

La cohésion du noyau s'explique par le défaut de masse entre la somme totale des nucléons séparés et la masse du noyau correspondant aux nucléons liés : (voir http://www.ostralo.net/3_animations/swf/masses_noyaux.swf)

Masse du noyau $m_X < \text{masse des nucléons } Z.m_p + N.m_n$

Défaut de masse : $\Delta m = Z.m_p + N.m_n - m_X = Z.m_p + (A - Z).m_n - m_X$

En valeur relative ce défaut de masse est de l'ordre de 1%

Principe d'équivalence

Einstein (1905) pose le principe d'équivalence entre la masse et l'énergie.

Une particule de masse m, au repos, possède une « énergie de masse » : $E = m.c^2$ (c vitesse de la lumière)

Energie de liaison et énergie de dissociation dans un noyau

Attention ces deux grandeurs sont généralement confondues dans la littérature : lire la suite pour une définition rigoureuse

Soit la dissociation (virtuelle !) d'un noyau :

$${}^A_ZX \rightarrow Z {}^1_1p + (A - Z) {}^1_0n \quad E_D = \Delta E = \Delta m.c^2 = Z.m_p + N.m_n - m_X = [Z.m_p + (A - Z).m_n - m_X].c^2 (> 0 \text{ endothermique !})$$

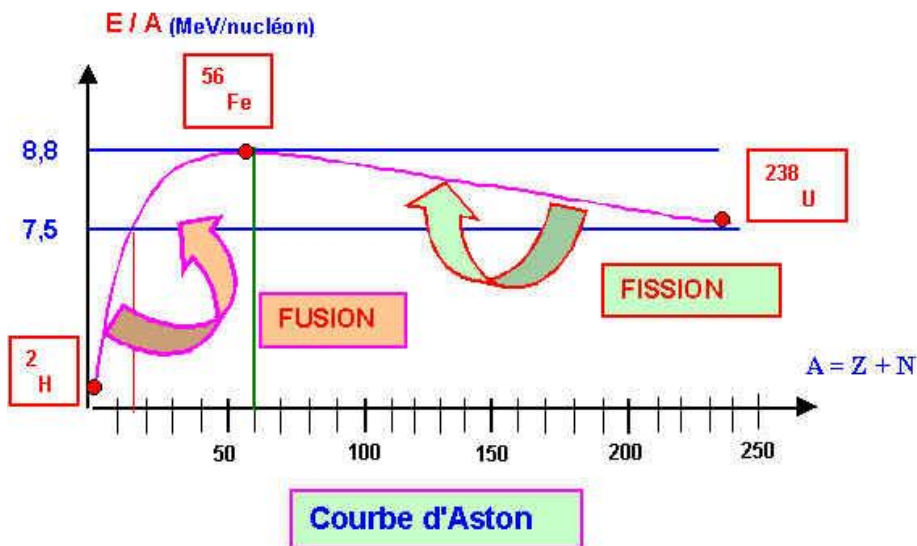
dans le sens contraire (liaison) $E_L = - E_D < 0$

En général, on donne ces grandeurs en valeur absolue, il convient donc d'affecter le signe qui correspond.

ATTENTION : la littérature appelle souvent Energie de liaison ce qui est, à vrai dire, une énergie de dissociation !

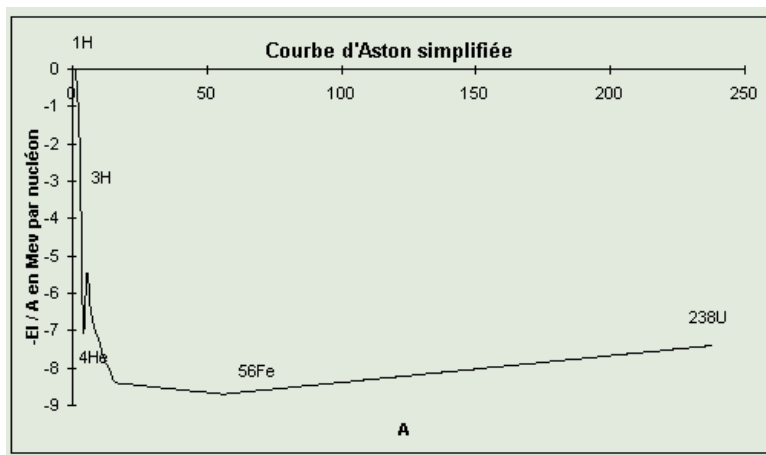
Donc rappel : en toute rigueur $E_D > 0$ (énergie pour casser ... donc endothermique!) et $E_L < 0$

Energie par nucléons : Courbe d'Aston (phys anglais 1877 - 1945 Nobel Chimie 1922)



Ci dessus est représentée $E_D/A = f(A)$

Par contre ci-dessous, c'est $E_L/A = f(A)$



Principe de la fission ou de la fusion

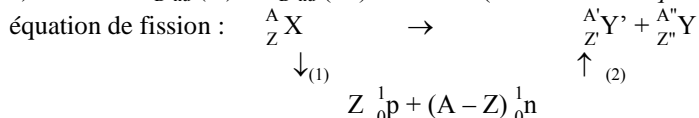
Pourquoi récupère-t-on de l'énergie ?

