

Tableau des capacités exigibles par exercice

Capacité exigible	5 minutes chrono et QCM	Exercices résolus	Exercices rapides	Appliquer	S'entraîner	Objectif Première
Citer des exemples de changements d'état physique de la vie courante et dans l'environnement.		12, 37	18	19, 20		
Établir l'écriture d'une équation pour un changement d'état.	3, 7, 33		15, 16, 17	19, 26, 28, 29, 32		
Distinguer fusion et dissolution.	8			20, 22		
Identifier le sens du transfert thermique lors d'un changement d'état et le relier au terme exothermique ou endothermique.	4, 6, 9	12, 37	23, 24	26, 27, 28, 29, 31, 32	40, 41, 42	44
Exploiter la relation entre l'énergie transférée lors d'un changement d'état et l'énergie massique de changement d'état de l'espèce.	10, 11, 34, 35, 36	13, 37, 38	25	30, 31, 32	39, 40, 43	44
Relier l'énergie échangée à la masse de l'espèce qui change d'état.	5				43	45
✓MATHS Utiliser une grandeur quotient pour déterminer le numérateur ou le dénominateur.	11, 35, 36	13, 37, 38		30, 31, 32	39, 40	44
✓MESURE ET INCERTITUDES Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type.					43	
✓MESURE ET INCERTITUDES Évaluer qualitativement la distribution d'une série de mesures indépendantes.					43	
✓NUMÉRIQUE Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur.					43	
✓NUMÉRIQUE Écrire avec un nombre adapté de chiffres significatifs le résultat d'une mesure.						45
✓NUMÉRIQUE Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.					43	45

Exercices 1 à 11

Corrigés dans le manuel.

12 Identifier le sens d'un transfert thermique APPLICATION

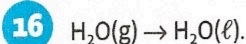
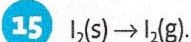
- La transformation de l'eau est exothermique.
- Le milieu extérieur reçoit de l'énergie par transfert thermique.

13 Calculer l'énergie échangée APPLICATION

$$\ell_{\text{fus}} = \frac{Q}{m}, \text{ donc } Q = \ell_{\text{fus}} \times m$$

$$\text{A.N. : } Q = 63,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \times 15 \times 10^{-3} \text{ kg} = 9,6 \times 10^{-1} \text{ kJ} = 9,6 \times 10^2 \text{ J.}$$

14 ORAL Le support doit permettre de visualiser les entités chimiques. L'état gazeux est dispersé (entités chimiques éloignées les unes des autres) et désordonné. Les états solide et liquide sont condensés (distance entre les entités du même ordre de grandeur que la taille de ces entités). L'état solide est plus ordonné que l'état liquide (les entités se déplacent moins facilement les unes par rapport aux autres ; dans un solide cristallin, les entités sont régulièrement disposées).



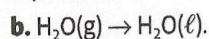
17 Il s'agit de la condensation.

18 Exemples de fusion : fusion de la glace (glaçons dans une boisson ; glaciers ; banquises ; verglas, etc.) ou de la neige ; fusion du beurre ou du chocolat.

Exemples de liquéfaction : fabrication « gaz liquéfié » en bouteilles ; transformation des nuages ou du brouillard ; formation de buée ; formation de la rosée.

19 Identifier un changement d'état

a. Lors de la formation d'un nuage, l'eau est initialement à l'état gazeux. Elle est à l'état liquide dans l'état final. Il s'agit d'une liquéfaction.



c. On peut citer la formation de rosée ou de buée sur une paroi froide.

Il est intéressant d'appliquer le formalisme de la physique et d'identifier précisément le système étudié sur un exemple de la vie courante.

20 Analyser une expérience

Cet exercice permet de réinvestir la conclusion de la vidéo débat proposée en début de ce chapitre.

Lors de cette expérience, une seule espèce chimique est présente dans chacun des béchers (l'eau pour le bécher contenant les glaçons et le saccharose pour le bécher contenant le sucre). Aucune espèce chimique ne peut jouer le rôle de solvant : on ne peut pas observer de dissolution.

Dans le bécher contenant les glaçons, on observe un changement d'état (fusion), car la température est supérieure à la température de fusion de l'eau à cette pression (0 °C) : l'eau, initialement à l'état solide, est à l'état liquide dans l'état final. Les glaçons « fondent ». Dans le bécher contenant le sucre, aucun changement d'état n'est observé, car la température est inférieure à la température de fusion du saccharose (186 °C).

Pour illustrer la dissolution, on reprend les deux mêmes béchers en ajoutant cette fois l'eau tiède dans les béchers et en agitant. On observe une transformation physique dans les deux béchers. Dans le bécher avec les glaçons, une seule espèce chimique est présente : le changement d'état observé ne peut pas être une dissolution ; il s'agit à nouveau de la fusion de l'eau. Dans le bécher avec le sucre, deux espèces chimiques sont présentes, dont une qui peut servir de solvant (eau). L'état final est un mélange homogène de ces deux espèces. Le changement d'état observé est une dissolution.

21 In english please

a. Le *liquid oxygen* n'est pas une espèce chimique. L'espèce chimique considérée ici est le dioxygène O_2 . Cette espèce chimique peut se trouver à l'état liquide ou à l'état gazeux (ou solide).

b. À l'hôpital, le dioxygène est stocké à l'état liquide, puis respiré à l'état gazeux par les patients. Le changement d'état est donc la vaporisation.

22 Distinguer fusion et dissolution

Corrigé dans le manuel.

Le banc de Kofler est fréquemment utilisé au lycée pour identifier les espèces chimiques par la mesure de leur température de fusion à pression atmosphérique.

23 **ORAL** *Le support visuel doit montrer la distinction entre le système et le milieu extérieur. Une flèche permet de visualiser le sens du transfert thermique entre le système et le milieu extérieur.*

24 Les trois changements d'état endothermiques sont la fusion, la vaporisation et la sublimation (le système qui change d'état reçoit de l'énergie).

On peut faire remarquer aux élèves que microscopiquement, il s'agit des trois changements d'état qui correspondent à une transformation d'un état ordonné à un état moins ordonné du système.

25 L'énergie massique de changement d'état ℓ est une grandeur quotient définie par : $\ell = \frac{Q}{m}$.

Q est le transfert thermique d'énergie lors du changement d'état. m est la masse du système qui change d'état.

Unités S.I. : ℓ en $J \cdot kg^{-1}$; Q en joule (J) ; m en kilogramme (kg).

