Corrigé complet — Bac S 2006 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **16 points** **3 h 30**

Ex 1	**Transport du dioxygène dans le sang** Tableau d'avancement · Taux d'avancement final · Quotient de réaction et constante d'équilibre · Sens d'évolution spontanée · Couple acide-base et diagramme de prédominance	6,5 pts	1 h 18	15 questions	p. 2
Ex 2	**Controler la fusion nucléaire** Lois de conservation · Isotopes · Défaut de masse et énergie de liaison · Énergie libérée par une fusion · Demi-vie · Activité et décroissance radioactive	5,5 pts	1 h 05	14 questions	p. 6
Ex 3	**Le chien, la poule et le pigeon** Milieu dispersif · Fréquence et longueur d'onde · Deuxième loi de Newton · Chute verticale avec frottement fluide · Vitesse limite · Lecture graphique	4 pts	52 min	13 questions	p. 11

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Transport du dioxygène dans le sang

Bac S 2006 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Calculer la quantité de matière n_0 de sous-unités d'hémoglobine contenue dans le volume V de sang.

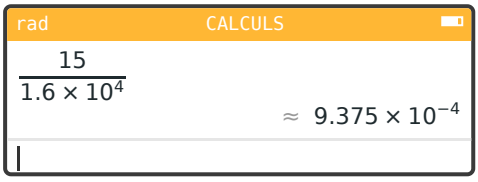
Données utiles $m = 15$ g ; $M(\text{Hb}) = 1{,}6 \times 10^4$ g · mol^{-1}

$$n_0 = \frac{m}{M(\text{Hb})} = \frac{15}{1{,}6 \times 10^4}$$

$$\boxed{n_0 = 9{,}4 \times 10^{-4} \text{ mol}}$$

COMPRENDRE
Les données m et M ont deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux. Pour les calculs suivants, on conserve la valeur non arrondie $9{,}375 \times 10^{-4}$ mol.

À LA CALCULATRICE



1.2 En déduire l'avancement maximal x_{max} de la réaction (1).

Données utiles $n_0 = 9{,}4 \times 10^{-4}$ mol (1.1) ; dioxygène en excès

Équation (1) : $\text{Hb}\,(\text{aq}) + \text{O}_2\,(\text{aq}) = \text{HbO}_2\,(\text{aq})$

À l'avancement x : $n(\text{Hb}) = n_0 - x$; O_2 en excès ; $n(\text{HbO}_2) = x$.

Le dioxygène est en excès, donc le réactif limitant est Hb. Si la transformation était totale, il serait entièrement consommé : $n_0 - x_{max} = 0$.

$$\boxed{x_{max} = n_0 = 9{,}4 \times 10^{-4} \text{ mol}}$$

MÉTHODE
Chaque ligne du tableau d'avancement suit les nombres stœchiométriques, ici tous égaux à 1 : ce qui disparaît en Hb apparaît en HbO_2.

1.3 Donner la relation qui définit le taux d'avancement final τ_f et en déduire la valeur de l'avancement final x_f.

Données utiles $\tau_f = 0{,}97$; $x_{max} = 9{,}4 \times 10^{-4}$ mol (1.2)

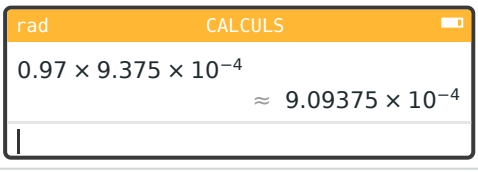
Par définition : $\tau_f = \dfrac{x_f}{x_{max}}$

Donc $x_f = \tau_f \times x_{max} = 0{,}97 \times 9{,}375 \times 10^{-4}$

$$\boxed{x_f = 9{,}1 \times 10^{-4} \text{ mol}}$$

COMPRENDRE
$\tau_f < 1$: la transformation n'est pas totale, l'état final est un état d'équilibre où il reste un peu d'hémoglobine libre.

À LA CALCULATRICE



1.4 En déduire la quantité de sous-unités d'oxyhémoglobine HbO_2 formée dans l'état final.

Données utiles $x_f = 9{,}1 \times 10^{-4}$ mol (1.3)

D'après le tableau d'avancement, $n(\text{HbO}_2) = x$ à tout instant, et il n'y en avait pas au départ. Dans l'état final :

$$\boxed{n_f(\text{HbO}_2) = x_f = 9{,}1 \times 10^{-4} \text{ mol dans 100 mL de sang.}}$$

1.5 En déduire la quantité n_S de sous-unités d'oxyhémoglobine formées pendant une minute.

Données utiles $V_S = 5{,}0$ L ; $V = 100$ mL $= 0{,}100$ L ; $x_f = 9{,}1 \times 10^{-4}$ mol (1.3)

La quantité formée est proportionnelle au volume de sang traité : V donne x_f, donc V_S donne

$$n_S = \frac{V_S}{V} \times x_f = \frac{5{,}0}{0{,}100} \times 9{,}09 \times 10^{-4}$$

$$\boxed{n_S = 4{,}5 \times 10^{-2} \text{ mol}}$$

PIÈGE
Laisser V en mL avec V_S en L : le rapport serait faux d'un facteur 1000. Convertir avant de diviser.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{5.0}{0.100} \times 9.09375 \times 10^{-4} \approx 0.04546875$

2.1 Calculer la valeur du quotient de réaction Q_{r1} dans l'état 1 correspondant à l'équation (1).

Données utiles $[O_2]_1 = 3{,}6 \times 10^{-5}$ mol · L^{-1} ; $[Hb]_1 = 2{,}8 \times 10^{-4}$ mol · L^{-1} ; $[HbO_2]_1 = 9{,}1 \times 10^{-3}$ mol · L^{-1}

Pour $Hb\,(aq) + O_2\,(aq) = HbO_2\,(aq)$:

$$Q_{r1} = \frac{[HbO_2]_1}{[Hb]_1 \times [O_2]_1} = \frac{9{,}1 \times 10^{-3}}{2{,}8 \times 10^{-4} \times 3{,}6 \times 10^{-5}}$$

$$\boxed{Q_{r1} = 9{,}0 \times 10^{5}}$$

COMPRENDRE
Le quotient de réaction est sans unité : chaque concentration y est en réalité divisée par $c^\circ = 1$ mol · L^{-1}.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{9.1 \times 10^{-3}}{2.8 \times 10^{-4} \times 3.6 \times 10^{-5}} \approx 902777.8$

2.2 Sachant que $K_1 = 3{,}0 \times 10^5$, dans quel sens évolue le système ?

Données utiles $Q_{r1} = 9{,}0 \times 10^5$ (2.1)

$Q_{r1} = 9{,}0 \times 10^5 > K_1 = 3{,}0 \times 10^5$.

