

Données pour les exercices :

- $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$
- $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
- masse d'un électron $m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$

Exercice 1 Isotopes du lithium

Le lithium a pour isotopes

${}^3\text{Li}$, ${}^4\text{Li}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^8\text{Li}$, ${}^9\text{Li}$, ${}^{10}\text{Li}$, ${}^{11}\text{Li}$, ${}^{12}\text{Li}$, ${}^{13}\text{Li}$.

- (1) Donner la composition des 2 premiers atomes. Il vous manque une indication : où doit-on aller la chercher ?
- (2) Donner la composition du dernier.

Exercice 2 Composition de particules

- (1) Donner la composition d'une particule α .
- (2) Donner la composition d'une particule β^+ .
- (3) Donner la composition d'une particule β^- .
- (4) Avec ce que vous venez de voir comme exemple, comment pourrait-on représenter un proton (dont le symbole sera p) ?
- (5) Idem avec un neutron (de symbole n).

Exercice 3 Rayons gamma

Un rayonnement gamma γ est caractérisé par une longueur d'onde $\lambda < 10 \text{ nm}$.

Dans l'article *First Detection of Photons with Energy Beyond 100 TeV from an Astrophysical Source*, publié dans le journal scientifique **Physical Review Letters** numéro 123 de 2019, Amenomori et ses collègues ont observé un rayon gamma de $450 \pm 80 \text{ TeV}$.

- (1) Quelle est l'énergie minimale d'un rayon gamma ?
- (2) Quelle est la longueur d'onde du rayon gamma observé le plus énergétique ?
- (3) Naïvement, les rayons gamma sont associés à quelle gamme d'énergie ? Sont-ils dangereux pour l'homme ? Comment appelle-t-on leurs cousins ?

Exercice 4 Loi exponentielle de désintégration

On considère un échantillon de N_0 atomes radioactifs à l'instant $t = 0$.

On appelle $N(t)$ le nombre de noyau pères à l'instant t .

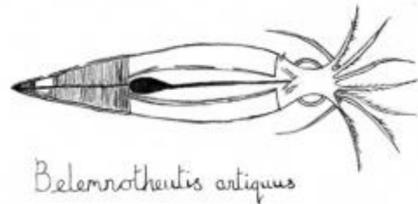
- (1) Quel est le nombre de désintégration ΔN entre les instants t et $t + \Delta t$?
- (2) En déduire l'activité A de l'échantillon.
- (3) On réalise le passage à la limite $\Delta t \rightarrow 0$. Que devient l'activité A ?
- (4) On suppose par ailleurs (et c'est une hypothèse qu'il faut avoir en tête quand on parle de datation radioactives) que l'activité est **proportionnelle** au nombre de noyaux radiatifs (le coefficient de proportionnalité est couramment noté λ et est appelé **constante radioactive**, à ne pas confondre avec la longueur d'onde). Traduire ce lien mathématique.
- (5) En déduire l'équation différentielle portant sur le nombre de noyau radioactif N .
- (6) On note N_0 le nombre de noyau radioactif à l'instant $t = 0$. Quelle est la solution de l'équation différentielle ?
- (7) On appelle **temps de demi-vie** $t_{1/2}$ la durée au bout de laquelle le nombre de noyau radioactif est divisé par 2. Quel est le lien entre avec le coefficient λ ?
- (8) Montrer que $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \left(\frac{N_0}{N(t)} \right)$.

- (9) On ré-écrit la loi de désintégration radioactive sous la forme $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$. A quoi est égal le temps caractéristique τ en fonction de la constante radioactive ? du temps de demi-vie ?
- (10) Que peut-on dire de $N(8t_{1/2})$? Quelle conséquence sur les datations radioactives ?

Dans une conférence de l'AGU (American Geophysical Union) qui a eu lieu en 2012 à Singapour (vidéo youtube <https://www.youtube.com/watch?v=QbdH311UjPQ>), des chercheurs concluent que « des pourcentages significatifs de ^{14}C ont été mesurés dans de nombreux fossiles de dinosaures, ambres, morceaux de bois, diamants datés officiellement à des âges allant de dizaines à des centaines de millions d'années. Cette quantité de ^{14}C est semblable à celle trouvée dans les fossiles de mammoth, ours des cavernes, tigres-sabre, rhinocéros . . . Certains restes de dinosaures sont momifiés et non fossilisés. »

- (11) Que peut-on conclure de ces observations sachant que le carbone 14 est un émetteur β^- dont le temps de demi-vie est de 5734 ans ?

