BURHAN

Noyaux, masse et énergie : exercices, application

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/noyaux-masse-et-energie/exercices/application

Chapitre	Palier	Exercices
Noyaux, masse et énergie	Application	8

Exercice 1

Énergie de masse d'un électron

On étudie un électron au repos. Sa masse vaut $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$, soit $m_e = 5{,}49 \times 10^{-4}\,\mathrm{u}$.

Données : $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $1\,\mathrm{MeV} = 1{,}60 \times 10^{-13}\,\mathrm{J}$; $1\,\mathrm{u} = 931{,}5\,\mathrm{MeV}/c^2$.

1.

Calculer en joules l'énergie de masse E de l'électron, à partir de sa masse en kilogrammes.

INDICE

Outil : la relation d'équivalence masse-énergie ; avec une masse en kilogrammes, l'énergie sort en joules.

CORRIGÉ

Relation. $E = m_e\,c^2$, avec m_e en kilogrammes et c en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Application numérique.

$$\begin{aligned} E &= 9{,}11 \times 10^{-31} \\ &\quad \times (3{,}00 \times 10^{8})^2 \\ E &= 8{,}20 \times 10^{-14}\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

Conclusion. L'énergie de masse de l'électron vaut $8{,}20 \times 10^{-14}\,\mathrm{J}$, avec trois chiffres significatifs comme les données.

2.

Convertir cette énergie en mégaélectronvolts.

INDICE

Outil : la valeur du mégaélectronvolt en joules. **Point délicat :** garde la valeur non arrondie de la question 1.

CORRIGÉ

Conversion. On divise l'énergie en joules par la valeur de $1\,\mathrm{MeV}$, avec $E = 8{,}199 \times 10^{-14}\,\mathrm{J}$ non arrondie :

$$\begin{aligned} E &= \frac{8{,}199 \times 10^{-14}}{1{,}60 \times 10^{-13}} \\ E &= 0{,}512\,\mathrm{MeV} \end{aligned}$$

Conclusion. Par la chaîne du kilogramme et du joule, l'énergie de masse de l'électron vaut $0{,}512\,\mathrm{MeV}$.

3.

Calculer la même énergie à partir de la masse en u. Comparer au résultat de la question 2 et expliquer l'écart.

INDICE

Outil : la correspondance entre l'unité de masse atomique et le mégaélectronvolt.

CORRIGÉ

Calcul en MeV. Une masse de $1\,\mathrm{u}$ a une énergie de masse de $931{,}5\,\mathrm{MeV}$:

$$E = 5{,}49 \times 10^{-4} \times 931{,}5$$
$$E = 0{,}511\,\mathrm{MeV}$$

Comparaison. L'écart relatif vaut $\dfrac{0{,}512 - 0{,}511}{0{,}511} \approx 0{,}2\,\%$. Il vient des arrondis de c et du mégaélectronvolt, pas d'une erreur de calcul.

Conclusion. Les deux chaînes donnent $0{,}512\,\mathrm{MeV}$ et $0{,}511\,\mathrm{MeV}$; dans un même calcul, on garde une seule chaîne, celle des données.

Exercice 2

Énergie de liaison du noyau d'azote 14

L'azote de l'air est surtout formé de l'isotope $^{14}_{7}\mathrm{N}$. La masse de son noyau vaut $m(^{14}_{7}\mathrm{N}) = 13{,}99923\,\mathrm{u}$.

Données : $m_p = 1{,}00728\,\mathrm{u}$; $m_n = 1{,}00866\,\mathrm{u}$; $1\,\mathrm{u} = 931{,}5\,\mathrm{MeV}/c^2$; $1\,\mathrm{MeV} = 1{,}60 \times 10^{-13}\,\mathrm{J}$.

1.

Donner la composition du noyau, puis calculer son défaut de masse Δm.

INDICE

Outil : la définition du défaut de masse. **Point délicat :** garde les cinq décimales des masses jusqu'à la soustraction.

CORRIGÉ

Composition. $Z = 7$ protons et $A - Z = 14 - 7 = 7$ neutrons.