Le système évolue spontanément de façon que Q_r diminue jusqu'à K_1 : il évolue dans le sens inverse de l'équation (1).

Sens inverse : HbO_2 se dissocie en Hb et O_2, du dioxygène est libéré au niveau des organes.

MÉTHODE
Comparer Q_r à K : $Q_r < K$, sens direct ; $Q_r > K$, sens inverse ; $Q_r = K$, équilibre.

3.1 Écrire l'équation (2) de la réaction entre le dioxyde de carbone dissous et l'eau.

Données utiles couple CO_2,H_2O / HCO_3^-

L'acide CO_2,H_2O cède un ion H^+ à l'eau, qui joue le rôle de base (couple H_3O^+ / H_2O).

$$\boxed{CO_2,H_2O\,(aq) + H_2O\,(l) = HCO_3^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \qquad (2)}$$

PIÈGE
Vérifier la conservation des charges : une charge $-$ et une charge $+$ à droite, aucune à gauche.

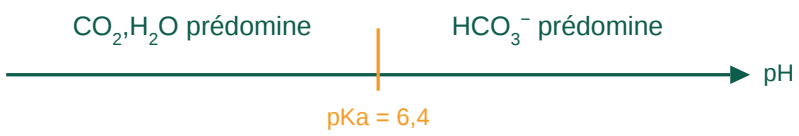
3.2 Représenter sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces du couple CO_2,H_2O / HCO_3^-.

Données utiles $pK_a = 6{,}4$

Sur un axe gradué en pH, la frontière est à $pH = pK_a = 6{,}4$.

$pH < 6{,}4$: l'acide CO_2,H_2O prédomine ; $pH > 6{,}4$: la base HCO_3^- prédomine.

COMPRENDRE
À $pH = pK_a$, les deux espèces ont la même concentration, car $pH = pK_a + \log \frac{[HCO_3^-]}{[CO_2,H_2O]}$.



3.2 · Diagramme de prédominance du couple CO_2,H_2O / HCO_3^-

3.3 En déduire, en justifiant, l'espèce prédominante du couple dans le sang pour un pH égal à 7,4.

Données utiles $pH = 7{,}4$; $pK_a = 6{,}4$

$pH = 7{,}4 > pK_a = 6{,}4$: on est dans le domaine de prédominance de la base.

L'espèce prédominante dans le sang est l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^-.

COMPRENDRE
L'écart est d'une unité de pH : HCO_3^- est dix fois plus concentré que CO_2,H_2O.

3.4 Pourquoi la dissolution du dioxyde de carbone provoque-t-elle une diminution du pH sanguin en l'absence d'autres réactions ?

D'après l'équation (2), le dioxyde de carbone dissous réagit avec l'eau en formant des ions oxonium H_3O^+ : leur concentration dans le sang augmente.

Or $pH = -\log [H_3O^+]$, fonction décroissante de $[H_3O^+]$.

$[H_3O^+]$ augmente, donc le pH du sang diminue.

3.5 Montrer que les ions H_3O^+ produits par la réaction (2) permettent la libération du dioxygène nécessaire à l'effort tout en limitant la variation de pH.

Données utiles équation (3) : $HbO_2\,(aq) + H_3O^+ = O_2\,(aq) + HbH^+\,(aq) + H_2O$

Les ions H_3O^+ formés par la réaction (2) sont un réactif de la réaction (3). Leur apport fait diminuer le quotient de réaction de (3), qui devient inférieur à sa constante d'équilibre : la réaction (3) évolue dans le sens direct.

Ce sens direct :

- produit du dioxygène O_2, libéré par l'oxyhémoglobine et disponible pour les muscles ;
- consomme des ions H_3O^+, ce qui s'oppose à la baisse de pH décrite en 3.4.

La réaction (3) libère O_2 et consomme les ions H_3O^+ apportés par (2) : le pH varie peu.

COMPRENDRE
Plus un muscle travaille, plus il produit de CO_2, et plus l'oxyhémoglobine lui cède de dioxygène : l'apport s'ajuste à l'effort.

4.1 Le sang d'une personne contient du monoxyde de carbone dissous à la concentration $2{,}0 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Quels sont les effets ressentis ?

Données utiles $K_4 = 7{,}5 \times 10^{7}$; $[\text{CO}]_{éq} = 2{,}0 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; tableau des effets

Pour $\text{Hb}\,(\text{aq}) + \text{CO}\,(\text{aq}) = \text{HbCO}\,(\text{aq})$, à l'équilibre :

$$K_4 = \frac{[\text{HbCO}]_{éq}}{[\text{Hb}]_{éq} \times [\text{CO}]_{éq}} \quad \text{donc} \quad \frac{[\text{HbCO}]_{éq}}{[\text{Hb}]_{éq}} = K_4 \times [\text{CO}]_{éq}$$

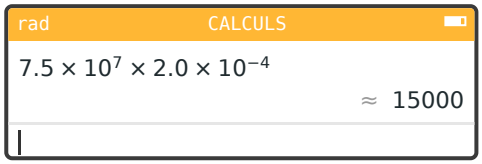
$$\frac{[\text{HbCO}]_{éq}}{[\text{Hb}]_{éq}} = 7{,}5 \times 10^{7} \times 2{,}0 \times 10^{-4} = 1{,}5 \times 10^{4}$$

Cette valeur est comprise entre $1{,}1 \times 10^{4}$ et $2{,}6 \times 10^{4}$.

$\dfrac{[\text{HbCO}]_{éq}}{[\text{Hb}]_{éq}} = 1{,}5 \times 10^{4}$: la personne ressent des maux de tête.

