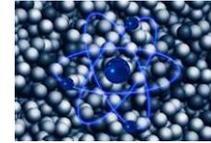


## L'aspect énergétique des réactions nucléaires



### 1 Définitions

En observant les noyaux et les nucléons, on a mis en évidence une différence fondamentale : la masse du noyau est inférieure à celle des nucléons séparés.

On explique cette observation par le fait que le noyau est un système lié qui se caractérise donc par un " défaut de masse ".

Le **défaut de masse** d'un noyau se calcule en réalisant la différence entre la masse des nucléons séparés et la masse du noyau.

$$\Delta_m = (Z * m_{\text{proton}} + (A - Z) * m_{\text{neutron}}) - m_{\text{noyau}}$$

**L'énergie de liaison** est calculée en fonction de ce défaut de masse. Elle correspond à l'énergie qui permet de maintenir la cohésion du noyau. Elle est dispersée sous forme de rayonnement et d'énergie cinétique lorsque le noyau est désintégré.

### 2 Unités

Les unités utilisées dans ce domaine de la physique sont nombreuses. Elles sont classées en deux catégories : les unités de masse et les unités d'énergie.

- Les unités de masse :
  - Le S.I. utilise comme unité de masse le kg. Les masses des nucléons sont données en kg ( rappel : environ  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg )
  - On utilise aussi de manière courante l'unité de masse atomique uma, plus adaptée à la physique nucléaire. Une masse d'1 u est équivalente au douzième de la masse d'un noyau de carbone. On notera la conversion :

$$1 \text{ uma} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Le choix de cette unité revient à la volonté d'établir une unité qui soit pratique, cette méthode de calcul revient à réaliser une moyenne des masses des 12 nucléons du carbone. On a donc une sorte de masse-type du nucléon moyen.

- on utilise parfois aussi le  $\text{MeV} \cdot \text{c}^{-2}$  qui est tel que

$$1 \text{ uma} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$$

L'intérêt est d'obtenir directement l'énergie en MeV sans devoir passer par de multiples conversions. Les risques d'erreur sont donc limités d'autant. Cependant cette conversion n'a de raison d'être que lorsque le résultat est demandé en MeV.

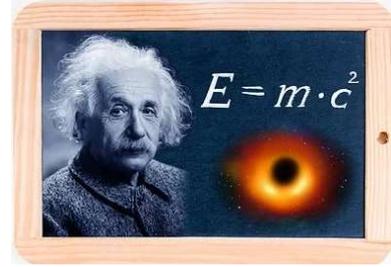
Les unités d'énergie : Dans le S.I., l'unité standard de l'énergie est le joule ( noté J).

- En physique nucléaire, on utilise une autre unité plus adaptée à des calculs sur des petites quantités d'atomes et de noyaux et qui permet d'éviter d'avoir trop de notations scientifiques dans les calculs: le méga électron-volt, MeV sur la base :

$$1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

### 3 La relation d'Einstein

Elle permet notamment de mettre en évidence le lien existant entre le défaut de masse d'un noyau et l'énergie qu'il faut fournir pour le désintégrer. Elle se formule de la façon suivante :



Un système au repos de masse  $m$  possède une énergie  $E_0$  telle que  $E_0 = m \cdot c^2$  où  $c$  représente la vitesse de la lumière dans le vide soit  $3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .

Cette relation est fondamentale et elle est quasiment la seule à être utilisée dans les exercices concernant cette partie du programme de physique-chimie ; il est donc vital de bien savoir l'utiliser. Il doit en effet y avoir cohérence dans les unités utilisées : soit on exprime la masse en kg et l'énergie est obtenue en joules, soit on fait le choix d'exprimer la masse en  $\text{MeV} \cdot c^{-2}$  et on obtient alors l'énergie en MeV. Quoi qu'il en soit, il ne faut jamais utiliser cette formule sur une masse exprimée en  $u$ .