Défaut de masse.

$$\begin{aligned}\Delta m &= 7\,m_p + 7\,m_n \\ &\quad - m(^{14}_{7}\mathrm{N}) \\ \Delta m &= 14{,}11158 \\ &\quad - 13{,}99923 \\ \Delta m &= 0{,}11235\,\mathrm{u}\end{aligned}$$

Conclusion. Le noyau d'azote 14 compte 7 protons et 7 neutrons ; son défaut de masse vaut $0{,}11235\,\mathrm{u}$.

2.

Calculer l'énergie de liaison E_ℓ du noyau, en MeV puis en joules.

INDICE

Outil : l'énergie de liaison est l'énergie de masse du défaut de masse ; une masse en u donne des MeV.

CORRIGÉ

En MeV.

$$\begin{aligned}E_\ell &= \Delta m\,c^2 \\ E_\ell &= 0{,}11235 \times 931{,}5 \\ E_\ell &= 104{,}7\,\mathrm{MeV}\end{aligned}$$

En joules. $E_\ell = 104{,}65 \times 1{,}60 \times 10^{-13} = 1{,}67 \times 10^{-11}\,\mathrm{J}$.

Conclusion. L'énergie de liaison du noyau d'azote 14 vaut $104{,}7\,\mathrm{MeV}$, soit $1{,}67 \times 10^{-11}\,\mathrm{J}$.

3.

En déduire l'énergie de liaison par nucléon de ce noyau.

INDICE

Outil : l'énergie de liaison par nucléon est un quotient par le nombre de nucléons.

CORRIGÉ

Quotient. On divise l'énergie de liaison non arrondie par $A = 14$:

$$\frac{E_\ell}{A} = \frac{104{,}65}{14}$$
$$\frac{E_\ell}{A} = 7{,}475\,\text{MeV}$$

Conclusion. L'énergie de liaison par nucléon du noyau d'azote 14 vaut $7{,}475\,\text{MeV}$ par nucléon.

Exercice 3

Stabilité comparée du néon 20 et du nickel 62

Un spectromètre de masse a permis de mesurer la masse des noyaux suivants.

Noyau	Z	A	Masse du noyau (u)
néon 20	10	20	$19{,}98695$
nickel 62	28	62	$61{,}91297$

Données : $m_p = 1{,}00728\,\mathrm{u}$; $m_n = 1{,}00866\,\mathrm{u}$; $1\,\mathrm{u} = 931{,}5\,\mathrm{MeV}/c^2$.

1.

Calculer le défaut de masse de chacun des deux noyaux.

INDICE

Outil : la définition du défaut de masse. **Point délicat :** le nickel 62 a $62 - 28$ neutrons.

CORRIGÉ

Néon 20. 10 protons et 10 neutrons :

$$\begin{aligned}\Delta m &= 20{,}15940 \\ &\quad - 19{,}98695 \\ \Delta m &= 0{,}17245\,\mathrm{u}\end{aligned}$$

Nickel 62. 28 protons et 34 neutrons, soit $28\,m_p + 34\,m_n = 62{,}49828\,\mathrm{u}$:

$$\begin{aligned}\Delta m &= 62{,}49828 \\ &\quad - 61{,}91297 \\ \Delta m &= 0{,}58531\,\mathrm{u}\end{aligned}$$

Conclusion. Les défauts de masse valent $0{,}17245\,\mathrm{u}$ pour le néon 20 et $0{,}58531\,\mathrm{u}$ pour le nickel 62.

2.

Calculer l'énergie de liaison par nucléon de chaque noyau.

INDICE

Début : convertis chaque défaut de masse en énergie de liaison. **Ensuite :** divise par le nombre de nucléons.

CORRIGÉ

Néon 20.

$$\frac{E_\ell}{A} = \frac{0{,}17245 \times 931{,}5}{20}$$
$$\frac{E_\ell}{A} = 8{,}032\,\mathrm{MeV}$$

Nickel 62.

$$\frac{E_\ell}{A} = \frac{0{,}58531 \times 931{,}5}{62}$$
$$\frac{E_\ell}{A} = 8{,}794\,\mathrm{MeV}$$

Conclusion. L'énergie de liaison par nucléon vaut $8{,}032\,\mathrm{MeV}$ pour le néon 20 et $8{,}794\,\mathrm{MeV}$ pour le nickel 62.

3.

Lequel des deux noyaux est le plus stable ? Justifier.

INDICE

Outil : le critère de stabilité vu dans le cours.