MÉTHODE
Quand un rapport de concentrations est demandé, écrire la constante d'équilibre puis isoler ce rapport, sans chercher chaque concentration.

À LA CALCULATRICE



4.2 Donner l'expression de la constante d'équilibre K_5 associée à l'équation (5) en fonction de K_1 et K_4, et calculer sa valeur.

Données utiles $K_1 = 3{,}0 \times 10^{5}$; $K_4 = 7{,}5 \times 10^{7}$; équation (5) : $\text{HbO}_2\,(\text{aq}) + \text{CO}\,(\text{aq}) = \text{HbCO}\,(\text{aq}) + \text{O}_2\,(\text{aq})$

$$K_5 = \frac{[\text{HbCO}]_{éq} \times [\text{O}_2]_{éq}}{[\text{HbO}_2]_{éq} \times [\text{CO}]_{éq}}$$

On multiplie numérateur et dénominateur par $[\text{Hb}]_{éq}$:

$$K_5 = \frac{[\text{HbCO}]_{éq}}{[\text{Hb}]_{éq}\,[\text{CO}]_{éq}} \times \frac{[\text{Hb}]_{éq}\,[\text{O}_2]_{éq}}{[\text{HbO}_2]_{éq}} = K_4 \times \frac{1}{K_1}$$

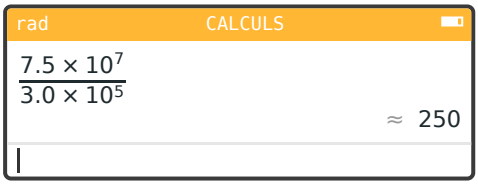
$$K_5 = \frac{K_4}{K_1} = \frac{7{,}5 \times 10^{7}}{3{,}0 \times 10^{5}}$$

$K_5 = \dfrac{K_4}{K_1} = 2{,}5 \times 10^{2}$

PIÈGE
Écrire $K_5 = K_4 - K_1$ ou $K_4 \times K_1$. Inverser une équation inverse sa constante ; additionner deux équations multiplie leurs constantes.

COMPRENDRE
L'équation (5) s'obtient en soustrayant (1) de (4) : les constantes se divisent. $K_5 \gg 1$: l'hémoglobine fixe bien plus volontiers CO que O_2.

À LA CALCULATRICE



4.3 Expliquer qualitativement l'action du caisson hyperbare sur une personne empoisonnée au monoxyde de carbone.

Pour l'équation (5) : $Q_{r5} = \dfrac{[\text{HbCO}] \times [\text{O}_2]}{[\text{HbO}_2] \times [\text{CO}]}$.

Le caisson augmente fortement $[\text{O}_2]$ dans le sang, donc Q_{r5} augmente et devient supérieur à K_5. Le système évolue alors dans le sens inverse de (5) : HbCO est consommé, HbO_2 se reforme.

Le dioxygène en forte concentration chasse le monoxyde de carbone de l'hémoglobine, qui peut de nouveau transporter O_2.

COMPRENDRE
La valeur de K_5 ne change pas : c'est la composition du système qui est modifiée, pour ramener Q_{r5} à K_5.

Controler la fusion nucléaire

Bac S 2006 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1 Donner la composition et le symbole du noyau Y qui sert à fabriquer le tritium, en précisant les règles de conservation.

Données utiles ${}^{A}_{Z}\mathrm{Y} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{3}_{1}\mathrm{H}$; H ($Z=1$), He ($Z=2$), Li ($Z=3$), Be ($Z=4$), B ($Z=5$)

Lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation :

- du nombre de nucléons : $A + 1 = 4 + 3$, donc $A = 6$;
- du nombre de charge : $Z + 0 = 2 + 1$, donc $Z = 3$.

$Z = 3$ est le numéro atomique du lithium.

Y est le noyau de lithium 6, ${}^{6}_{3}\mathrm{Li}$: 3 protons et $6 - 3 = 3$ neutrons.

PIÈGE
Oublier le neutron dans le bilan des nucléons : il compte pour $A = 1$ et $Z = 0$. Sans lui, on trouve $A = 7$.

2.1 Donner la composition du noyau de deutérium ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$.

$Z = 1$: un proton. $A = 2$ nucléons, donc $A - Z = 1$ neutron.

Le noyau de deutérium contient 1 proton et 1 neutron.

2.2 Le deutérium et le tritium sont des isotopes. Justifier cette affirmation.

Des noyaux isotopes possèdent le même nombre de protons Z et des nombres de neutrons différents.

Deutérium ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$: 1 proton, 1 neutron. Tritium ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$: 1 proton, 2 neutrons.

Même $Z = 1$ mais A différents (2 et 3) : ce sont deux isotopes de l'hydrogène.

2.3 Donner l'expression littérale puis la valeur du défaut de masse $\Delta m({}^{2}_{1}\mathrm{H})$ du noyau de deutérium.

Données utiles $m(\mathrm{p}) = 1{,}672622 \times 10^{-27}$ kg ; $m(\mathrm{n}) = 1{,}674927 \times 10^{-27}$ kg ; $m({}^{2}_{1}\mathrm{H}) = 3{,}344497 \times 10^{-27}$ kg

Le défaut de masse est l'écart entre la masse des nucléons séparés et la masse du noyau :

$$\Delta m({}^{2}_{1}\mathrm{H}) = m(\mathrm{p}) + m(\mathrm{n}) - m({}^{2}_{1}\mathrm{H})$$

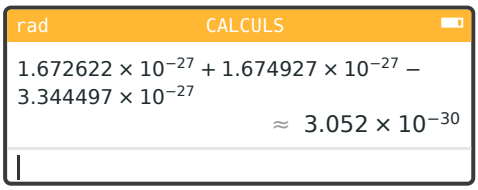
$$\Delta m({}^{2}_{1}\mathrm{H}) = (1{,}672622 + 1{,}674927 - 3{,}344497) \times 10^{-27}$$

$$\Delta m({}^{2}_{1}\mathrm{H}) = 3{,}052 \times 10^{-30}\ \mathrm{kg}$$

PIÈGE
Arrondir les masses avant de soustraire : le défaut de masse ne représente qu'un millième de la masse du noyau, il disparaît dès qu'on tronque les données.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : dans une soustraction, c'est le rang du dernier chiffre qui compte. Les masses sont connues à 10^{-33} kg près, le résultat aussi : il ne reste que quatre chiffres.

