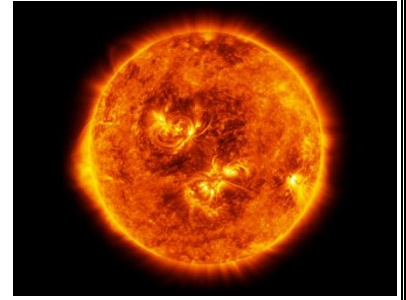


Leçon N°5 : Noyaux – masse, et énergie

Introduction

Le soleil libère de l'énergie solaire qui nous parvient à partir de la fusion nucléaire qui s'y produit.

- Qu'est-ce qu'une réaction de fusion nucléaire ?
- Comment peut-elle produire une telle énergie ?
- Quelles sont les applications et dangers de la radioactivité ?



I. Equivalence masse-énergie

1. Relation d'Einstein : L'énergie de masse

En 1905, Einstein montra que *tout système au repos possède une énergie due à sa masse, appelée énergie de masse*, qui est exprimée par :

E : L'énergie de masse en (J).

m : La masse du système en (kg).

c : La vitesse de la lumière dans le vide en (m/s).

Remarque :

Une conséquence importante de cette relation est que quand la masse d'un système varie par la grandeur Δm , alors son énergie varie par la grandeur ΔE .

Ainsi on a :

Donc :

- Si la masse d'un système *diminue*, son énergie *diminue*, et donc ce système *fourni* ainsi de l'énergie au milieu extérieur.
- Si la masse d'un système *augmente*, son énergie *augmente*, et donc ce système *reçoit* ainsi de l'énergie du milieu extérieur.

2. Unité de masse et unité d'énergie

a. Unité de masse atomique

En physique nucléaire, on en utilise une unité adaptée à l'échelle atomique, qui s'appelle *l'unité de masse atomique* de symbole u . Tel que :

- Cette unité est égale à $1/12$ de la masse d'un atome de carbone 12.

On a :

— —

Pour un atome de carbone 12 :

— —

—

Donc :

— — —

Application numérique :

— — —

b. Unité d'énergie

Dans le domaine de la physique nucléaire, on utilise une unité d'énergie plus adaptée à l'échelle atomique appelé l'électron-volt, noté eV , tel que :

Remarque :

Les multiples de l'électron-volt :

--	--	--

c. L'énergie équivalente de l'unité de masse atomique

Selon la relation d'Einstein, on a :

C'est-à-dire :

Donc :

II. L'énergie de liaison

1. Défaut de masse

- La masse du noyau est toujours *inférieure* à celle des nucléons qui le compose.
- Cette *différence de masse* entre les nucléons et le noyau est appelée *défaut de masse* Δm .
- Soit un noyau A_ZX :

$$[Z \quad] \quad m({}^A_ZX)$$

: La masse du proton.

m : La masse du neutron.

$m({}^A_ZX)$: La masse du noyau.

Remarque :

Le défaut de masse est une grandeur positive : **0**.

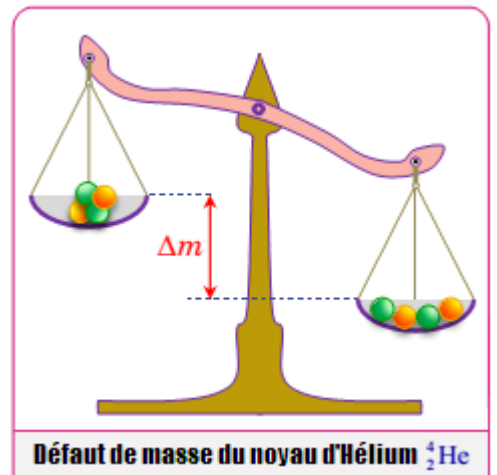
Exemple :

Calculer en et en), le défaut de masse du noyau de carbone :

On donne : $m({}^{14}_6C)$

Réponse :