CORRIGÉ

Critère. Pour juger la cohésion, on compare les énergies de liaison par nucléon, et non les énergies de liaison totales.

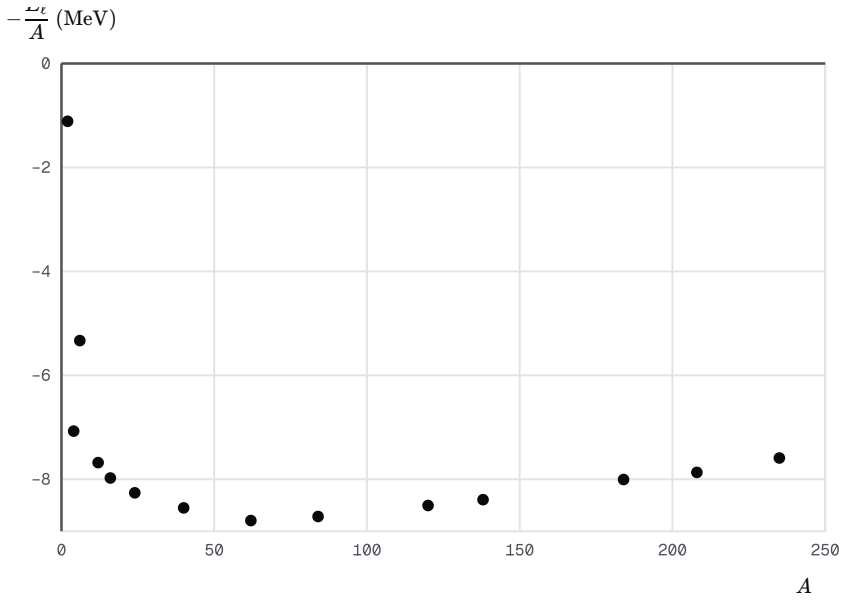
Comparaison. $8{,}794\,\mathrm{MeV} > 8{,}032\,\mathrm{MeV}$ par nucléon.

Conclusion. Le nickel 62 est plus stable que le néon 20 : chacun de ses nucléons est en moyenne plus lié.

Exercice 4

Lecture d'un extrait de la courbe d'Aston

Le document représente $-\dfrac{E_\ell}{A}$ en fonction du nombre de nucléons A pour quatorze noyaux, à partir de masses mesurées.



Extrait de la courbe d'Aston

1.

Repérer sur le document le noyau le plus stable. Donner son nombre de nucléons et son énergie de liaison par nucléon.

INDICE

Outil : l'ordonnée est l'opposé de l'énergie de liaison par nucléon ; cherche le point le plus bas.

CORRIGÉ

Lecture. Le point le plus bas a pour abscisse $A = 62$ et pour ordonnée $-\dfrac{E_\ell}{A} \approx -8{,}8\,\text{MeV}$.

Conclusion. Le noyau le plus stable du document a 62 nucléons ; son énergie de liaison par nucléon vaut environ $8{,}8\,\text{MeV}$ par nucléon.

2.

Lire l'énergie de liaison par nucléon du lithium 6 ($A = 6$) et de l'uranium 235 ($A = 235$). Lequel peut gagner en stabilité par fusion, lequel par fission ?

INDICE

Outil : la place de chaque noyau par rapport au minimum de la courbe.

CORRIGÉ

Lectures. Pour $A = 6$, $\dfrac{E_\ell}{A} \approx 5{,}3\,\mathrm{MeV}$; pour $A = 235$, $\dfrac{E_\ell}{A} \approx 7{,}6\,\mathrm{MeV}$.

Domaines. Le lithium 6 est un noyau léger, à gauche du minimum : en s'unissant à un autre noyau léger, il forme un noyau plus lié. L'uranium 235, très lourd, se situe à droite : en se scindant, il donne deux noyaux plus proches du minimum.

Conclusion. Le lithium 6 devient plus stable en fusionnant ; l'uranium 235, en subissant une fission.

3.

Montrer que l'énergie de liaison du noyau d'étain 120 ($A = 120$) vaut environ $1{,}0 \times 10^3\,\mathrm{MeV}$.

INDICE

Outil : l'énergie de liaison est le produit de l'énergie par nucléon par le nombre de nucléons.