À LA CALCULATRICE



2.4 En déduire l'énergie $E(^2_1\mathrm{H})$ correspondant à ce défaut de masse, en J puis en MeV, et donner sa signification physique.

Données utiles $\Delta m(^2_1\mathrm{H}) = 3{,}052 \times 10^{-30}$ kg (2.3) ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; $1\ \mathrm{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

Équivalence masse-énergie : $E(^2_1\mathrm{H}) = \Delta m(^2_1\mathrm{H}) \times c^2$

$E(^2_1\mathrm{H}) = 3{,}052 \times 10^{-30} \times (3{,}00 \times 10^8)^2 = 2{,}75 \times 10^{-13}$ J

Comme $1\ \mathrm{MeV} = 1{,}60 \times 10^{-13}$ J : $E(^2_1\mathrm{H}) = \dfrac{2{,}75 \times 10^{-13}}{1{,}60 \times 10^{-13}} = 1{,}72\ \mathrm{MeV}$

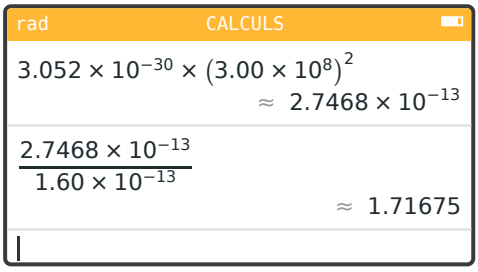
Cette énergie est l'énergie de liaison du noyau : celle qu'il faut apporter au noyau de deutérium au repos pour le séparer en un proton et un neutron isolés, au repos.

$E(^2_1\mathrm{H}) = 2{,}75 \times 10^{-13}$ J $= 1{,}72$ MeV : énergie de liaison du noyau.

PIÈGE
Oublier le carré sur c, ou convertir en eV au lieu de MeV : $1\ \mathrm{MeV} = 10^6\ \mathrm{eV} = 1{,}60 \times 10^{-13}$ J.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c et la valeur de l'électronvolt, données les moins précises du calcul.

À LA CALCULATRICE



3 Donner l'expression littérale de l'énergie libérée par la réaction de fusion (1) en fonction des données de l'énoncé, puis la calculer en MeV.

Données utiles $^2_1\mathrm{H} + {}^3_1\mathrm{H} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + {}^1_0\mathrm{n}$; $m(^3_1\mathrm{H}) = 5{,}008271 \times 10^{-27}$ kg ; $m(^4_2\mathrm{He}) = 6{,}646483 \times 10^{-27}$ kg ; $m(^2_1\mathrm{H})$, $m(\mathrm{n})$, c et l'électronvolt comme précédemment

L'énergie libérée correspond à la masse perdue au cours de la réaction :

$$E_{\mathrm{lib}} = \left[m(^2_1\mathrm{H}) + m(^3_1\mathrm{H}) - m(^4_2\mathrm{He}) - m(\mathrm{n})\right] \times c^2$$

Masse perdue : $(3{,}344497 + 5{,}008271 - 6{,}646483 - 1{,}674927) \times 10^{-27} = 3{,}1358 \times 10^{-29}$ kg

$E_{\mathrm{lib}} = 3{,}1358 \times 10^{-29} \times (3{,}00 \times 10^8)^2 = 2{,}82 \times 10^{-12}$ J

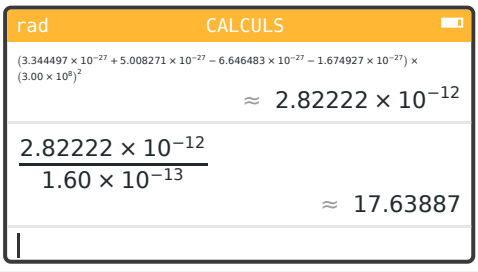
$E_{\mathrm{lib}} = \dfrac{2{,}82 \times 10^{-12}}{1{,}60 \times 10^{-13}}$

$E_{\mathrm{lib}} = 17{,}6$ MeV

COMPRENDRE
La variation d'énergie du système, (masse des produits − masse des réactifs)$\times c^2$, vaut $-17{,}6$ MeV : elle est négative car le système cède de l'énergie. L'énergie libérée est sa valeur absolue.

MÉTHODE
Vérifier le résultat avec l'énoncé : le texte annonce « quelques MeV » et la partie 4 donne 17,6 MeV.

À LA CALCULATRICE



4.1.1 Déterminer le nombre N de noyaux présents dans la masse $m = 1{,}0$ kg de deutérium.

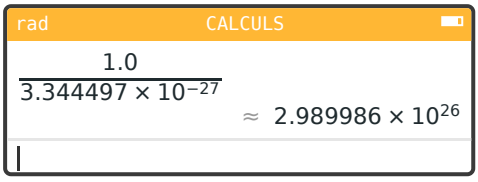
Données utiles $m(^2_1\mathrm{H}) = 3{,}344497 \times 10^{-27}$ kg ; la masse d'un atome est assimilée à celle de son noyau

$$N = \frac{m}{m(^2_1\mathrm{H})} = \frac{1{,}0}{3{,}344497 \times 10^{-27}}$$

$N = 3{,}0 \times 10^{26}$ noyaux

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $m = 1{,}0$ kg.

À LA CALCULATRICE



4.1.2 En déduire l'énergie E libérée par une masse $m = 1{,}0$ kg de deutérium.

Données utiles $N = 3{,}0 \times 10^{26}$ (4.1.1) ; énergie libérée par une réaction (1) : 17,6 MeV ; $1\ \mathrm{MeV} = 1{,}60 \times 10^{-13}$ J

Chaque réaction (1) consomme un noyau de deutérium : il y a donc N réactions, le tritium étant supposé disponible en quantité suffisante.