En 2005, Schweitzer et ses collègues ont publiés dans le magazine scientifique *Science* un article *Soft-Tissue Vessels and Cellular Preservation in Tyrannosaurus rex* : ils ont coupé une patte de T-Rex, officiellement âgé de 68 millions d'années et ont prélevé dedans des tissus mous, du collagène et des globules rouges !



Drawing: British Geological Survey (BGS), (c)NERC

Dans l'article *Preserving the unpreservable : a lost world rediscovered at Christian Malford, UK* du journal scientifique *Geology today*, volume 24, numéro 3, 2008, Wilby et ses collaborateurs ont prélevé dans des calamars fossiles (image de gauche) dont l'âge officiel est 150 millions d'années, de l'encre liquide qui a été mise dans un crayon plume à réservoir ; crayon qui a servi à faire le dessin de droite ! Les muscles et certains tissus sont encore mous. Et ce, dans plusieurs endroits différents d'Angleterre !

- (12) Est-ce logique ?

Exercice 5 Désintégrations radioactives

- (1) ^{238}U se désintègre en émettant une particule α . Ecrire son équation de désintégration. Désintégration spontanée ou provoquée ?
- (2) $^{235}\text{U} + \frac{1}{0}\text{n} \longrightarrow \frac{140}{54}\text{Xe} + 2\frac{1}{0}\text{n} + \frac{A}{Z}\text{X}$. Déterminer les valeurs manquantes. Désintégration spontanée ou provoquée ?

Exercice 6 Diagramme NZ

La liste des isotopes pour faire cette activité (beaucoup trop longue pour être imprimée) est disponible à l'adresse

<http://infogl.free.fr/vaugelas/ELEVES/doc/listeNucleus.html>

Il a été proposé de comprendre les différents types de désintégrations comme étant liés

- soit à un excès de neutron par rapport aux protons
- soit à un excès de proton par rapport aux neutrons
- soit à un excès de nucléon

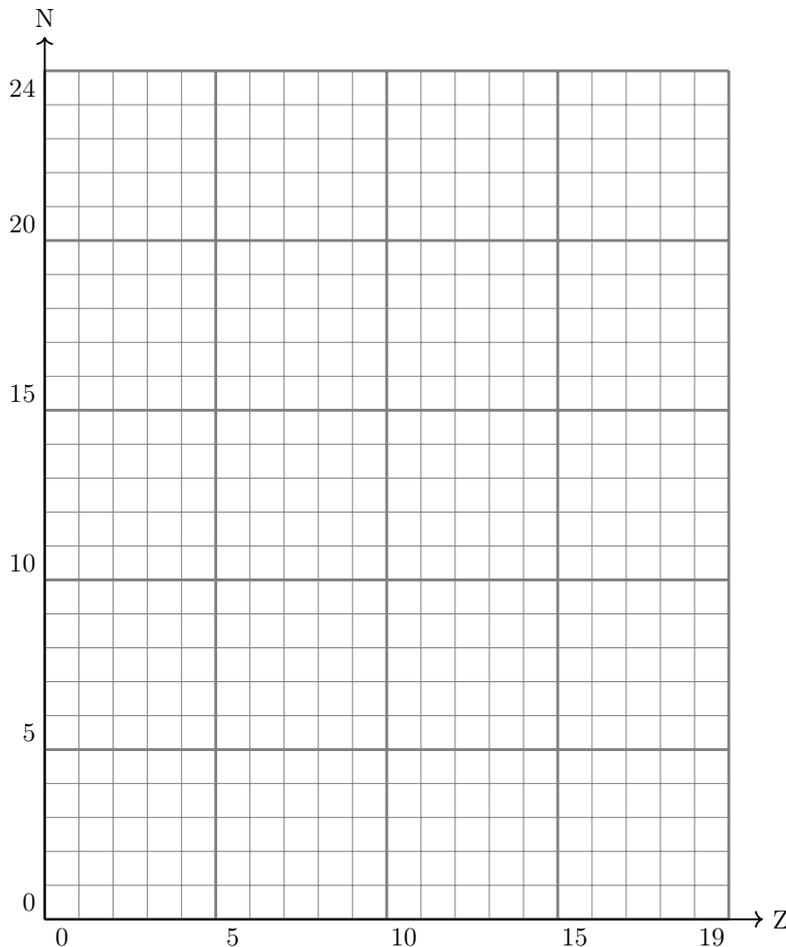
Le but de cette activité est de comprendre pourquoi. Les diagrammes à remplir ont été mis sur la page d'entête du chapitre.