26 Caractériser un changement d'état

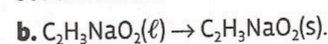
a. L'espèce chimique qui change d'état est l'eau.

b. $H_2O(g) \rightarrow H_2O(l)$. L'eau, initialement à l'état gazeux, est à l'état liquide dans l'état final.

c. La liquéfaction est un processus exothermique.

27 Caractériser un transfert thermique

a. Dans l'état initial, l'éthanoate de sodium est liquide. Il est à l'état solide dans l'état final. Le changement d'état subi est la solidification.



c. Ce changement d'état est exothermique. Lors du changement d'état, le système chimique qui change d'état cède de l'énergie au milieu extérieur par transfert thermique. Ce transfert thermique permet de se réchauffer les mains.

28 Distinguer transformation endothermique et exothermique

Par temps froid ($\theta < \theta_{fus}$), la cire contenue dans les capsules subit une solidification. Ce processus exothermique conduit à un transfert thermique du système qui change d'état (cire) vers l'extérieur (corps) et permet de réchauffer la personne qui porte le tee-shirt.

Par temps chaud ($\theta > \theta_{fus}$), la cire contenue dans les capsules subit une fusion. Ce processus endothermique conduit à un transfert thermique de l'extérieur (corps) vers le système qui change d'état (cire) et permet de rafraîchir la personne qui porte le tee-shirt.

29 Utiliser une relation

a. $1 \text{ GJ} = 10^9 \text{ J}$, donc $Q = 7,3 \text{ GJ} = 7,3 \times 10^9 \text{ J}$.

b. $\mathcal{E} = \mathcal{P} \times \Delta t = 900 \times 10^6 \text{ W} \times 10 \text{ s} = 9,0 \times 10^9 \text{ J}$.

Les valeurs des deux énergies sont du même ordre de grandeur. Il faut consommer toute l'énergie électrique fournie par un réacteur de centrale thermique nucléaire pendant environ 10 s pour réaliser la fusion du zinc contenu dans le bain de galvanisation. La fusion est un processus qui consomme énormément d'énergie.

c. L'énergie massique de changement d'état est une grandeur quotient définie par : $\ell_{\text{fus}} = \frac{Q}{m}$.

Q est l'énergie échangée lors du changement d'état et m la masse de l'espèce qui change d'état.

$Q = 7,3 \times 10^9 \text{ J}$; $m = 6,6 \text{ t} = 6,6 \times 10^3 \text{ kg}$.

Donc :

$$\ell_{\text{fus}} = \frac{7,3 \times 10^9 \text{ J}}{6,6 \times 10^3 \text{ kg}} = 1,1 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

30 Retour sur l'ouverture du chapitre

S'AUTOÉVALUER

Corrigé dans le manuel.

31 Distinguer puissance et énergie

a. En utilisant l'aide méthodologique : $Q = m \times \ell_{\text{fus}}$.

$m = 150 \text{ g} = 0,150 \text{ kg} = 150 \times 10^{-3} \text{ kg}$.

$Q = 150 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 365 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 5,48 \times 10^1 \text{ kJ} = 5,48 \times 10^4 \text{ J}$.

Pour que les élèves perçoivent de manière plus concrète ce que représente une telle quantité d'énergie, on détermine dans la question suivante la durée de fonctionnement d'un dispositif de la vie courante (four micro-ondes) permettant d'obtenir la même quantité d'énergie.

Lors de ce calcul, les élèves réinvestissent la notion de puissance, introduite au collège.

b. En utilisant les données : $Q = \mathcal{P} \times \Delta t$, donc : $\Delta t = \frac{Q}{\mathcal{P}}$.

$$\Delta t = \frac{5,48 \times 10^4 \text{ J}}{800 \text{ W}} = 6,86 \times 10^1 \text{ s}.$$

L'énergie nécessaire pour réaliser la fusion de 150 g de titane correspond à l'énergie fournie par un four micro-ondes de 800 W en environ une minute.

32 Déterminer le sens d'un transfert thermique

a. La vaporisation est un processus endothermique car le système qui change d'état (ici le liquide déposé sur la peau du sportif) reçoit de l'énergie par transfert thermique.

b. Cette énergie est fournie par le corps du sportif. Le transfert thermique s'effectue, au niveau de la peau, du corps du sportif vers le liquide qui se vaporise. Cela explique la sensation de froid éprouvée par le patient.

c. L'énergie massique de changement d'état est une grandeur quotient définie par : $\ell_{\text{vap}} = \frac{Q}{m}$.

En multipliant les deux membres de l'égalité par m , on obtient :

$$Q = m \times \ell_{\text{vap}} = 20 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 425 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 8,5 \text{ kJ} = 8,5 \times 10^3 \text{ J}.$$

Cet exercice permet de montrer aux élèves que les deux relations

($\ell_{\text{vap}} = \frac{Q}{m}$ et $Q = \ell_{\text{vap}} \times m$) ne sont pas indépendantes. Un travail

mathématique simple permet de passer de l'une à l'autre. Ainsi, il suffit de retenir une seule de ces deux relations.

33 Apprendre à rédiger

a. L'espèce chimique qui change d'état est l'eau, de formule chimique H_2O . L'eau, initialement à l'état liquide, se trouve à l'état solide dans l'état final : le changement d'état est une solidification. $\text{H}_2\text{O}(\ell) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{s})$.

b. Lors d'une solidification, l'espèce chimique qui change d'état cède de l'énergie : le processus est donc exothermique. L'échange d'énergie se produit entre l'eau des glaçons et l'air contenu dans le congélateur (maintenu à la température de -18°C).

c. L'énergie massique de changement d'état est une grandeur quotient définie par : $\ell = \frac{Q}{m}$.

En multipliant chaque membre de l'égalité par m , on obtient : $m \times \ell = Q$.

En divisant chaque membre de l'égalité par ℓ , on obtient : $m = \frac{Q}{\ell}$.

$$\ell = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 334 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

$$m = \frac{1,2 \times 10^5 \text{ J}}{334 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}} = 3,6 \times 10^{-1} \text{ kg}.$$

Exercices 34 à 37

Corrigés dans le manuel.

38 Le lac de Gérardmer

Corrigé dans le manuel.

Cet exercice permet à l'élève d'apprendre à exploiter la relation entre le transfert thermique, la masse qui change d'état et l'énergie massique de ce changement d'état.

Il demande aussi explicitement à l'élève de schématiser donc de conceptualiser la situation en identifiant le système étudié, son environnement et le sens du transfert thermique.