On a : $[Z \quad]$



2. L'énergie de liaison

Energie de liaison d'un noyau est l'énergie qu'il faut *fournir* à ce noyau *au repos* pour le *dissocier en nucléons libres et au repos* :

$$\left([Z \quad] \quad m\left(\frac{A}{Z}X\right) \right)$$

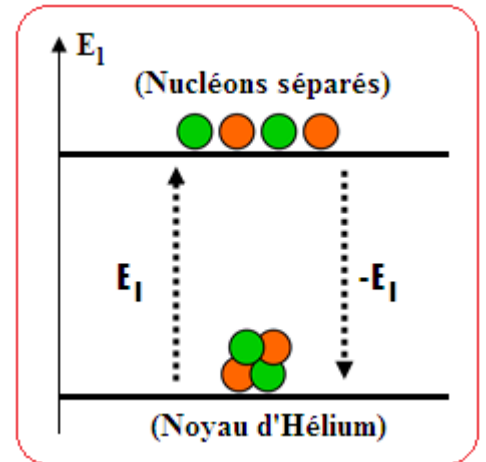
Cette énergie est *positive* puisqu'elle est reçue par le système considéré (le noyau).

Exemple :

Calculer l'énergie de liaison du noyau de carbone en et en).

Réponse :

On a : $\left([Z \quad] \quad \right)$.
([6 00886]



3. L'énergie de liaison par nucléon

L'énergie de liaison par nucléon ξ d'un noyau est définie par la relation :

—

Elle s'exprime en : **MeV/n**

Remarque :

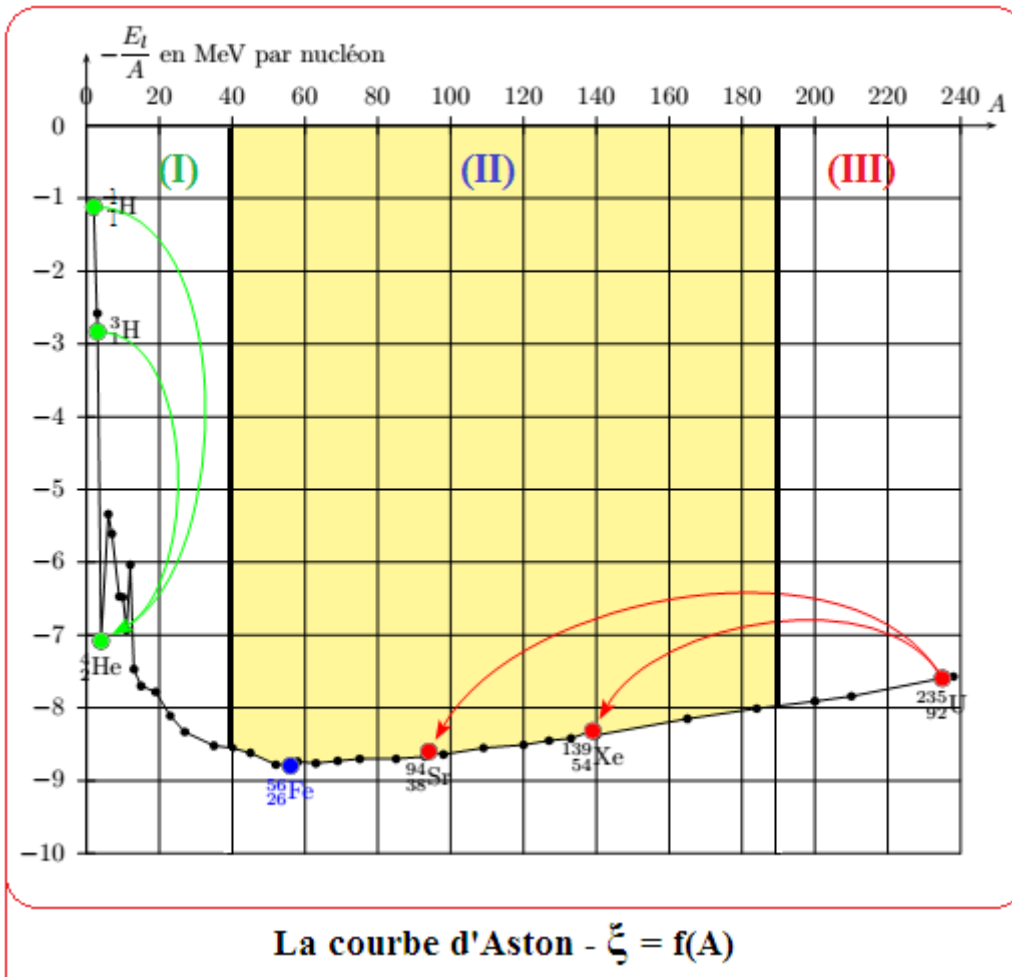
Plus l'énergie de liaison par nucléon ξ est *élevée*, plus le noyau est *stable*.