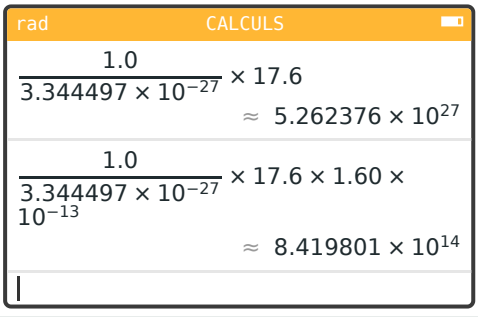
$E = N \times E_{\mathrm{lib}} = 3{,}0 \times 10^{26} \times 17{,}6 = 5{,}3 \times 10^{27}\ \mathrm{MeV}$

$E = 5{,}3 \times 10^{27} \times 1{,}60 \times 10^{-13}$

$E = 8{,}4 \times 10^{14}$ J

MÉTHODE
Garder la valeur non arrondie de N dans la calculatrice pour enchaîner les calculs, et n'arrondir que le résultat final.

À LA CALCULATRICE



4.2 Estimer, en années, la durée Δt nécessaire pour épuiser la réserve de deutérium des océans en répondant à la consommation annuelle actuelle.

Données utiles réserve $M = 4{,}6 \times 10^{13}$ tonnes ; consommation annuelle $E_{\mathrm{an}} = 4 \times 10^{20}$ J ; rendement 33 % ; $E = 8{,}4 \times 10^{14}$ J par kilogramme (4.1.2)

Réserve : $M = 4{,}6 \times 10^{13}$ t $= 4{,}6 \times 10^{16}$ kg.

Énergie libérée par la fusion de toute la réserve : $M \times E = 4{,}6 \times 10^{16} \times 8{,}4 \times 10^{14} = 3{,}9 \times 10^{31}$ J.

Énergie électrique obtenue : $E_{\mathrm{él}} = 0{,}33 \times 3{,}9 \times 10^{31} = 1{,}3 \times 10^{31}$ J.

$$\Delta t = \frac{E_{\mathrm{él}}}{E_{\mathrm{an}}} = \frac{1{,}3 \times 10^{31}}{4 \times 10^{20}}$$

$\Delta t \approx 3 \times 10^{10}$ ans

PIÈGE
Laisser la réserve en tonnes alors que E est donnée par kilogramme, ou oublier le rendement de 33 %.

COMPRENDRE
Un seul chiffre significatif, comme la consommation annuelle. Trente milliards d'années, c'est plus que l'âge de l'Univers : le deutérium n'est pas la ressource limitante, c'est le lithium, comme le dit l'énoncé.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$4.6 \times 10^{16} \times 8.4 \times 10^{14} \approx 3.864 \times 10^{31}$

$\dfrac{4.6 \times 10^{16} \times 8.4 \times 10^{14} \times 0.33}{4 \times 10^{20}} \approx 3.1878 \times 10^{10}$

5.1 Définir le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de l'américium 241.

$t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux d'américium 241 initialement présents dans l'échantillon se sont désintégrés : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$.

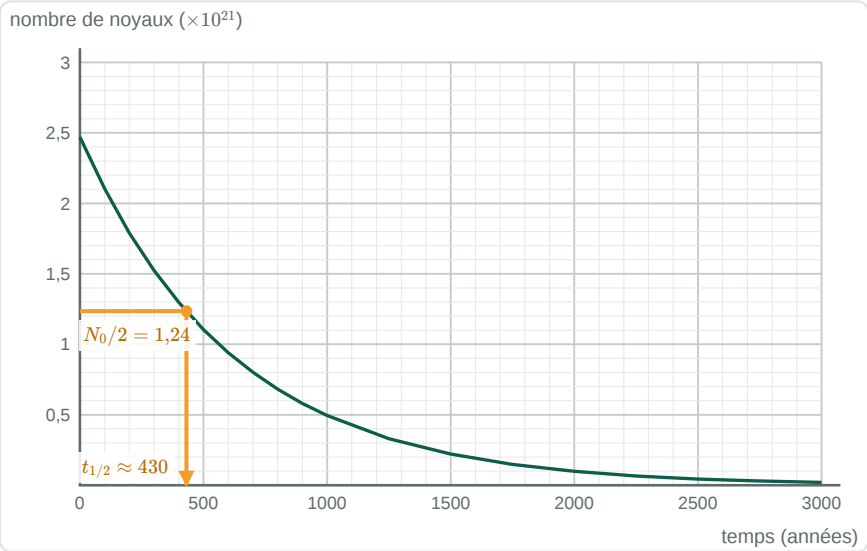
5.2 En utilisant la courbe et en précisant la méthode utilisée, déterminer ce temps de demi-vie.

Données utiles courbe $N(t)$ du sujet ; $N_0 = 2{,}47 \times 10^{21}$ noyaux

On calcule $\dfrac{N_0}{2} = \dfrac{2{,}47 \times 10^{21}}{2} = 1{,}24 \times 10^{21}$ noyaux.

On trace la droite horizontale d'ordonnée $1{,}24 \times 10^{21}$ jusqu'à la courbe, puis on lit l'abscisse du point d'intersection à l'aide de l'échelle de l'axe des temps (la graduation 1000 ans sert de repère).

$t_{1/2} \approx 4{,}3 \times 10^2$ ans



5.2 · Courbe du sujet avec la lecture graphique de la demi-vie

COMPRENDRE

Contrôle possible avec $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$: on trouve $1{,}4 \times 10^{10}$ s, soit environ 430 ans. Une lecture entre 400 et 450 ans est acceptable.

MÉTHODE

Sur un axe peu gradué, mesurer à la règle : la distance de l'origine au point lu, rapportée à la distance qui représente 1000 ans, donne l'abscisse par proportionnalité.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2.47 \times 10^{21}}{2} \approx 1.235 \times 10^{21}$

$\dfrac{\ln(2)}{\dfrac{5.1 \times 10^{-11}}{365.25 \times 24 \times 3600}} \approx 430.6766$

5.3 L'américium 241 se désintègre selon $^{241}_{95}\mathrm{Am} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{237}_{93}\mathrm{Np}$. De quel type de radioactivité s'agit-il ? Justifier.