39 Fonte des glaciers APPLICATION

1. Volume du glacier en 1911 : $V_1 = S_1 \times h_1$ avec $S_1 = 90 \text{ ha} = 90 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Volume actuel du glacier : $V_2 = S_2 \times h_2$ avec $S_2 = 40 \text{ ha} = 40 \times 10^4 \text{ m}^2$.

$h_1 = h_2 + \Delta h$ avec $\Delta h = 75 \text{ m}$ et $h_2 = 50 \text{ m}$.

Le volume de glace perdu est : $V_{\text{perdu}} = V_1 - V_2 = S_1 \times h_1 - S_2 \times h_2$
 $= S_1 \times (h_2 + \Delta h) - S_2 \times h_2$.

$$\begin{aligned} \text{A.N. : } V_{\text{perdu}} &= 90 \times 10^4 \text{ m}^2 \times (50 + 75) \text{ m} - 40 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 50 \text{ m} \\ &= [90 \times (50 + 75) - 40 \times 50] \times 10^4 \text{ m}^3 \\ &= 9250 \times 10^4 \text{ m}^3 = 9,3 \times 10^7 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2. La masse de glace qui a changé d'état est donc : $m = \rho \times V_{\text{perdu}}$.

$$\text{A.N. : } m = 9,2 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 9,3 \times 10^7 \text{ m}^3 = 8,5 \times 10^{10} \text{ kg}.$$

3. L'énergie Q échangée par transfert thermique est $Q = m \times \ell_{\text{fus}}$.

$$\begin{aligned} \text{A.N. : } Q &= 8,5 \times 10^{10} \text{ kg} \times 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 8,5 \times 10^{10} \text{ kg} \times 334 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \\ &= 2,8 \times 10^{16} \text{ J}. \end{aligned}$$

40 Asepsie du bloc opératoire

a. $\mathcal{P} = \frac{Q}{\Delta t}$.

b. Lorsque l'eau du réservoir a atteint la température de vaporisation, toute l'énergie électrique sert à vaporiser l'eau. La relation entre l'énergie reçue par transfert thermique et la masse d'eau vaporisée est : $Q = m \times \ell_{\text{fus}}$. Donc $m = \frac{Q}{\ell_{\text{fus}}} = \frac{\mathcal{P} \times \Delta t}{\ell_{\text{fus}}}$.

D'après les données, pour une pression de 5 bar et une température de 150 °C, $\ell_{\text{fus}} = 2107 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

La durée de fonctionnement considérée est $\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$.

A.N. : $m = \frac{2800 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \times 60 \text{ s}}{2107 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} = \frac{2800 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \times 60 \text{ s}}{2107 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}} = 0,080 \text{ kg}$.

Le générateur produit 80 g de vapeur par minute.

41 Dégivrage

a. On a $\mathcal{E} = U \times I \times \Delta t$ et $U = R \times I$, ou encore $I = \frac{U}{R}$.

Il vient $\mathcal{E} = U \times \frac{U}{R} \times \Delta t = \frac{U^2}{R} \times \Delta t$.

b. Le volume de la couche de givre assimilée à un parallélépipède rectangle est : $V = A \times e$.

Sa masse est $m = \rho \times V = \rho \times A \times e$.

A.N. : $m = 9,2 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 1,0 \text{ m}^2 \times 2,0 \text{ mm}$
 $= 9,2 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 1,0 \text{ m}^2 \times 2,0 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,8 \text{ kg}$.

c. Le givre est éliminé par fusion ; devenu liquide, il peut être balayé par les essuie-glaces. La fusion est une transformation endothermique. Le transfert thermique a lieu du fil électrique vers le givre.

d. $\ell = \frac{Q}{m}$, donc $Q = \ell \times m$.

A.N. : $Q = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \times 1,8 \text{ kg} = 6,1 \times 10^2 \text{ kJ} = 6,1 \times 10^5 \text{ J}$.

e. L'énergie thermique est égale à l'énergie électrique reçue par le fil, soit $Q = \mathcal{E} = \frac{U^2}{R} \times \Delta t$.

Donc : $\Delta t = \frac{R \times Q}{U^2}$.

A.N. : $\Delta t = \frac{1,5 \times 6,1 \times 10^5}{12^2} = 6,4 \times 10^3 \text{ s}$.

$\Delta t = 6,4 \times 10^3 \text{ s} = 1 \text{ h } 47 \text{ min}$.

42 Cristaux liquides

a. 145 °C et 180 °C sont des températures de changement d'état.

b. $65 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} = \frac{65 \text{ cal}}{1 \text{ g}} = \frac{65 \times 4,18 \text{ J}}{10^{-3} \text{ kg}} = \frac{271,7 \times 10^3 \text{ J}}{1 \text{ kg}} = \frac{271,7 \text{ kJ}}{1 \text{ kg}}$
 $= 271,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

$7 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} = \frac{7 \text{ cal}}{1 \text{ g}} = \frac{7 \times 4,18 \text{ J}}{10^{-3} \text{ kg}} = \frac{29,3 \times 10^3 \text{ J}}{1 \text{ kg}} = \frac{29,3 \text{ kJ}}{1 \text{ kg}} = 29,3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

c. Ces changements d'état sont des transformations endothermiques, comme la fusion.

d. Un oxymore est une figure de style qui consiste à juxtaposer deux termes contradictoires. « Cristal » évoque le solide qui est un état de la matière différent de liquide ; ainsi l'expression « cristal liquide » correspond bien à la juxtaposition de deux termes non pas contradictoires, mais incompatibles.

e. L'affichage numérique à cristaux liquides (LCD = liquid crystal device) utilise cette propriété.

f. Il s'agit de Pierre-Gilles de Gennes (prix Nobel de physique 1991).

Cet exercice permet à l'élève de s'entraîner à lire un texte afin de le traduire en données scientifiques. Il a aussi pour objectif de montrer aux élèves qu'il existe d'autres états de la matière que les états solide, liquide et gaz, et que cette catégorisation dont ils ont l'habitude est une simplification de la complexité de la matière.

43 Rafrâchir une boisson

DIFFÉRENCIATION

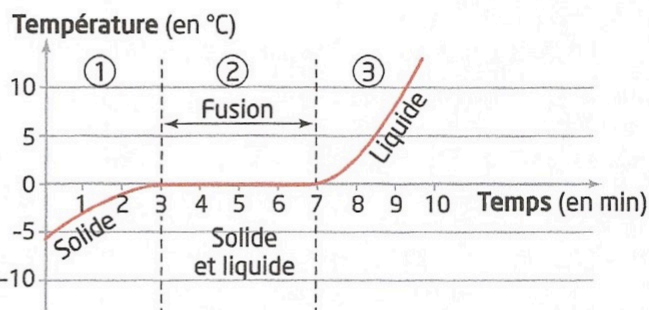
Aides en fin de manuel.