(1) Aller à l'adresse web indiquée ci-dessus et compléter les deux portions données ci-après du diagramme NZ.

- Hachurer ou colorier en rouge les cases des noyaux stables
- Noter « - » (ou en bleu) dans les cases pour les noyaux subissant une désintégration β^-
- « + » (ou en jaune) pour les noyaux subissant une désintégration β^+
- « α » (ou en vert) pour les noyaux subissant une désintégration α

Vallée de la stabilité

- (2) D'après vos portions du diagramme NZ, expliquer ce qu'est la *vallée de la stabilité*.
- (3) Comment peut-on comprendre la radioactivité β^- ?
- (4) Comment peut-on comprendre la radioactivité β^+ ?
- (5) Comment peut-on comprendre la radioactivité α ?
- (6) Quelle règle simple peut-on retenir pour $Z \leq 20$ pour qualifier les noyaux stables ?



Désintégration dans le diagramme NZ

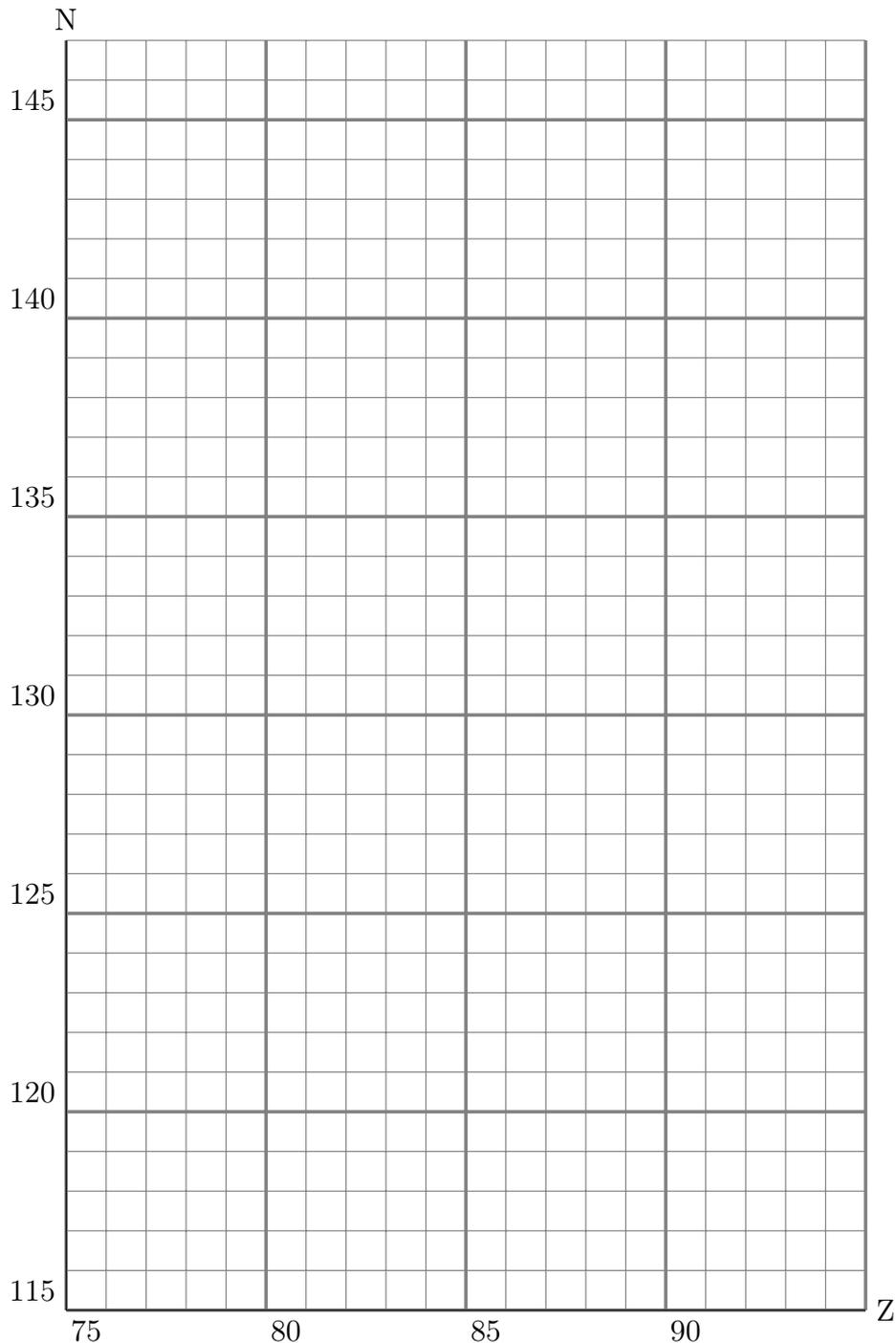
(7) Choisir un noyau subissant une désintégration α . Quel est le noyau fils obtenu ? Représenter la désintégration par une flèche sur le diagramme NZ partant du noyau père et arrivant au noyau fils. Qu'est-ce qui changerait si on avait pris un autre noyau ? Représenter une autre désintégration α .