La désintégration émet un noyau d'hélium 4, $^{4}_{2}\mathrm{He}$, appelé particule α.

Il s'agit d'une radioactivité α.

5.4.1 En utilisant l'équation de la courbe, déterminer la durée t_1, en années, au bout de laquelle un gramme d'américium 241 a une activité égale à $3{,}7 \times 10^3$ Bq.

Données utiles $A = \lambda N$; $N = N_0\, e^{-\lambda t}$; $\lambda = 5{,}1 \times 10^{-11}\ \text{s}^{-1}$; $N_0 = 2{,}47 \times 10^{21}$; $A(t_1) = 3{,}7 \times 10^3$ Bq

$A(t_1) = \lambda N(t_1) = \lambda N_0\, e^{-\lambda t_1}$, donc $e^{-\lambda t_1} = \dfrac{A(t_1)}{\lambda N_0}$, soit $-\lambda t_1 = \ln\left(\dfrac{A(t_1)}{\lambda N_0}\right)$.

$$t_1 = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{\lambda N_0}{A(t_1)}\right)$$

$$t_1 = \frac{1}{5{,}1 \times 10^{-11}} \times \ln\left(\frac{5{,}1 \times 10^{-11} \times 2{,}47 \times 10^{21}}{3{,}7 \times 10^3}\right) = 3{,}4 \times 10^{11}\ \text{s}$$

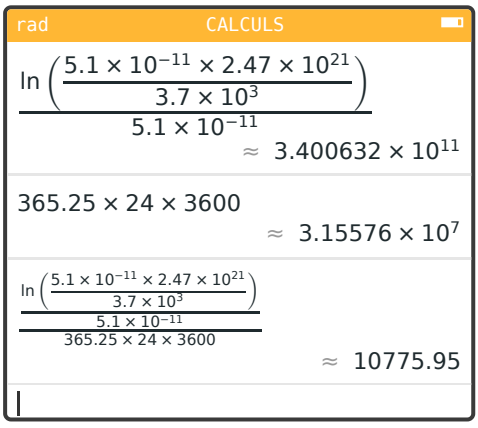
Une année dure $365{,}25 \times 24 \times 3600 = 3{,}16 \times 10^7$ s, d'où $t_1 = \dfrac{3{,}4 \times 10^{11}}{3{,}16 \times 10^7}$.

$t_1 = 1{,}1 \times 10^4$ ans

PIÈGE
L'unité S.I. de λ est la s^{-1} (l'activité est en becquerels, soit des désintégrations par seconde) : t_1 sort en secondes et doit être converti en années.

COMPRENDRE
L'activité initiale vaut $\lambda N_0 = 1{,}3 \times 10^{11}$ Bq : il faut la diviser par 34 millions environ, soit attendre 25 demi-vies.

À LA CALCULATRICE



5.4.2 L'ordre de grandeur de t_1 est de 10^4 ans. Préciser en quoi, dans le domaine des déchets, la fusion représente un avantage sur la fission.

Fission : un déchet comme l'américium 241 ne devient de faible activité qu'après environ 10^4 ans.

Fusion : d'après le texte, cent ans après l'arrêt du réacteur, la plupart des matériaux, voire tous, sont des déchets de très faible activité.

Les déchets de la fusion restent dangereux environ 100 fois moins longtemps (10^2 ans contre 10^4 ans) : leur stockage est beaucoup moins contraignant.

Le chien, la poule et le pigeon

Bac S 2006 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Définir un milieu dispersif.

Un milieu est dispersif lorsque la célérité d'une onde qui s'y propage dépend de la fréquence de cette onde.

COMPRENDRE
Dans l'air, tous les sons audibles vont à la même célérité, quelle que soit leur fréquence : l'air n'est pas dispersif pour le son. Sinon, les graves et les aigus d'un même coup de tonnerre n'arriveraient pas ensemble.

1.2.1 À l'aide des domaines de fréquences audibles, préciser lequel des deux animaux entend les sons les plus graves.

Données utiles chien : de 15 Hz à $4{,}5 \times 10^4$ Hz ; poule : de $2{,}0 \times 10^2$ Hz à $2{,}0 \times 10^4$ Hz

Un son est d'autant plus grave que sa fréquence est basse. La plus petite fréquence audible vaut 15 Hz pour le chien et $2{,}0 \times 10^2$ Hz pour la poule.

C'est le chien qui entend les sons les plus graves (jusqu'à 15 Hz).

1.2.2 Préciser lequel des deux animaux entend les sons les plus aigus.

Un son est d'autant plus aigu que sa fréquence est élevée. La plus grande fréquence audible vaut $4{,}5 \times 10^4$ Hz pour le chien et $2{,}0 \times 10^4$ Hz pour la poule.

C'est encore le chien qui entend les sons les plus aigus (jusqu'à $4{,}5 \times 10^4$ Hz).

PIÈGE
Répondre « la poule » par symétrie avec la question précédente. Le domaine audible du chien contient entièrement celui de la poule : il déborde des deux côtés.

1.3 Dire pourquoi Toby peut entendre le tonnerre gronder au loin alors que Cocot ne le peut pas.

D'après le texte, l'air atténue d'autant plus un son que sa fréquence est élevée : à grande distance de l'orage, seuls les sons de basse fréquence parviennent encore aux animaux.

Le chien perçoit les sons de 15 Hz à $2{,}0 \times 10^2$ Hz, que la poule n'entend pas.

Toby entend les sons très graves du tonnerre, les seuls qui arrivent de loin ; Cocot n'entend que des sons de fréquence plus élevée, déjà trop atténués.

MÉTHODE
Question de type « expliquer à partir du texte » : citer l'information utile du document (ici l'atténuation selon la fréquence), la relier aux données (domaines audibles), puis conclure sur les deux animaux.

1.4 Calculer la longueur d'onde correspondant au son le plus grave entendu par la poule.

Données utiles $v = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f = 2{,}0 \times 10^2$ Hz

Le son le plus grave entendu par la poule a pour fréquence $f = 2{,}0 \times 10^2$ Hz.

Longueur d'onde, célérité et fréquence sont liées par $\lambda = \dfrac{v}{f}$.