Cet exercice peut être traité en différenciation par le professeur : on peut demander aux élèves de retrouver les expressions de Q_G et Q_E à partir de l'expression générale $Q = m \times c \times \Delta\theta$, où c est la capacité thermique massique :

$c_s = 2,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot (^\circ\text{C})^{-1}$;

$c_l = 4,18 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot (^\circ\text{C})^{-1}$.

1. a. Dans une première étape, la température des glaçons augmente au cours du temps jusqu'à ce qu'elle atteigne la température de fusion de l'eau. Débute alors la deuxième étape au cours de laquelle les glaçons fondent à température constante. Lorsque les glaçons ont totalement fondu débute la troisième étape au cours de laquelle l'eau fondue se réchauffe : sa température augmente jusqu'à la température finale.



Cette représentation graphique n'est pas explicitement demandée dans l'exercice.

b. Les glaçons changent d'état de l'état solide à l'état liquide, il s'agit d'une fusion.

c. La fusion est une transformation endothermique : les glaçons reçoivent de l'énergie par transfert thermique. Celui-ci a lieu de l'eau liquide vers les glaçons.

2. a. L'énergie reçue par transfert thermique par les glaçons est utilisée pour :

- réchauffer les glaçons jusqu'à $\theta_{\text{fus}} = 0^\circ\text{C}$;
 - faire fondre les glaçons à $\theta_{\text{fus}} = 0^\circ\text{C}$;
 - réchauffer l'eau fondue de 0°C jusqu'à la température finale.
- En fonction de la température finale du système, ces étapes sont ou ne sont pas observées.

b. Q_E est l'énergie cédée par l'eau liquide ; lorsque θ_f augmente, Q_E diminue ; en effet plus la température finale est proche de la température initiale de l'eau liquide, moins celle-ci a cédé d'énergie aux glaçons par transfert thermique.

c. Q_G est l'énergie reçue par les glaçons, puis par la glace fondue : lorsque θ_f augmente, la glace fondue est de plus en plus chauffée, donc elle reçoit davantage d'énergie par transfert thermique, Q_G augmente. Q_G est bien une fonction croissante de θ_f .

3. a. Sur le graphique, une seule courbe est décroissante : elle correspond à Q_E en fonction de θ_f .

D'après les expressions de Q_G fournies dans l'énoncé, le transfert thermique Q_G reçu par les glaçons est proportionnel à leur masse m_G . On identifie donc que si une courbe est située au-dessus d'une autre, c'est qu'elle correspond à une masse de glaçons plus élevée, soit :

- courbe 1 : $m_G = 40$ g ;
- courbe 2 : $m_G = 30$ g ;
- courbe 3 : $m_G = 20$ g ;
- courbe 4 : $m_G = 10$ g.

b. On choisit $m_G = 20$ g, donc on s'intéresse à la courbe 3. Comme l'énergie thermique reçue par les glaçons puis la glace fondue est égale à l'énergie thermique cédée par l'eau liquide, on détermine θ_f à l'intersection des courbes 2 et 5 : $\theta_f = 15^\circ\text{C}$.

c. On cherche quelle est la courbe qui croise la courbe 5 (celle qui représente Q_E) pour $\theta_f = 19,5^\circ\text{C}$; on constate qu'il s'agit de la courbe 4, associée à $m_G = 10$ g. Il faut 10 g de glaçons pour refroidir l'eau liquide jusqu'à $19,5^\circ\text{C}$.

44 *** Énergie massique de fusion de la glace

Corrigé dans le manuel.

$\Delta\theta$ est la variation de température du système, donc sa valeur est négative. Pour éviter d'algébriser les transferts thermiques, nous avons donc introduit l'expression $Q_1 = -900 \times \Delta\theta$. Il nous semble en effet important d'insister sur la convention liée à la notation Δ pour l'évolution de toute grandeur physique G : $\Delta G = G_f - G_i$, où G_f et G_i sont respectivement les valeurs finale et initiale de la grandeur G .

45 Performance énergétique d'une patinoire

1. a. Le changement d'état qui a lieu pour l'ammoniac au niveau de l'évaporateur est une vaporisation.

b. Il s'agit d'un changement d'état endothermique.

c. Le système qui est en contact avec l'ammoniac au niveau de l'évaporateur est la glace de la patinoire, c'est donc le système qui échange de l'énergie avec l'ammoniac.

d. Le transfert d'énergie s'effectue de la glace de la patinoire vers l'ammoniac.

2. a. Le changement d'état qui a lieu pour l'ammoniac au niveau du condenseur est une liquéfaction.

b. Il s'agit d'un changement d'état exothermique.

c. L'intérêt de ce transfert d'énergie est que l'énergie cédée par l'ammoniac est récupérée, par exemple pour chauffer l'eau chaude sanitaire.

3. a. On note $e = 4,0$ cm l'épaisseur de glace. Il y a deux pistes de longueur $L = 60$ m et de largeur $d = 30$ m. Donc le volume V de glace est :

$$V = 2 \times e \times L \times d.$$

$$\text{A.N. : } V = 2 \times 4,0 \text{ cm} \times 60 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 2 \times 4,0 \times 10^{-2} \text{ m} \times 60 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 1,4 \times 10^2 \text{ m}^3.$$

On en déduit la masse m de glace : $m = \rho \times V$.

$$\text{A.N. : } m = 9,2 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 1,4 \times 10^2 \text{ m}^3 = 1,3 \times 10^5 \text{ kg}.$$

b. L'énergie échangée lors du changement d'état de la glace est : $Q = m \times \ell$.

$$\text{A.N. : } Q = 1,325 \times 10^5 \text{ kg} \times 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 4,4 \times 10^7 \text{ kJ} = 4,4 \times 10^{10} \text{ J}.$$

c. d'après les données : $\mathcal{E} = \mathcal{P} \times \Delta t$, soit $Q = \mathcal{P} \times \Delta t$.

$$\text{Il vient } \Delta t = \frac{Q}{\mathcal{P}}.$$

$$\text{A.N. : } \Delta t = \frac{4,4 \times 10^{10} \text{ J}}{1\,050 \text{ kW}} = \frac{4,4 \times 10^{10} \text{ J}}{1\,050 \times 10^3 \text{ W}} = 4,2 \times 10^4 \text{ s}.$$

$$\text{Cette durée correspond à } \Delta t = 4,2 \times 10^4 \text{ s} = \frac{4,2 \times 10^4 \text{ s}}{3\,600 \text{ s} \cdot \text{h}^{-1}} = 12 \text{ h}.$$

Cette durée est d'un ordre de grandeur plausible.

$$\text{d. d'après les données : } \text{COP} = \frac{Q}{W_e}.$$

$$\text{Il vient } W_e = \frac{Q}{\text{COP}}.$$

$$\text{A.N. : } W_e = \frac{4,4 \times 10^{10} \text{ J}}{2,2} = 2,0 \times 10^{10} \text{ J}.$$

W_e est l'énergie électrique consommée par le système de réfrigération présenté dans le document. Q est le transfert thermique de l'eau vers l'ammoniac lors de la solidification.

