalablement une réaction de fission (bombe A).

Cela fait un demi siècle que l'on essaye de contrôler la fusion nucléaire mais il y a encore de nombreux problèmes techniques. Voir document : "l'électricité d'origine nucléaire"