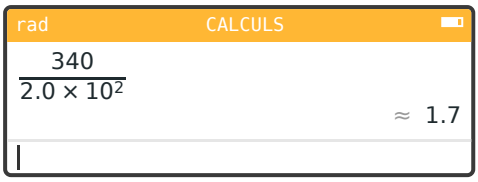
$$\lambda = \frac{340}{2{,}0 \times 10^2}$$

$\lambda = 1{,}7\ \text{m}$

PIÈGE
Prendre 15 Hz (limite du chien) ou $2{,}0 \times 10^4$ Hz (son le plus aigu de la poule) : bien relire quelle borne du domaine est demandée.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la fréquence $2{,}0 \times 10^2$ Hz, qui est la donnée la moins précise du calcul.

À LA CALCULATRICE



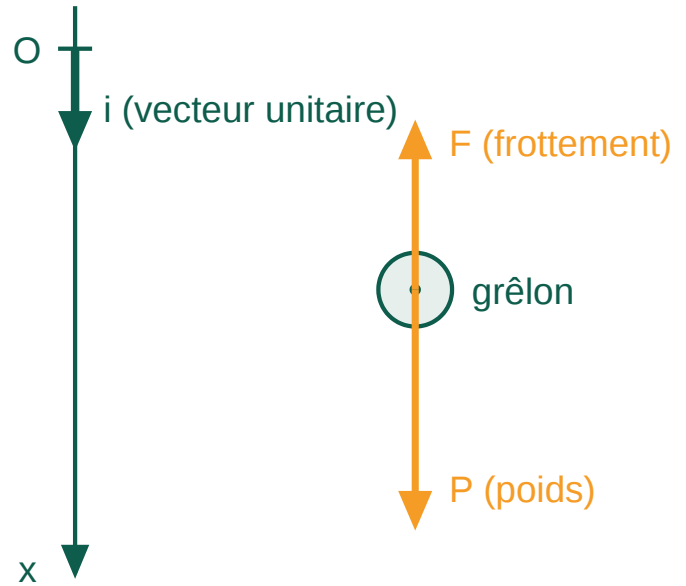
2.1 Faire l'inventaire des forces qui agissent sur le grêlon et préciser l'expression vectorielle de chaque force.

Système : le grêlon, étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On note $\vec{i}$ le vecteur unitaire de l'axe (Ox), dirigé vers le bas. La poussée d'Archimède est négligée.

- Poids : vertical, vers le bas, $\vec{P} = m\,\vec{g} = m\,g\,\vec{i}$.
- Frottement de l'air : opposé à la vitesse, $\vec{F} = -k\,\vec{v} = -k\,v\,\vec{i}$ (le grêlon descend : $\vec{v} = v\,\vec{i}$).

$\vec{P} = m\,g\,\vec{i}$ et $\vec{F} = -k\,v\,\vec{i}$

PIÈGE
Écrire seulement $F = kv$: c'est une valeur, pas un vecteur. Le signe « $-$ » traduit le sens opposé à la vitesse et sert ensuite dans la projection.



2.1 · Forces sur le grêlon pendant la chute (avant la vitesse limite, le poids l'emporte)

2.2 Appliquer la deuxième loi de Newton au grêlon et en déduire l'équation différentielle vérifiée par la valeur v de la vitesse.

Deuxième loi de Newton, la masse étant constante : $\vec{P} + \vec{F} = m\,\vec{a}$.

Projection sur l'axe (Ox), avec $a_x = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$:

$$m\,g - k\,v = m\,\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

En divisant par m :

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} + \frac{k}{m}\,v = g$$

MÉTHODE
Chute verticale avec frottement : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi de Newton, puis projection sur l'axe orienté. Avec un axe descendant, le poids est compté positivement et le frottement négativement.

2.3 Montrer que la vitesse limite de chute a pour expression $v_{\text{lim}} = \dfrac{mg}{k}$.

Quand la vitesse limite est atteinte, v ne varie plus : $v = v_{\text{lim}}$ et $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$.

L'équation différentielle devient $\dfrac{k}{m} v_{\text{lim}} = g$.

$v_{\text{lim}} = \dfrac{m\,g}{k}$, ce qui est l'expression attendue.

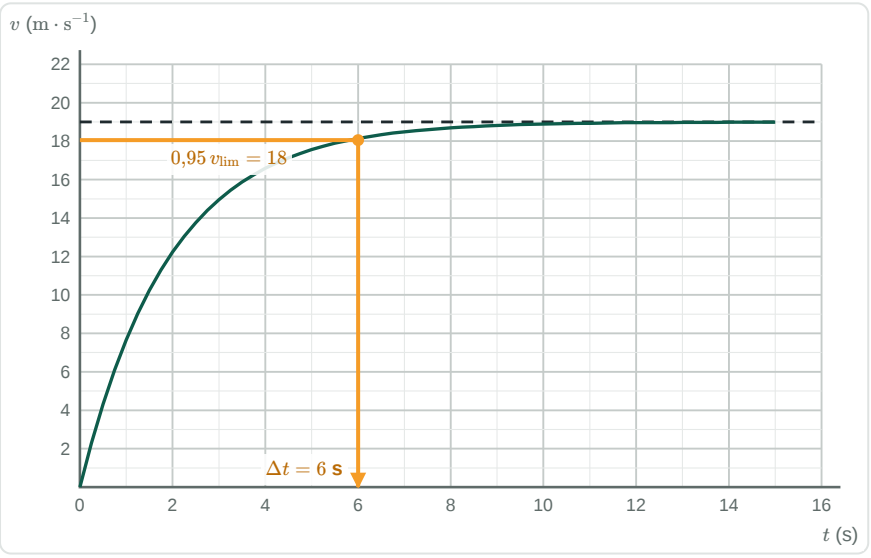
COMPRENDRE
À la vitesse limite, le frottement compense exactement le poids : $k\,v_{\text{lim}} = m\,g$. La somme des forces est nulle et le mouvement devient rectiligne uniforme.

2.4 À l'aide de la figure 1, déterminer la valeur v_{lim} de la vitesse limite de chute, avec deux chiffres significatifs.