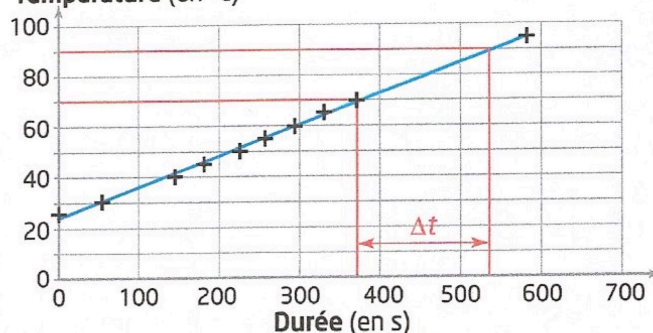
Le COP permet d'estimer l'économie d'énergie réalisée ici par rapport à un circuit de refroidissement entièrement électrique. Ici un COP de 2,2 correspond à environ 50 % d'économie d'énergie électrique.

46 Détermination de l'énergie massique de vaporisation de l'eau

→ Fichiers téléchargeables sur le site sirius.nathan.fr.

1. a. Montée en température de l'eau

Température (en $^\circ\text{C}$)



b. On lit $\Delta t = 165$ s.

$$\text{c. } \mathcal{P} = 4180 \times m \times \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = 4180 \times 0,100 \times \frac{20}{165} = 50,7 \text{ W}.$$

2. Vaporisation de l'eau

a. On utilise la relation $Q_v = \mathcal{P} \times \Delta t_v$ pour déterminer le transfert thermique nécessaire pour vaporiser une masse m_v , avec \mathcal{P} puissance du système de chauffage déterminée à la question ci-dessus. Voir des exemples de résultats page suivante.

Masse recueillie (g)	Q (en J)
0,4	0
0,6	354,9
0,9	1470,3
1,0	1825,2
2,0	3751,8
3,0	6793,8
6,4	16122,6
7,0	17440,8
8,0	20026,5
9,0	23220,6
10	25502,1
11	28189,2
12	30724,2
13	33005,7
14	35895,6
15	39292,5
16,5	42283,8

Masse recueillie (g)	Q (en J)
17,1	43956,9
18,2	46745,4
19	48925,5
20	51156,3
21	54502,5
22,2	57544,5
23	59471,1
24	61752,6
25	64084,8
26	66417,0
27	69002,7
28	71689,8
29	74275,5
30	76861,2
31	79142,7
32	81931,2
33	84060,6

Masse recueillie (g)	Q (en J)
34	86899,8
35	89333,4
36	92020,5
37,5	95975,1
38	97191,9
39	99726,9
40	102566,1
41,2	105151,8
42	107027,7
43	109613,4
44	111894,9
45	114784,8
46	117522,6
47	120463,2
48	123708,0
49	126851,4
50	129437,1

Nous avons réalisé l'expérience sur une durée totale de 45 minutes environ, mais il est possible de mesurer la masse d'eau évaporée pendant 20 minutes.

On peut également choisir de mesurer la durée nécessaire pour faire varier la masse de 1,0 g, ce qui a été fait pour obtenir les valeurs données dans le tableau ci-dessus.

Le temps est mesuré en minutes et secondes, la conversion en secondes se fait très facilement, même pour un grand nombre de mesures, à l'aide du tableur.

L'origine des temps peut être redéfinie lors de l'apparition de la première goutte de liquide, mais ce n'est pas indispensable. En effet, cela n'aura d'effet que sur l'ordonnée à l'origine de la droite qui modélise le nuage de

points ; or, c'est le coefficient directeur de celle-ci qui permet d'obtenir l'énergie massique de vaporisation.

De la même manière, il n'est pas indispensable de tarer la balance ; la masse de l'erenmeyer (ou de l'éprouvette graduée suivant ce qui a été choisi), si elle est prise en compte, modifie l'ordonnée à l'origine de la droite, mais pas le coefficient directeur.

b. La modélisation du nuage de points conduit à une droite de coefficient directeur $a = 2575,6 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$.

D'après la définition de l'énergie massique de vaporisation

$$\ell = \frac{Q}{m}, \text{ on a } \ell_{\text{exp}} = 2575,6 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}.$$

Convertie dans la même unité que la valeur de référence, on obtient : $\ell_{\text{exp}} = 2575,6 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} = \ell_{\text{exp}} = 2575,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

La valeur expérimentale obtenue et la valeur de référence sont du même ordre de grandeur et assez proches. On peut considérer que les deux valeurs sont compatibles.



Cette expérience est simple à réaliser si le montage d'hydrodistillation est mis en place par le personnel technique du laboratoire. Il est nécessaire d'utiliser une balance branchée sur secteur pour éviter qu'elle s'éteigne lors de l'expérience.

Une autre façon de procéder est de mesurer le volume d'eau recueilli à l'aide d'une éprouvette graduée et d'utiliser pour les calculs la masse volumique de l'eau liquide. Ce procédé ne permet pas d'obtenir la masse avec autant de précision qu'avec une balance. En effet, la tolérance d'une éprouvette de 100 mL est $\pm 2 \text{ mL}$.

L'incertitude-type sur le volume est alors : $u(V) = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,2 \text{ mL}$, soit

$$\text{une incertitude-type sur la masse } u(m) = m \times \frac{u(V)}{V} = \rho_{\text{eau}} \times u(V) \\ = 1,000 \times 1,2 = 1,2 \text{ g}.$$

Alors que l'incertitude-type sur la mesure de la masse avec la balance est : $u(m) = \frac{0,05}{\sqrt{3}} = 0,03 \text{ g}$.