(8) Faire de même pour une désintégration β^- .

(9) Faire de même pour une désintégration β^+ .

Chaîne de désintégration

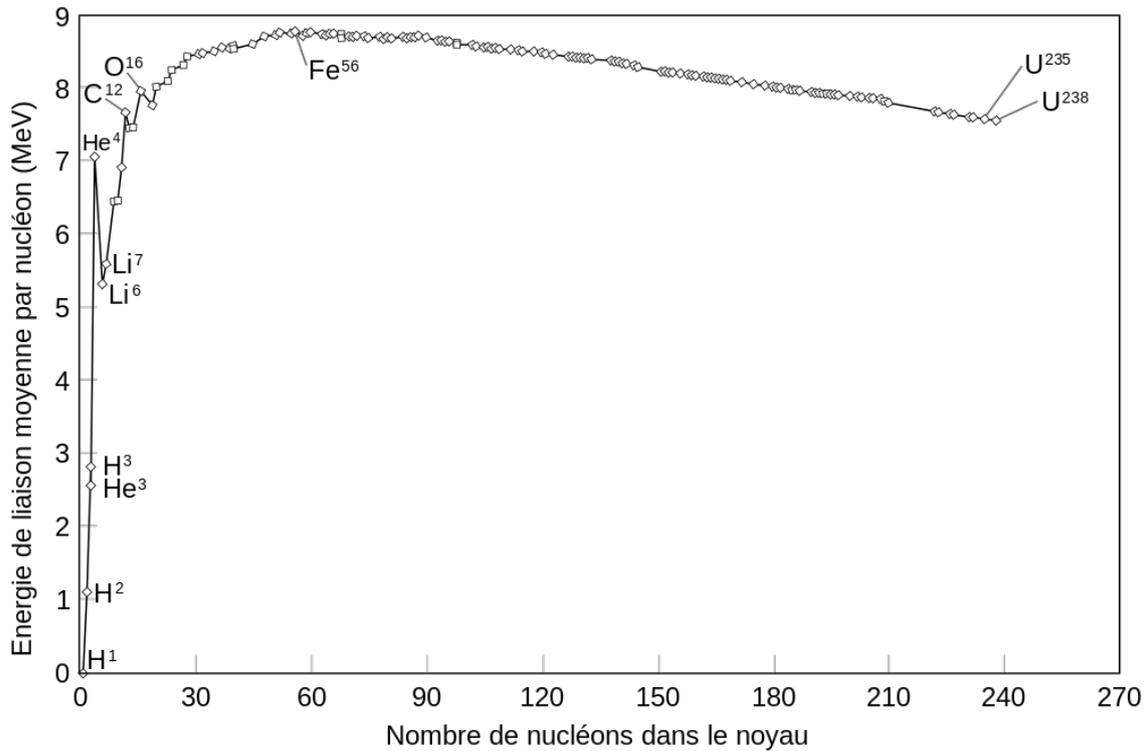
(10) On considère $^{238}_{92}\text{U}$. Trouver son mode de désintégration dans la liste des isotopes, puis déterminer la chaîne des noyaux radioactifs. Quand il y a plusieurs modes de désintégration possibles, on ne prendra en compte que ceux dont le pourcentage est supérieur à 0.01%. La chaîne de désintégration étudiée est celle de l'uranium 238.