4. Courbe d'Aston

La courbe d'Aston représente en fonction de **A**. Cette courbe permet de comparer la stabilité des différents noyaux atomiques.

• Cette courbe comporte trois régions :

- ① **Région des noyaux stables (Région II)** : Les **noyaux stables** sont ceux qui ont une énergie de liaison par nucléon entre 8 et 9 MeV/nucléon. Leur nombre de masse A est : **20 < A < 190**. Ils apparaissent autour du minimum de la courbe.
- ② **Région des noyaux légers (Région I)** : Ce sont des **noyaux instables**, leur nombre de masse A est : **20**, comme les noyaux d'Hydrogène ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$. Ces noyaux peuvent fusionner pour former des *noyaux plus stables* placés plus bas dans le diagramme avec *libération d'énergie*. Les réactions nucléaires mise en jeu sont appelées *réactions de fusion*.
- ③ **Régions des noyaux lourds (Région III)** : Ce sont des **noyaux instables**, leur nombre de masse A est : **190**, comme l'uranium ${}^{235}_{92}\text{U}$. Ces noyaux peuvent se briser en deux noyaux légers appartenant au domaine de stabilité avec *libération d'énergie*. Ils subissent alors des réactions nucléaires appelées *réactions de fission*.



Remarque :

Les deux réactions de fusion et de fission ne sont pas spontanées, mais *provoquées*.

III. Fission et fusion nucléaires

1. La fission nucléaire

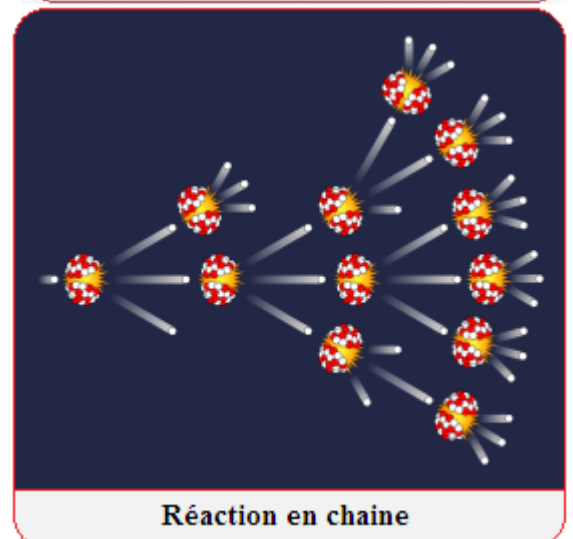
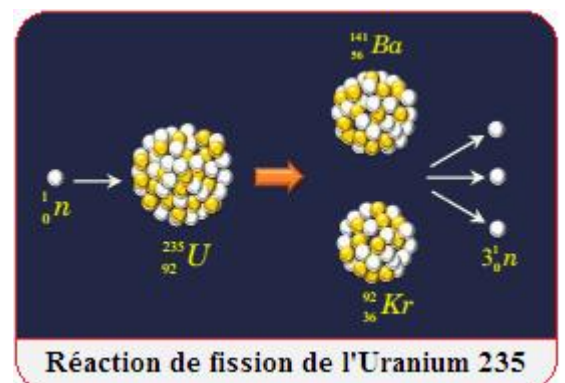
La fission nucléaire est une réaction nucléaire provoquée, au cours de laquelle un *noyau lourd* éclate en deux noyaux *plus légers* sous l'impact d'un *neutron* $\frac{1}{0}n$.