CORRIGÉ

Lecture. Pour $A = 120$, on lit $\dfrac{E_\ell}{A} \approx 8{,}5\,\mathrm{MeV}$.

Produit.

$$E_\ell \approx 120 \times 8{,}5$$
$$E_\ell \approx 1{,}0 \times 10^3\,\mathrm{MeV}$$

Conclusion. L'énergie de liaison du noyau d'étain 120 vaut environ $1{,}0 \times 10^3\,\mathrm{MeV}$, valeur approchée tirée d'une lecture graphique.

Exercice 5

Fission de l'uranium 235 en lanthane et brome

Dans le cœur d'un réacteur, un neutron lent frappe un noyau d'uranium 235. L'une des réactions possibles s'écrit :

$$\begin{aligned} &{}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \\ &\longrightarrow {}^{146}_{57}\mathrm{La} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \\ &\quad + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n} \end{aligned}$$

Extrait de la classification : Se ($Z = 34$) ; Br ($Z = 35$) ; Kr ($Z = 36$).

1.

Déterminer A et Z par les lois de conservation.

INDICE

Outil : le nombre de nucléons et le nombre de charge se conservent ; un neutron compte 1 nucléon et 0 charge.

CORRIGÉ

Nucléons. $1 + 235 = 146 + A + 3$, donc $A = 87$.

Charges. $0 + 92 = 57 + Z + 0$, donc $Z = 35$.

Conclusion. Le noyau formé a $A = 87$ nucléons et le nombre de charge $Z = 35$.

2.

Identifier l'élément X et écrire le symbole complet de son noyau.

INDICE

Outil : un élément est caractérisé par son numéro atomique.

CORRIGÉ

Élément. $Z = 35$ correspond au brome dans l'extrait de la classification.

Symbole. Le noyau s'écrit ${}^{87}_{35}\mathrm{Br}$.

Conclusion. L'élément formé est le brome ; son noyau est le brome 87, ${}^{87}_{35}\mathrm{Br}$.

3.

Justifier que cette réaction est une fission, et expliquer le rôle des neutrons émis.

INDICE

Outil : la définition d'une fission ; regarde ce que deviennent les neutrons produits.

CORRIGÉ

Type. Le noyau d'uranium 235, très lourd, reçoit un neutron lent et donne deux noyaux plus petits, le lanthane 146 et le brome 87, avec trois neutrons : c'est une fission.

Neutrons émis. Chacun des trois neutrons peut provoquer une nouvelle fission d'un noyau d'uranium 235.

Conclusion. La réaction est une fission ; ses neutrons peuvent entretenir une réaction en chaîne, contrôlée dans le réacteur.

Exercice 6

Reconnaître le type de quatre réactions nucléaires

On considère les quatre réactions suivantes.

Réaction (1).

$$\begin{aligned}&{}^{222}_{86}\mathrm{Rn}\\&\longrightarrow {}^{218}_{84}\mathrm{Po}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}\end{aligned}$$

Réaction (2).

$${}^{1}_{1}\mathrm{H}+{}^{2}_{1}\mathrm{H}\longrightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He}$$

Réaction (3).

$$\begin{aligned}&{}^{1}_{0}\mathrm{n}+{}^{235}_{92}\mathrm{U}\\&\longrightarrow {}^{137}_{52}\mathrm{Te}+{}^{97}_{40}\mathrm{Zr}\\&\quad +2\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}\end{aligned}$$

Réaction (4).

$$\begin{aligned}&{}^{90}_{38}\mathrm{Sr}\\&\longrightarrow {}^{90}_{39}\mathrm{Y}+{}^{0}_{-1}\mathrm{e}\end{aligned}$$

1.

Donner le type de chacune des quatre réactions : fission, fusion, radioactivité α ou radioactivité β^-.

INDICE

Outil : compte les réactifs, puis regarde la particule émise ou la taille des noyaux formés.

CORRIGÉ

Réactions (1) et (4). Un seul noyau se transforme spontanément. En (1), il émet un noyau d'hélium 4 : radioactivité α. En (4), il émet un électron : radioactivité β^-.

Réaction (2). Deux noyaux légers s'unissent en un noyau plus lourd : fusion.

Réaction (3). Un noyau lourd frappé par un neutron se scinde en deux noyaux plus légers : fission.