Corrigés des exercices

Tableau des capacités exigibles par exercice

Capacité exigible	5 minutes chrono et QCM	Exercices résolus	Exercices rapides	Appliquer	S'entraîner	Objectif Première
Identifier des isotopes	1, 5, 19	11, 33	13, 14, 15	16, 17, 18, 34	35, 36	37
Relier l'énergie convertie dans le Soleil et dans une centrale nucléaire à des réactions nucléaires	3, 4, 10, 30, 32		24	25, 26, 27, 28	36	
Identifier la nature physique, chimique ou nucléaire d'une transformation à partir de sa description ou d'une écriture symbolique modélisant la transformation	2, 6, 7, 8, 9, 31	12, 33	19, 20	21, 22, 23, 34	35, 36	

Exercices 1 à 10

Corrigés dans le manuel.

11 Identifier des isotopes APPLICATION

Isotopes :

- $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$ et $^{14}_6\text{C}$;
- $^{14}_7\text{N}$ et $^{15}_7\text{N}$;
- $^{16}_8\text{O}$ et $^{17}_8\text{O}$.

12 Identifier la nature d'une transformation APPLICATION

Les espèces chimique ne sont pas conservées, mais les éléments chimiques le sont : il s'agit d'une transformation chimique.

13 ORAL Vérifier que les termes protons, neutrons et élément chimique sont utilisés.

14 ^{125}Sb et ^{123}Sb sont des isotopes.

^{123}I et ^{125}I sont des isotopes.

Cet exercice permet de vérifier que les élèves ont bien compris que la notion d'isotope est reliée à celle d'élément chimique.

15 Les noyaux 1 et 3 sont isotopes. Les noyaux 2 et 4 également. Cet exercice peut être l'occasion de revoir les caractéristiques des composants d'un noyau atomique afin de comprendre les choix réalisés sur le schéma.

16 Reconnaître des isotopes

a.

Notation	Elément	A	Z	N
$^{12}_6\text{U}$	Uranium	237	92	145
$^{235}_{92}\text{U}$	Uranium	235	92	143
$^{40}_{19}\text{K}$	Potassium	40	19	21
$^{41}_{19}\text{K}$	Potassium	41	19	22
$^{52}_{24}\text{Cr}$	Chrome	52	24	28
$^{50}_{24}\text{Cr}$	Chrome	50	24	26

b. Il y a deux isotopes de l'uranium, deux isotopes du potassium et deux isotopes du chrome dans ce tableau.

Cet exercice permet de revoir les règles de calcul utilisées pour déterminer les composants d'un noyau à partir de sa représentation symbolique et inversement ; il peut être l'occasion de discuter la redondance de l'information entre le numéro atomique et le nom de l'élément chimique.

17 Exploiter un diagramme

a. Le protium et le deutérium sont des isotopes de l'élément hydrogène de numéro atomique $Z = 1$. Le protium est donc constitué uniquement d'un proton et le deutérium d'un proton et d'un neutron.

b. Il y a 11 % d'hydrogène en masse dans l'eau de mer, soit 110 kg pour une tonne d'eau de mer.

c. $\frac{0,03}{100} \times 110\,000 \text{ g} = 33 \text{ g}.$

Il y a bien 33 g de deutérium par tonne d'eau de mer.

Cet exercice a pour objectif d'aborder la notion de l'abondance isotopique. Il est l'occasion de travailler sur un diagramme et d'utiliser la proportionnalité.

18 Interpréter une expérience historique

a. Les nucléons sont responsables de la masse d'un atome ou d'un ion.

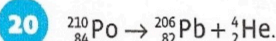
b. Le principe du spectrographe de masse est de dévier plus ou moins les ions en fonction de leur masse. Or, le néon étudié dans l'expérience laisse deux marques distinctes. Cela prouve bien que les ions, donc les atomes de néon n'ont pas tous la même masse, et qu'ils ont donc nécessairement des nombres de neutrons différents.

c. Le néon-20 est composé de 10 protons et 10 neutrons. Le néon-22 est composé de 10 protons et 12 neutrons.

d. Cela correspond à la masse moyenne d'un atome de néon dans la nature : il y a donc plus de néon-20 que de néon-22.

Cet exercice replace la notion d'isotope dans le contexte historique de sa découverte, assez récente. L'observation de l'image permet de discuter l'aspect expérimental de cette découverte.

19 **ORAL** Vérifier que ce qui est conservé et modifié pour chaque transformation est bien cité.



Savoir retrouver une équation de réaction nucléaire n'est pas spécifiquement au programme, mais pour déterminer cette équation, il suffit d'identifier, dans l'énoncé, les noyaux pères (assimilables aux réactifs) et les noyaux fils (produits), comme les élèves savent déjà le faire pour une équation de réaction dans le cas d'une transformation chimique.

21 Identifier la nature d'une transformation

Corrigé dans le manuel.

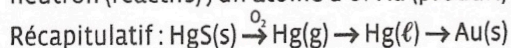
22 Apprendre à rédiger

En suivant l'aide méthodologique :

a. Transformation 1 : réaction du cinabre HgS(s) avec du dioxygène O_2 (réactifs) pour obtenir du mercure Hg(g) et du dioxyde de soufre SO_2 (produits).

Transformation 2 : baisser la température pour liquéfier le mercure. On obtient du mercure liquide Hg(l) .

Transformation 3 : bombarder un atome de mercure avec un neutron (réactifs) ; un atome d'or Au (produit) est formé.



b. Transformation 1 : chimique (modification de l'espèce chimique, mais conservation des éléments mercure, soufre et oxygène).

Transformation 2 : physique (modification de l'état physique et conservation de l'espèce chimique).

Transformation 3 : nucléaire (modification des noyaux et non conservation de l'élément chimique).

c. Cette question est l'occasion de travailler avec des ordres de grandeur.

Le procédé permet d'obtenir entre $1 \times 10^{-6} \text{ g}$ et $1 \times 10^{-5} \text{ g}$ d'or par seconde, soit de l'ordre de 1×10^{-3} à $1 \times 10^{-2} \text{ g}$ d'or par heure.

Pour obtenir un lingot, l'accélérateur doit donc fonctionner pendant près de 1 milliard d'heures. Cela revient à un coût du lingot supérieur à 1 milliard d'euros, puisque le fonctionnement de l'accélérateur coûte plusieurs milliers d'euros par heure. Cette technique n'est actuellement pas rentable d'un point de vue économique (et pas envisageable d'un point de vue temporel).

Lors de cet exercice, on peut revenir sur la vidéo débat. Les rêves des alchimistes sont effectivement réalisés sans magie. On peut « transmuter » des éléments et transformer du mercure en or. Mais même si techniquement cette possibilité existe, elle n'est pas utilisée, car pas du tout rentable.