### 4 Les énergies :

#### a) L'énergie de liaison

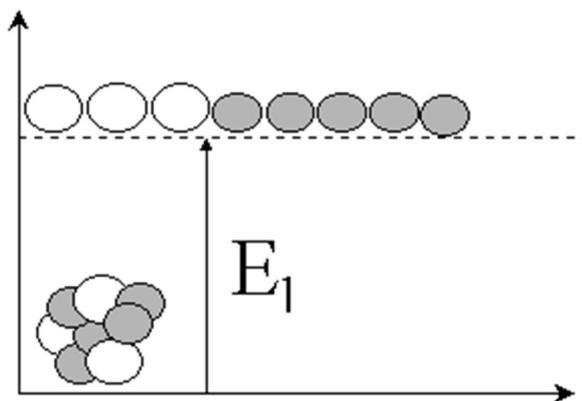
La relation d'Einstein permet de passer du défaut de masse à l'énergie de liaison. En effet, le défaut de masse est équivalent à une énergie  $E_l$  qui n'est autre que celle qu'il faudrait fournir au noyau pour séparer tous les nucléons. C'est cette énergie qui assure la cohésion du noyau. On l'appelle **énergie de liaison**.

On peut la calculer :  $E_0 = \Delta_m \cdot c^2 = \left[ (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n) - m_{\text{noyau}} \right] \cdot c^2$

On peut représenter la différence des niveaux d'énergie de la façon suivante :

$$\left[ (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n) - m_{\text{noyau}} \right] \cdot c^2$$

On utilise parfois la notion d'énergie de liaison par nucléon pour comparer deux sources radioactives.



Le calcul de l'énergie de liaison par nucléon revient à faire une moyenne de l'énergie de liaison totale pondérée par le nombre de

$$E_{\text{ln}} = \frac{E_0}{A}$$

nucléons du noyau :

où  $A$  représente toujours le nombre de masses du noyau.

Plus sa valeur est grande, plus le noyau est stable. L'énergie de liaison par nucléon est un bon indicateur de la stabilité d'un noyau. Elle s'exprime en MeV.

## b) L'équivalence perte de masse - Energie libérée

Il ne faut surtout pas confondre l'énergie de liaison (c'est à dire celle qu'il est nécessaire de **fournir** au noyau pour qu'il se désintègre) et l'énergie équivalente à la perte de masse qui est l'énergie **libérée** par le noyau lors d'une désintégration.

Cependant, l'énergie correspondante au défaut de masse est équivalente à une énergie communiquée à l'extérieur appelée énergie disponible.

## c) L'énergie nucléaire

Lors d'une réaction nucléaire, il y a réorganisation des nucléons selon un nouveau modèle qui donne naissance à un ou plusieurs nouveaux nucléides et à une ou plusieurs particules esseulées. Dans ce contexte, il y a une perte d'énergie potentielle par rapport au système initial. Cette énergie "potentielle" est la différence entre l'énergie disponible avant réaction et celle après réaction. Elle est communiquée à l'extérieur du système et on l'appelle dès lors **énergie nucléaire**.

Le transfert de cette énergie vers le milieu extérieur peut se faire de plusieurs façons.

- **Transfert par chaleur :**

L'énergie est communiquée à des particules filles qui sont expulsées. Elle se manifeste donc sous forme d'énergie cinétique.

Cependant, en raison des frottements et des chocs de ces particules avec d'autres noyaux présents dans le milieu, l'énergie cinétique est à son tour transformée en énergie calorifique, c'est à dire en chaleur. Cette transformation en chaleur de l'énergie est aussi appelée effet joule.

Le transfert par chaleur est celui utilisé dans la production d'électricité par énergie nucléaire :

La chaleur produite permet de transformer de l'eau en vapeur d'eau qui sera utilisée pour faire tourner des turbines et produire de l'électricité.

- **Transfert par rayonnement :**

Le noyau fils est émis dans un état excité. Pour revenir à son état fondamental, le noyau fils doit émettre un rayon  $\gamma$ . Ce rayon transfère de l'énergie que l'on qualifie d'énergie rayonnante.