Exercice 7 Défaut de masse d'un noyau

Masse d'un noyau d'hélium	${}^4_2\text{He}$	6.6445×10^{-27} kg
Masse d'un proton seul	${}^1_1\text{p}$	1.6726×10^{-27} kg
Masse d'un neutron seul	${}^1_0\text{n}$	1.6749×10^{-27} kg

Energie de liaison	
${}^{238}\text{U}$	1802 MeV
${}^{56}\text{Fe}$	492 MeV
1 eV = 1.6×10^{-19} J	



Définitions :

- l'**énergie de liaison** E_l est l'énergie à fournir pour séparer les constituants d'un noyau.
- Lors d'une **fission**, un noyau lourd est cassé en noyaux plus légers.
- Lors d'une **fusion**, deux noyaux légers fusionnent pour donner un noyau plus lourd.
- La formation d'un noyau correspond à la réaction : $Zp + (A - Z)n \rightarrow {}^A_Z X$

- (1) Ecrire la réaction de formation de l'hélium ${}^4_2\text{He}$.
- (2) Calculer la masse totale des constituants séparés du noyau d'hélium.
- (3) Que constatez-vous ?
- (4) Quelle est la variation de masse Δm appelée **défaut de masse** ?
- (5) Faut-il apporter ou non de l'énergie pour former le noyau d'hélium à partir de ces constituants séparés ? pour casser le noyau d'hélium ?
- (6) Quelle est l'énergie de liaison du noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$?
- (7) Est-ce que les énergies de liaison de ${}^{238}\text{U}$ et ${}^{56}\text{Fe}$ sont cohérentes avec la courbe ?
- (8) Où se situent les noyaux les plus stables sur la courbe ?
- (9) Situer sur les courbes la zone où il peut y avoir fusion et la zone où il peut y avoir fission.
- (10) Pourquoi est-ce que la fusion finit par ne plus être possible ?
- (11) Est-ce qu'une réaction nucléaire conserve la masse ?
- (12) Que devient la masse manquante ?
- (13) Quelle grandeur est conservée par une réaction nucléaire, si ce n'est pas la masse ?

Exercice 8 Energie libérée par une réaction nucléaire

Particule	masse (en 10^{-27} kg)
${}^1_0\text{n}$	1.675
${}^2_1\text{H}$	3.344
${}^3_1\text{H}$	5.007
${}^4_2\text{He}$	6.645
${}^{235}_{92}\text{U}$	390.220
${}^{140}_{54}\text{Xe}$	232.298
${}^A_Z\text{X}$	155.917

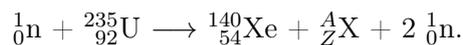
Fusion nucléaire

Un noyau de deutérium ${}^2_1\text{H}$ fusionne avec un noyau de tritium ${}^3_1\text{H}$ pour donner un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ et un neutron.

- (1) En représentant un neutron par \bullet et un proton par \circ , représenter la réaction de fusion.
- (2) Qu'est-ce qui reste inchangé, et donc se conserve, dans cette réaction nucléaire ?
- (3) Calculer la masse des « produits » de la fusion.
- (4) Calculer la masse des « réactifs » de la fusion.
- (5) Calculer la variation de masse.
- (6) Déterminer l'énergie libérée par cette fusion en joule (J). Puis en eV.
- (7) Quelle est la charge des deux noyaux qui fusionnent ? Comment peut-on les qualifier ?
- (8) La fusion nécessite un apport d'énergie pour rapprocher les noyaux. Pourquoi ?

Fission nucléaire

On peut représenter la fission de l'uranium 235 sous le bombardement d'un neutron par :



- (9) Identifier le noyau ${}^A_Z\text{X}$
- (10) Calculer la variation de masse de la fission.
- (11) Déterminer l'énergie libérée par la fission en joule (J) puis en eV.
- (12) Comparer avec l'énergie libérée par la fusion du deutérium et du tritium. Que peut-on en conclure ?