23 Réactions nucléaires au cœur d'une géante rouge

S'AUTOÉVALUER

Corrigé dans le manuel.

Comme pour les autres exercices faisant intervenir des équations de réaction nucléaire, il s'agit uniquement d'identifier les noyaux père et fils, et de savoir la forme que doit prendre une équation de réaction nucléaire. Il est possible d'engager une discussion pour expliquer pourquoi l'atome de béryllium-8 doit être percuté rapidement afin d'évoquer la notion de stabilité d'un atome (notion étudiée dans le cadre de l'Enseignement scientifique de 1^{re}).

24 **ORAL** S'assurer que l'élève a compris que l'on convertit de l'énergie nucléaire sous différentes formes pour obtenir finalement de l'énergie électrique. Il peut être intéressant de demander à d'autres groupes de réaliser la même présentation pour différents types de centrale, afin de comparer les fonctionnements.

25 In english please

Corrigé dans le manuel.

26 Interpréter une énergie libérée

a. Le Soleil libère de l'énergie principalement sous forme d'énergie cinétique des particules créées et sous forme de rayonnement.

b. $\Delta m = \frac{E_{\text{libérée}}}{c^2}.$

A.N. : $\Delta m = \frac{3,9 \times 10^{26} \text{ J}}{(3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2} = 4,3 \times 10^9 \text{ kg}.$

Le Soleil perd $4,3 \times 10^9 \text{ kg}$ de matière par seconde.

Pour l'application numérique, on pourra préciser aux élèves que $1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

c. Il a perdu une masse $m = \Delta m \times t$ avec t , en secondes, l'âge du Soleil. Donc $m = 4,3 \times 10^9 \times 4,6 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 6,3 \times 10^{26} \text{ kg}.$

d. La masse perdue peut sembler importante ; cependant, elle ne représente que $\frac{6,3 \times 10^{26}}{1,99 \times 10^{30}} = 0,032 \%$ de la masse actuelle du Soleil.

Cette fraction perdue semble finalement très faible.

Mais attention, l'hypothèse selon laquelle l'énergie libérée depuis la formation du Soleil est constante est probablement erronée (voir les étapes de la formation d'une étoile dans l'Activité 1).

27 Comparer des valeurs d'énergie

- a. L'énergie est libérée sous forme d'énergie cinétique de particules créées.
- b. Une mole d'uranium libère $1,9 \times 10^{13}$ J. Une mole d'uranium ayant une masse $m = 235$ g. On calcule, par proportionnalité, qu'un gramme d'uranium libère une énergie $\mathcal{E}'_1 = \frac{1,9 \times 10^{13}}{235} = 8,1 \times 10^{10}$ J.

c. Cette question est en réalité une petite tâche complexe.

Reformulation de la question : quelle masse m_c de charbon faut-il pour libérer $\mathcal{E}'_1 = 8,1 \times 10^{10}$ J ?

1^{re} étape : déterminer l'énergie libérée par un gramme de charbon. Une mole de carbone ayant une masse $m = 12,0$ g, par proportionnalité, on calcule qu'un gramme de carbone libère une énergie $\mathcal{E}'_2 = \frac{240}{12} = 20$ kJ.

2^e étape : déterminer la masse de carbone nécessaire pour libérer $8,1 \times 10^{10}$ J.

$$\frac{\mathcal{E}'_1}{\mathcal{E}'_2} = \frac{8,1 \times 10^{10} \text{ J}}{20 \text{ kJ}} = \frac{8,1 \times 10^{10}}{20 \times 10^3 \text{ J}} = 6,8 \times 10^5.$$

Il faut donc $6,8 \times 10^5$ g, soit près de 700 kg de charbon pour libérer autant d'énergie qu'un gramme d'uranium.

Cet exercice est l'occasion de travailler l'ensemble des compétences de la démarche scientifique à travers une question plus ouverte, laissant l'élève libre dans la démarche à adopter. En cas de besoin, il peut être nécessaire d'apporter des pistes de résolution, en indiquant par exemple la reformulation de la question ou encore en précisant les deux étapes à suivre.

28 Retour sur l'ouverture du chapitre (ORAL)

Centrale	Inconvénients	Avantages
Thermique	Dégage des gaz à effet de serre, énergie libérée faible pour un gramme de combustible	Rapides à construire, bons rendements
Nucléaire à fission	Seulement « 85 ans de combustible » restant, l'exploitation produit des déchets dangereux	Centrales en état de fonctionnement actuellement, grande énergie libérée
Nucléaire à fusion	Centrales pas encore fonctionnelles, et on ne peut pas dire si elles le seront un jour. Coût très important du projet.	Énergie libérée plus élevée, « 1000 ans » de combustible, risques environnementaux et pour les êtres vivants plus faibles que pour les autres centrales.

Cet exercice est l'occasion d'organiser un débat dans la classe. Après avoir listé les avantages et les inconvénients de chaque centrale, la classe est séparée en plusieurs groupes de 3 ou 4 élèves.

Exercices 29 à 32

Corrigés dans le manuel.

Exercice 30 : les élèves n'ont pas à savoir si l'équation est ajustée et correcte. Il s'agit simplement de la seule réponse envisageable.

33 Fonctionnement d'un réacteur à fusion

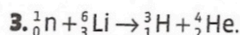
Corrigé dans le manuel.

Cet exercice demande à l'élève de s'adapter pour pouvoir justifier que les atomes sont isotopes. Le nombre de protons n'est pas indiqué, il s'agit juste de remarquer que ce sont deux atomes du même élément avec des nombres de nucléons différents.

34 Obtention du tritium APPLICATION

1. Le tritium et l'hydrogène ont le même nombre de protons, mais des nombres de nucléons différents. Ce sont donc des atomes isotopes.

2. Un noyau de tritium est obtenu à partir d'un noyau de lithium : l'élément n'est pas conservé et les noyaux sont modifiés. Il s'agit donc d'une transformation nucléaire.



35 *** Paléotempérature DIFFÉRENCIATION

1. a. Ces noyaux appartiennent au même élément, mais n'ont pas le même nombre de nucléons. Ce sont donc des isotopes.

b. Le DOC. 1 montre que l'eau s'évapore pour former les nuages, puis se condense ce qui donne lieu à des précipitations. Il s'agit donc d'une transformation physique d'équation de réaction $\text{H}_2\text{O(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(l)}$.

c. Les molécules d'eau contenant les noyaux d'oxygène-18 se condensent plus facilement que celles contenant des noyaux d'oxygène-16. En période de fortes précipitations, les nuages s'appauvrissent rapidement en ^{18}O et la glace obtenue au pôle Nord a donc une proportion faible de ^{18}O par rapport à ^{16}O . Au contraire, en période de faibles précipitations, cette proportion est plus importante car les nuages se sont moins appauvris.

d. La température augmente linéairement avec $\delta^{18}\text{O}$.