La vitesse limite est la valeur vers laquelle tend v aux grandes dates. Sur la figure 1, la courbe admet une asymptote horizontale, que l'on trace : elle coupe l'axe des ordonnées au milieu de l'intervalle entre 18 et 20 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$v_{\text{lim}} = 19\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Lire 20 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, la graduation la plus proche. Le palier se trouve nettement sous cette ligne : tracer l'asymptote à la règle avant de lire.



2.4 · Figure 1 du sujet : asymptote (vitesse limite) et lecture de la durée pour 95 % de la vitesse limite

2.5 Quelle doit être la valeur de k correspondant à cette vitesse limite dans le cadre de ce modèle ?

Données utiles $m = 3{,}8\ \text{g} = 3{,}8 \times 10^{-3}\ \text{kg}$; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; $v_{\text{lim}} = 19\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2.4)

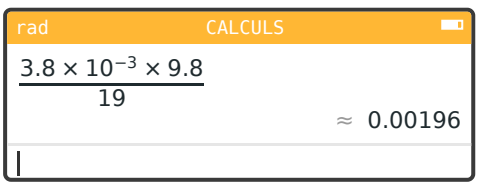
D'après 2.3 : $k = \dfrac{m\,g}{v_{\text{lim}}}$.

$$k = \frac{3{,}8 \times 10^{-3} \times 9{,}8}{19}$$

$k = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Laisser la masse en grammes : le résultat serait mille fois trop grand. L'unité de k s'obtient par $\dfrac{\text{kg} \times \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{m} \cdot \text{s}^{-1}} = \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



2.6.1 Déterminer la durée Δt au bout de laquelle la vitesse atteinte est égale à 95 % de la vitesse limite.

Données utiles $v_{\text{lim}} = 19\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2.4) ; figure 1

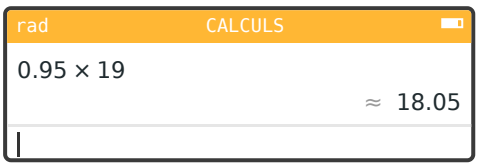
Vitesse à atteindre : $0{,}95 \times v_{\text{lim}} = 0{,}95 \times 19 = 18\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Sur la figure 1, la courbe atteint l'ordonnée $18\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ à la date $t = 6$ s (lecture tracée sur la figure de la question 2.4).

$\Delta t \approx 6\ \text{s}$

COMPRENDRE
La courbe est presque horizontale à cet endroit : la lecture de la date est peu précise, à une demi-seconde près environ. Un seul chiffre significatif suffit.

À LA CALCULATRICE



2.6.2 En déduire la distance d parcourue par le grêlon à partir de la base du nuage.

Données utiles $\Delta t \approx 6$ s (2.6.1) ; figure 2

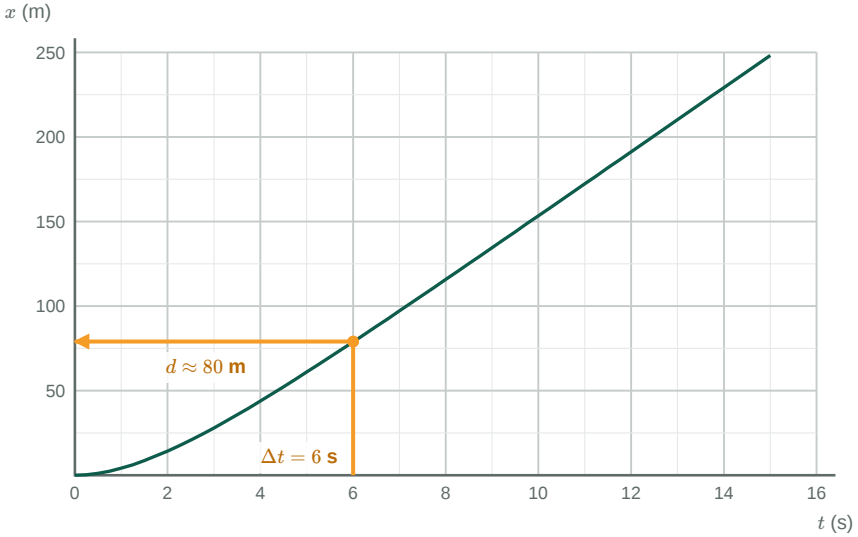
Sur la figure 2, on lit l'ordonnée du point de la courbe d'abscisse $t = 6$ s : $x \approx 80$ m.

Valeur cohérente : elle est inférieure à $v_{\text{lim}} \times \Delta t = 19 \times 6 = 114$ m, distance que le grêlon ne peut pas dépasser puisque sa vitesse reste inférieure à v_{lim}.

$d \approx 80\ \text{m}$

PIÈGE
Calculer $d = v_{\text{lim}} \times \Delta t = 114$ m. La vitesse n'est pas constante pendant ces six secondes : elle part de zéro, la distance réelle est donc plus petite.

COMPRENDRE
Dans le sujet complet d'origine, la figure 2 est tracée plus haut (environ 150 m à 6 s) : c'est impossible, au-delà de 114 m. On retient la courbe cohérente avec la figure 1, qui donne 80 m.



2.6.2 · Figure 2 du sujet : distance parcourue à la date 6 s

2.7 La base du nuage est située à 2,5 km d'altitude. Toby a-t-il raison d'affirmer que Rocoul devait voler bien bas ?

Données utiles altitude de la base du nuage : $2{,}5\ \text{km}$; $d \approx 80$ m (2.6.2)

Le grêlon atteint 95 % de sa vitesse limite après seulement 80 m de chute, soit à l'altitude $2500 - 80 = 2420$ m, environ $2{,}4$ km.

En dessous de cette altitude, sa vitesse est voisine de la vitesse limite. Le pigeon a donc pu voir ce grêlon rapide à n'importe quelle altitude inférieure à $2{,}4$ km environ, y compris très haut.

Toby a tort : une vitesse proche de la vitesse limite ne prouve pas que Rocoul volait bas.

COMPRENDRE

La distance de mise en régime (80 m) est très petite devant la hauteur de chute ($2{,}5$ km) : le grêlon tombe à vitesse presque constante sur plus de 96 % du trajet.

À LA CALCULATRICE