Conclusion. (1) est une radioactivité α, (2) une fusion, (3) une fission et (4) une radioactivité β^-.

2.

L'oxygène 15 est radioactif β^+ :

$$^{15}_{8}\mathrm{O} \longrightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$$

Compléter l'équation, sachant que C a pour numéro atomique 6 et N le numéro 7.

INDICE

Outil : les deux lois de conservation ; le positon compte 0 nucléon et une charge $+1$.

CORRIGÉ

Nucléons. $15 = A + 0$, donc $A = 15$.

Charges. $8 = Z + 1$, donc $Z = 7$: c'est l'azote.

Conclusion. L'équation complète est $^{15}_{8}\mathrm{O} \longrightarrow {}^{15}_{7}\mathrm{N} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$: il se forme un noyau d'azote 15.

Exercice 7

Énergie libérée par la radioactivité alpha de l'américium 241

L'américium 241, employé dans certains détecteurs de fumée, est radioactif α : il donne un noyau de neptunium.

Noyau	Masse du noyau (u)
américium 241, $^{241}_{95}\mathrm{Am}$	$241{,}004713$
neptunium 237	$236{,}997156$
hélium 4, $^{4}_{2}\mathrm{He}$	$4{,}001506$

Données : U ($Z=92$), Np ($Z=93$), Pu ($Z=94$) ; $1\,\mathrm{u}=931{,}5\,\mathrm{MeV}/c^2$; $1\,\mathrm{MeV}=1{,}60\times10^{-13}\,\mathrm{J}$.

1.

Écrire l'équation de la désintégration, en vérifiant les deux lois de conservation.

INDICE

Outil : la particule α est un noyau d'hélium 4 ; le neptunium a le numéro atomique 93.

CORRIGÉ

Équation.

$$^{241}_{95}\mathrm{Am} \longrightarrow {}^{237}_{93}\mathrm{Np} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

Vérification. Nucléons : $241=237+4$. Charges : $95=93+2$.

Conclusion. L'américium 241 donne un noyau de neptunium 237 et une particule α : nombre de nucléons et nombre de charge sont bien conservés.

2.

Calculer la variation d'énergie ΔE de la réaction en MeV, puis l'énergie libérée E_{lib}.

INDICE

Outil : l'énergie d'une réaction nucléaire à partir des masses. **Point délicat :** le signe de ΔE.

CORRIGÉ

Masses. $m_{\mathrm{i}} = 241{,}004713\,\mathrm{u}$ et $m_{\mathrm{f}} = 236{,}997156 + 4{,}001506 = 240{,}998662\,\mathrm{u}$.

Variation d'énergie.

$$\begin{aligned} \Delta E &= (m_{\mathrm{f}} - m_{\mathrm{i}})\,c^2 \\ \Delta E &= -0{,}006051 \\ &\quad \times 931{,}5 \\ \Delta E &= -5{,}637\,\mathrm{MeV} \end{aligned}$$

Énergie libérée. $\Delta E < 0$, donc $E_{\mathrm{lib}} = |\Delta E| = 5{,}637\,\mathrm{MeV}$.

Conclusion. La réaction libère $5{,}637\,\mathrm{MeV}$ par noyau ; la variation de masse $m_{\mathrm{f}} - m_{\mathrm{i}}$ a quatre chiffres significatifs.

3.

Exprimer cette énergie libérée en joules.

INDICE

Outil : la valeur du mégaélectronvolt en joules.

CORRIGÉ

Conversion. On part de $E_{\mathrm{lib}} = 5{,}637\,\mathrm{MeV}$:

$$\begin{aligned} E_{\mathrm{lib}} &= 5{,}637 \\ &\quad \times 1{,}60 \times 10^{-13} \\ E_{\mathrm{lib}} &= 9{,}02 \times 10^{-13}\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

Conclusion. Chaque désintégration libère environ $9{,}02 \times 10^{-13}\,\mathrm{J}$; le résultat garde les trois chiffres de $1{,}60 \times 10^{-13}$.

Exercice 8

Diagramme d'énergie de la fusion de deux noyaux d'hélium 3

Dans le Soleil, deux noyaux d'hélium 3 peuvent fusionner :

$$2\,{}^{3}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\,{}^{1}_{1}\mathrm{p}$$

Le document est le diagramme d'énergie de cette réaction. Le niveau des nucléons séparés est pris à 0 ; la valeur écrite près d'une flèche est sa variation d'énergie.