Exemples :

Remarque :

Une réaction de fission donne naissance à des *noyaux fils* mais aussi à des *neutrons*, ceux-ci peuvent provoquer d'autres fissions nucléaires, contribuant ainsi à la naissance d'une *réaction en chaîne*

- Si la réaction en chaîne *n'est pas contrôlée*, elle s'effectue de *manière explosive*, et c'est ce qui passe dans la *bombe atomique*.

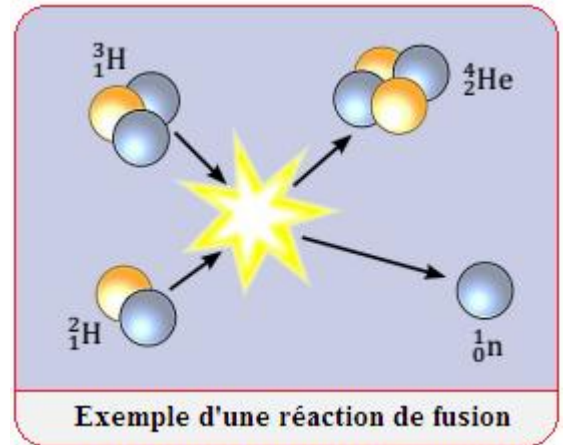


- Dans les centrales nucléaires, la réaction en chaîne *est contrôlée* pour produire une quantité d'énergie souhaitée.

2. La fusion nucléaire

La fusion est une réaction nucléaire provoquée, au cours de laquelle deux noyaux légers instables fusionnent pour former un noyau plus lourd et plus stable.

Exemples :



Remarque :

Cette fusion ne peut pas être réalisée que si les deux noyaux ont une *énergie cinétique suffisante* pour vaincre les forces de répulsion causées par les protons. Pour obtenir cette énergie, on crée alors une agitation thermique à très haute température (d'environ 10^8 K). En conséquence, la réaction de fusion est appelée *réaction thermonucléaire*.

IV. Bilan de masse et d'énergie d'une réaction nucléaire :

1. Cas général

Soit une réaction nucléaire quelconque d'équation :

Il y a deux façons de calculer l'énergie d'une réaction nucléaire, soit :

- ✓ En utilisant la *variation de masse* du système :

$$[m \quad]$$

$$[(\quad)]$$

- ✓ En utilisant les *énergies de liaison* des noyaux :

$$[(\quad)]$$

Remarques :

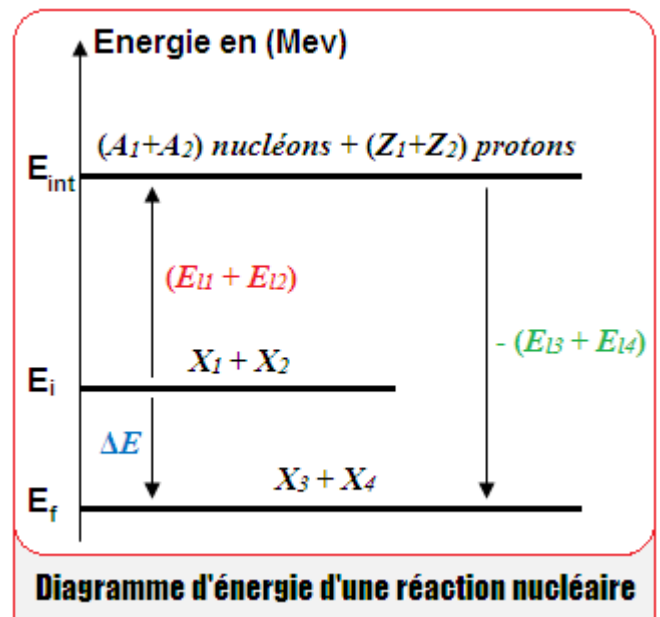
- Si $\Delta E > 0$, on dit que la réaction *libère* de l'énergie au milieu extérieur.
- Si $\Delta E < 0$, on dit que la réaction *reçoit* de l'énergie du milieu extérieur.
- **L'énergie libérée** au cours d'une réaction nucléaire est :

$$|\Delta E|$$

2. Quelques exemples

a. La fission nucléaire

Soit la réaction de fission nucléaire de l'Uranium 235 d'équation suivante :