Exemple : **fission**

Hypothèses : a) un noyau père donne deux noyaux fils ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A'}_{Z'} Y' + {}^{A''}_{Z''} Y''$ (avec $Z = Z' + Z''$ et $A = A' + A''$)

b) $E_{D \text{ nu}}(X) = \left(\frac{E_D}{A}\right)(X) < E_{D \text{ nu}}(Y') = \left(\frac{E_D}{A}\right)(Y')$ (en appelant $E_{D \text{ nu}}$: énergie de dissociation par nucléon)

c) et $E_{D \text{ nu}}(X) < E_{D \text{ nu}}(Y'')$ (X moins stable que Y' et Y'' : voir courbe d'Aston page précédente)



$$\Delta E = \Delta E_{(1)} + \Delta E_{(2)} = E_D(X) - [E_D(Y') + E_D(Y'')] = A \cdot E_{D \text{ nu}}(X) - A' \cdot E_{D \text{ nu}}(Y') - A'' \cdot E_{D \text{ nu}}(Y'')$$

$$= A' \cdot [E_{D \text{ nu}}(X) - E_{D \text{ nu}}(Y')] + A'' \cdot [E_{D \text{ nu}}(X) - E_{D \text{ nu}}(Y'')] < 0 \quad (\text{par hypothèse})$$

... donc $\Delta E < 0$: la transformation dégage de l'énergie !

Réaction de fission

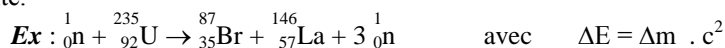
A- Réaction dans une centrale nucléaire

Noyaux fissiles : uranium 235 ou Pu 239 : Réaction initiée par un neutron et produisant plusieurs neutrons => réaction en chaîne

Exemples d'équation : ${}^1_0 n + {}^{235}_{92} U \rightarrow {}^{92}_{36} Kr + {}^{141}_{56} Ba + 3 {}^1_0 n$ ou ${}^1_0 n + {}^{235}_{92} U \rightarrow {}^A_Z X + {}^{234-A}_{92-Z} Y + 2 {}^1_0 n$

B- Énergie libérée $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 < 0$ si énergie libérée donc $E_{\text{libérée}} = -\Delta E = (m_U \cdot c^2 + m_n \cdot c^2) - (m_X \cdot c^2 + m_Y \cdot c^2 + 2 m_n \cdot c^2)$

L'énergie est libérée sous forme d'énergie cinétique des produits de fission et des neutrons ainsi que celle des rayonnements γ . Elle est transférée dans le cœur du réacteur nucléaire à de l'eau sous pression qui assure à la fois le ralentissement des neutrons et l'évacuation de l'énergie produite.



Perte de masse (en raisonnant sur une mole):

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

$$\Delta m = 86,912 + (2 \cdot 1,00866) - 235,044 - 145,933 = -0,172 \text{ u} = -0,172 \cdot 10^{-3} \text{ kg / mole}$$

Energie déagée : $E_{\text{libérée}} = -\Delta E$ (puisque $\Delta m < 0 \Rightarrow \Delta E < 0$ énergie déagée)

$$E_{\text{libérée}} = -\Delta m \cdot c^2 = 0,172 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 1,545 \cdot 10^{13} \text{ J / mole}$$

$$E_{\text{libérée}} = 1,545 \cdot 10^{13} \text{ J / } 235 \text{ g de } {}^{235}\text{U}$$

$$E_{\text{libérée}} = 1,545 \cdot 10^{13} \text{ J / } 235 = 6,57 \cdot 10^{10} \text{ J / g de } {}^{235}\text{U} = 6,57 \cdot 10^{13} \text{ J / kg de } {}^{235}\text{U}$$

Masse de pétrole équivalente :

$$1 \text{ tep} = 42 \text{ GJ} ; E = 1,5 \text{ tep pour la fission de } 1 \text{ g d'uranium } 235.$$

La fission de 1 g d'Uranium dégage autant d'énergie que la combustion de 1,5 t de pétrole ou 3 t de charbon

Les réactions nucléaires sont beaucoup plus énergétiques que les réactions chimiques, cela explique l'utilisation des centrales nucléaires malgré tous les problèmes qu'elles posent.

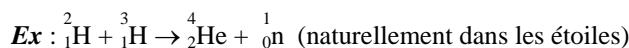
C- Autres réactions de fission

Bombe A : la réaction en chaîne n'est pas contrôlée.

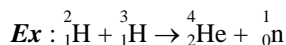
Réacteur naturel : il y a 2 milliards d'années à 3000 m de profondeur des réacteurs nucléaires ont fonctionné plusieurs centaines de milliers d'années, utilisant l'uranium 235 et de l'eau sous pression pour ralentir les neutrons ; site identifié au Gabon (Oklo).

5- Réaction de fusion

A- Principe de la fusion Au cours de ce type de réactions, deux noyaux légers vont fusionner pour donner un atome plus lourd et diverses particules.



B- Énergie déagée En raison de la forte pente de la courbe d'Aston pour les atomes légers ce processus est encore plus énergétique que la fission.



Perte de masse : $\Delta m = m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}} = (4,0015 + 1,0087) - (3,0155 + 2,0136) = -0,00189 \text{ u}$

Énergie libérée : $E_{\text{libérée}} = -\Delta m \cdot c^2 = 0,00189 \cdot 931,5 = 17,6 \text{ MeV par fusion}$

Pour 1 g de tritium : $E' = \frac{E \cdot N_A}{M_T} = \frac{17,6 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{3} = 3,5 \cdot 10^{24} \text{ MeV} = 5,6 \cdot 10^{11} \text{ J}$ 1 tep = 42 GJ ; E' = 13,5 tep.

C- Mise en œuvre de la fusion Cette sorte de réaction est à l'origine de l'énergie des étoiles. C'est aussi la réaction utilisée dans les bombes H. Des recherches sont toujours menées pour domestiquer cette énergie mais on est encore loin d'une utilisation pacifique de la fusion nucléaire. Nécessité d'une très haute température (plasma à 10^8 K), d'une très forte densité de particules (confinement) pendant une durée suffisante pour amorcer la fusion. (critère de Lawson)