2. a. Le nuage de points est modélisé par une droite. La relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et T peut s'écrire sous la forme : $\delta^{18}\text{O} = a \times T + b$.

On identifie deux points sur la droite modélisée : par exemple, A(-23 °C ; -30 ‰) et B(-29 °C ; -35 ‰).

Le coefficient directeur a de la droite est ainsi déterminé :

$$a = \frac{(\delta_B - \delta_A) \text{‰}}{(T_B - T_A) \text{°C}} = 0,83 \text{‰} \cdot \text{°C}^{-1}.$$

Et enfin l'ordonnée b à l'origine à l'aide du point A :

$$-30 \text{‰} = 0,83 \text{‰} \cdot \text{°C}^{-1} \times -23 \text{°C} + b, \text{ d'où } b = -11 \text{‰}.$$

$$\text{Finalement : } \delta^{18}\text{O} = 0,83 \times T - 11.$$

b. D'après le DOC. 3, voilà 100 000 ans, $\delta^{18}\text{O}$ valait -39 ‰. Une lecture graphique n'est pas possible sur le DOC. 2. Deux possibilités sont envisageables en fonction du niveau des élèves :

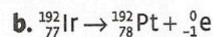
- en intégrant cette valeur dans l'équation de la droite obtenue dans la question précédente, on obtient la valeur de la température il y a 100 000 ans : $T = -34\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- avec une règle, le prolongement de la droite est tracé sur le graphique, puis la température pour $\delta^{18}\text{O} = -39\text{ ‰}$ est déterminée par lecture graphique.

Cet exercice permet d'observer une application concrète actuelle d'un suivi isotopique. En mélangeant des notions vues en SVT, en physique-chimie et en mathématiques, il montre les liens permanents qui existent entre ces matières.

Des éléments de différenciation sont proposés à la fin du manuel. La détermination de l'équation de la droite est l'occasion de faire le point sur le formalisme vu en cours de mathématiques et son utilisation en physique-chimie : pas d'utilisation des variables x et y ici, mais $\delta^{18}\text{O}$ et T . En fonction du niveau des élèves on peut envisager de discuter des unités du coefficient directeur et de l'ordonnée à l'origine.

36 ★ Médecine nucléaire

a. Les deux noyaux n'ont pas le même nombre de protons, ils ne sont donc pas isotopes.



La particule chargée est donc un électron.

On pourra renvoyer les élèves au tableau donnant les principales particules (p. 155 du manuel).

c. $\mathcal{E}_{\text{lib}} = 7 \times 10^7 \text{ s}^{-1} \times 1,5 \times 10^{-13} \text{ J} = 1 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$.

d. **Étape 1 :** détermination de l'énergie $\mathcal{E}_{100\text{g}}$ nécessaire pour détruire une tumeur de 100 g. Par proportionnalité :

$$\mathcal{E}_{100\text{g}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{reçue,m}}}{10} = 2 \times 10^{-2} \text{ J}.$$

Étape 2 : détermination de la durée Δt nécessaire pour obtenir

$$\mathcal{E}_{100\text{g}} \times \Delta t = \frac{\mathcal{E}_{100\text{g}}}{\mathcal{E}_{\text{lib}}} = \frac{2 \times 10^{-2} \text{ J}}{2 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}} = 2 \times 10^3 \text{ s}.$$

On voit ici tout l'intérêt d'avoir travaillé proprement sur les unités au préalable avec les élèves les plus aguerris. On pourra toutefois guider les élèves un peu plus en difficulté sur l'unité du résultat final.

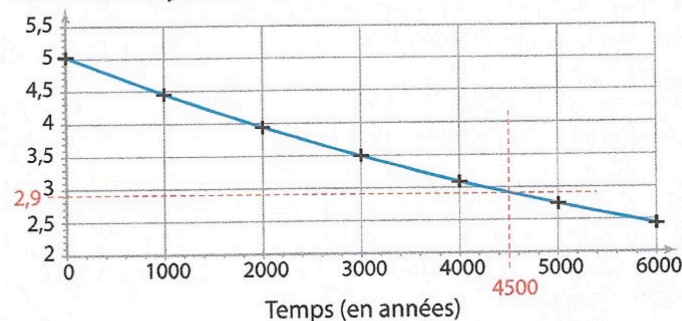
e. La durée calculée précédemment est d'un peu plus de 30 minutes. Si l'intervention dure plusieurs heures, cela peut s'expliquer entre autres par le fait que l'énergie libérée par les aiguilles n'est pas intégralement reçue par la tumeur.

Cet exercice traite d'un autre domaine d'application de la physique nucléaire. Bien que le programme ne traite pas du tout de la radioactivité, cet exercice peut être l'occasion de discuter rapidement du lien entre transformation nucléaire et radioactivité, ainsi que de ses effets sur le corps humain. La question b. apporte une difficulté supplémentaire puisqu'elle demande de vérifier les lois de conservation qui ne sont pas au programme. Une aide particulière sur cette partie est à prévoir. Elle permet d'observer que des règles de conservation existent toujours, quel que soit le type de transformation.

37 Archéologie et études isotopiques

1. Ces trois noyaux ont le même nombre de protons, mais des nombres de nucléons différents : ce sont donc des isotopes.
2. Le nombre de noyaux de ${}^{12}\text{C}$ et de ${}^{13}\text{C}$ dans un échantillon de carbone ne varie pas après la mort de l'organisme. La variation de la composition en ${}^{14}\text{C}$ peut apporter des informations.
3. Pour obtenir une meilleure précision, il faut envisager de tracer l'évolution du nombre de noyaux en fonction du temps.

Nombre de noyaux ($\times 10^8$)



Par lecture graphique, un nombre de $2,9 \times 10^8$ noyaux correspond à une date proche de 4500 ans (il aurait été également possible de lire directement dans le tableau que la date est comprise entre 4000 et 5000 ans, mais il est alors impossible de conclure). Cela signifie que cette momie est morte aux alentours de -2500. Elle peut donc avoir vécu sous le règne du pharaon Khéops ou du pharaon Djéser.

4. Cette méthode ne permet pas d'obtenir une grande précision.