L'énergie de cette réaction nucléaire est :

$$\left[(m(^{140}_{54}\text{Xe}) + m(^{94}_{38}\text{Sr})) - (m(^{235}_{92}\text{U}) + m(^1_0\text{n})) \right].$$

Ou :

$$[E(^{235}_{92}\text{U}) + E(^1_0\text{n}) - (E(^{140}_{54}\text{Xe}) + E(^{94}_{38}\text{Sr}))]$$

♣ Cette réaction *libère* de l'énergie au milieu extérieur : $\Delta E < 0$.

b. La fusion nucléaire

Soit la réaction de fusion nucléaire de l'Hydrogène d'équation suivante :

L'énergie de cette réaction nucléaire est :

$$\left[(m(^4_2\text{He}) + m(^1_0\text{n})) - (m(^2_1\text{H}) + m(^3_1\text{H})) \right].$$

Ou :

$$[E(^4_2\text{He}) + E(^1_0\text{n}) - (E(^2_1\text{H}) + E(^3_1\text{H}))]$$

♣ Cette réaction *libère* de l'énergie au milieu extérieur : $\Delta E < 0$.

c. La radioactivité

Soit une réaction de désintégration α d'équation suivante :

L'énergie de cette réaction nucléaire est :

$$[E(^{226}_{88}\text{Ra}) - (E(^{222}_{86}\text{Rn}) + E(^4_2\text{He}))]$$

Ou :

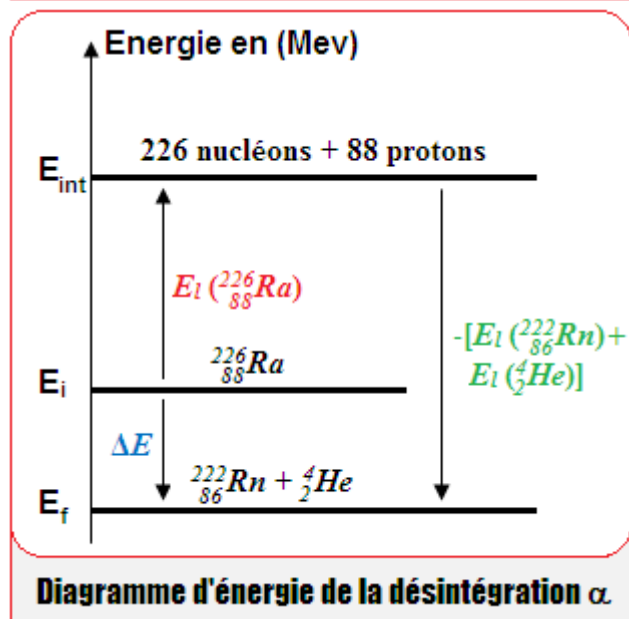
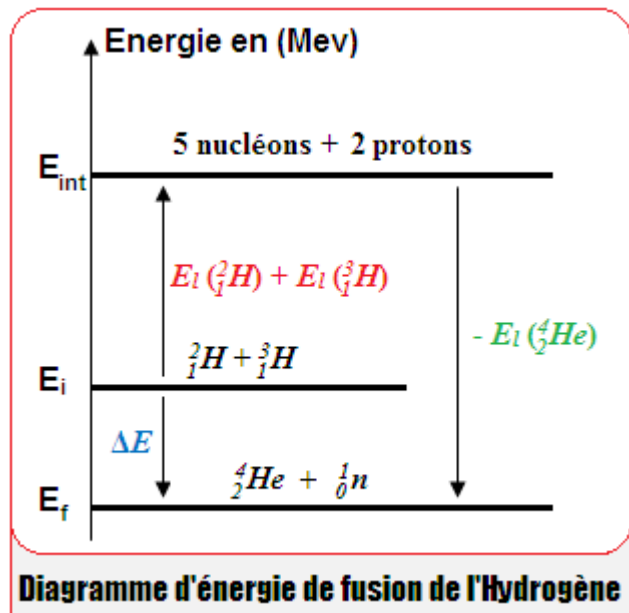
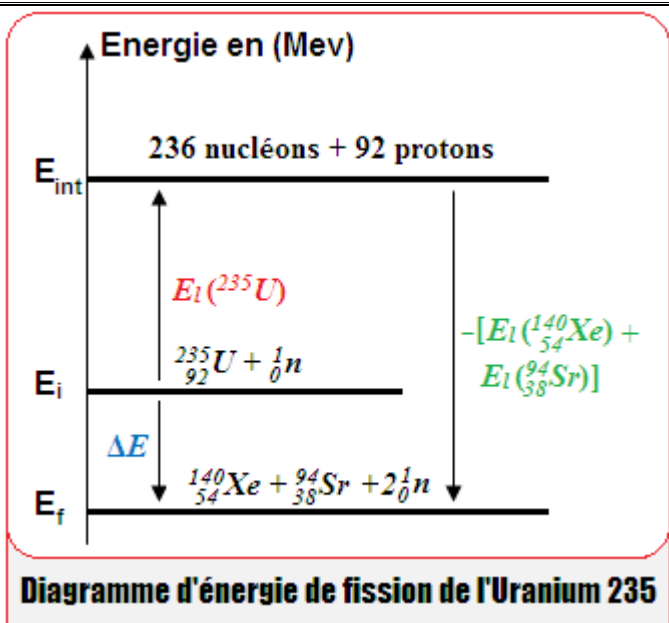
$$[E(^{226}_{88}\text{Ra}) - (E(^{222}_{86}\text{Rn}) + E(^4_2\text{He}))]$$