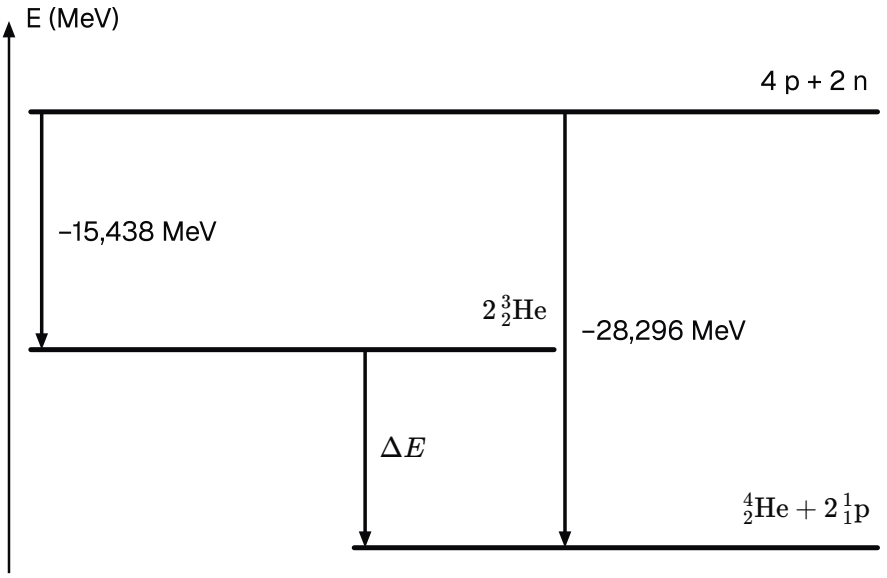


Diagramme d'énergie de la fusion de deux noyaux d'hélium 3

1.

Lire sur le document l'énergie de liaison $E_\ell(\mathrm{i})$ des réactifs et l'énergie de liaison $E_\ell(\mathrm{f})$ des produits.

INDICE

Outil : une flèche qui descend des nucléons séparés vers un niveau vaut l'opposé de l'énergie de liaison de ce niveau.

CORRIGÉ

Réactifs. La flèche des nucléons séparés vers les deux noyaux d'hélium 3 vaut $-15{,}438\,\mathrm{MeV}$, donc $E_\ell(\mathrm{i}) = 15{,}438\,\mathrm{MeV}$.

Produits. La flèche vers les produits vaut $-28{,}296\,\mathrm{MeV}$. Les protons libres ont une énergie de liaison nulle.

Conclusion. $E_\ell(\mathrm{i}) = 15{,}438\,\mathrm{MeV}$ et $E_\ell(\mathrm{f}) = 28{,}296\,\mathrm{MeV}$.

2.

Calculer la variation d'énergie ΔE de la réaction et l'énergie libérée.

INDICE

Outil : l'énergie d'une réaction nucléaire à partir des énergies de liaison.

CORRIGÉ

Variation d'énergie.

$$\Delta E = E_\ell(\mathrm{i}) - E_\ell(\mathrm{f})$$
$$\Delta E = 15{,}438 - 28{,}296$$
$$\Delta E = -12{,}858\,\mathrm{MeV}$$

Énergie libérée. $\Delta E < 0$: $E_{\mathrm{lib}} = |\Delta E| = 12{,}858\,\mathrm{MeV}$.

Conclusion. La fusion de deux noyaux d'hélium 3 libère $12{,}858\,\mathrm{MeV}$, la valeur de la flèche qui relie les réactifs aux produits.

3.

Les produits sont-ils plus liés ou moins liés que les réactifs ? Relier la réponse au signe de ΔE.

INDICE

Outil : compare les deux énergies de liaison lues à la question 1.

CORRIGÉ

Comparaison. $E_\ell(\mathrm{f}) > E_\ell(\mathrm{i})$: le niveau des produits est sous celui des réactifs.

Signe. Passer à un état plus lié fait diminuer l'énergie du système : $\Delta E < 0$, et la différence est libérée.

Conclusion. Les produits sont plus liés que les réactifs, ce qui explique que la réaction libère de l'énergie.