♣ Cette réaction *libère* de l'énergie au milieu extérieur : $\Delta E > 0$.

d. La radioactivité

Soit une réaction de désintégration β^- d'équation suivante :

L'énergie de cette réaction nucléaire est :



[()].

Ou :

- ♣ Cette réaction *libère* de l'énergie au milieu extérieur : **0**.

V. Applications et dangers de la radioactivité

1. L'effet biologique de la radioactivité

Tous les êtres vivants sont exposés à une certaine quantité de radiations radioactives, et l'effet de ces radiations varie selon leur nature, et selon la quantité des radiations absorbée par l'organisme.

- ♣ **Les rayons α** : peuvent être arrêtés par une feuille de papier. Ils provoquent des *brûlures superficielles sur la peau*.
- ♣ **Les rayons β** : peuvent être arrêtés par une plaque d'aluminium. Ils sont utilisés pour *traiter certaines maladies cancéreuses*.
- ♣ **Les rayons γ** : peuvent être arrêtés par un mur de béton ou de plomb. Ils sont utilisés dans *le diagnostic des maladies*.

2. Applications de la radioactivité

La radioactivité a des multiples applications dans plusieurs domaines, comme :

- ☒ **L'industrie** : la production de l'énergie électrique, la recherche de nouveaux matériaux, les appareils de détection et de mesure ultrasensible, la conservation des aliments
- ☒ **L'agriculture** : élaboration de nouvelles variétés végétales par transformations génétiques, éliminer des insectes et des micro-organismes nuisibles ...
- ☒ **La médecine** : le diagnostic et le traitement, utilisation de traceurs radioactifs, analyse biochimique, radiothérapie, stérilisation des instruments médicaux

3. Dangers de la radioactivité

Hiroshima, Nagasaki, Tchernobyl et dernièrement *Fukushima* sont parmi les catastrophes nucléaires les plus violentes. Elles permettent à l'humanité de sentir les dangers de la radioactivité... Le nucléaire fait peur.

L'utilisation de la radioactivité dans de nombreux secteurs est à l'origine de la production de déchets radioactifs qui, pour des raisons techniques ou économiques, ne peuvent être réutilisés ou recyclés. Ces déchets ont la particularité d'émettre des rayonnements radioactifs pouvant présenter un risque pour l'Homme et l'environnement.

