Corrigé complet — Bac 2025 Métropole Septembre Jour 2

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Les pluies acides** Couple acide-base et constante d'acidité · Diagramme de distribution · Dilution et acide fort · Réactif limitant et gaz parfait · Temps de demi-réaction et facteurs cinétiques · Titrage acido-basique	9 pts	1 h 35	12 questions	p. 2
Ex 2	**La couleur des scarabées** Interférences constructives · Différence de chemin optique · Couleur par interférences · Mesure à l'échelle sur un document · Incertitude-type et simulation Python · Compatibilité avec une valeur de référence	5 pts	53 min	9 questions	p. 8
Ex 3	**Le réfrigérateur** Convection et loi de Newton · Premier principe de la thermodynamique · Modèle exponentiel et temps caractéristique · Équation d'état du gaz parfait · Force pressante	6 pts	1 h 03	12 questions	p. 12

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.

Les pluies acides

Bac 2025 Métropole Septembre Jour 2 · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 35**

Q1 Écrire l'équation de la réaction acide-base entre le dioxyde de carbone dissous et l'eau. Justifier que le dioxyde de carbone puisse rendre les pluies acides.

Le dioxyde de carbone dissous est l'acide du couple $CO_2\,(aq)/HCO_3^-\,(aq)$; l'eau est la base du couple $H_3O^+\,(aq)/H_2O\,(l)$:

$$CO_2\,(aq) + 2\,H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCO_3^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

Cette réaction produit des ions oxonium H_3O^+ : leur concentration augmente, donc le pH de l'eau de pluie diminue et la pluie devient acide.

PIÈGE
Écrire une flèche simple : la réaction est limitée (le sujet parle d'équilibre et de K_A), il faut la double flèche. Vérifier aussi les deux molécules d'eau, sinon les atomes H et O ne sont pas conservés.

Q2 En utilisant la figure 1, vérifier que le pK_A du couple $CO_2\,(aq)/HCO_3^-\,(aq)$ est voisin de 6,4 à 25 °C.

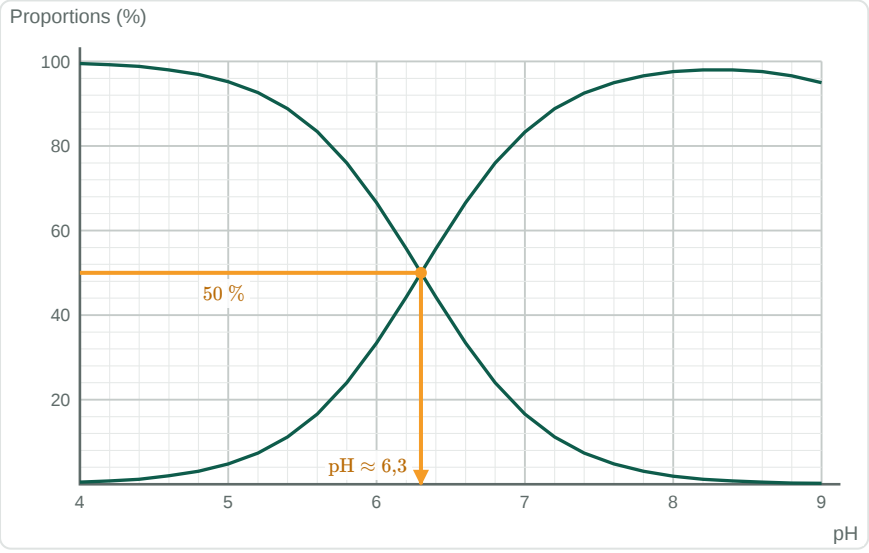
Pour ce couple : $pH = pK_A + \log\dfrac{[HCO_3^-]}{[CO_2]}$.

Quand l'acide et sa base conjuguée sont en proportions égales (50 % chacun), $[HCO_3^-] = [CO_2]$, donc $pH = pK_A + \log 1 = pK_A$.

Sur la figure 1, les courbes de $CO_2\,(aq)$ et de $HCO_3^-\,(aq)$ se croisent à 50 % pour un pH compris entre 6,2 et 6,4.

$pK_A \approx 6{,}3$, valeur bien voisine de 6,4.

MÉTHODE
Sur un diagramme de distribution, le pK_A d'un couple est l'abscisse du point où les courbes de l'acide et de la base se croisent. Le second croisement, vers 10,3, donne celui du couple HCO_3^-/CO_3^{2-}.



Q2 · Figure 1 du sujet, zone du croisement : $CO_2\,(aq)$ décroît, $HCO_3^-\,(aq)$ croît

Q3 Donner la relation entre $[HCO_3^-]$ et $[H_3O^+]$ à l'équilibre, puis montrer que $K_A = \dfrac{[H_3O^+]^2}{[CO_2] \cdot c^\circ}$.

Seule la réaction de Q1 a lieu : elle forme un ion HCO_3^- pour un ion H_3O^+, donc à l'équilibre

$$[HCO_3^-] = [H_3O^+]$$

La constante d'acidité est la constante d'équilibre de cette réaction (l'eau, solvant, n'y figure pas) :

$$K_A = \frac{\dfrac{[HCO_3^-]}{c^\circ} \times \dfrac{[H_3O^+]}{c^\circ}}{\dfrac{[CO_2]}{c^\circ}} = \frac{[HCO_3^-] \times [H_3O^+]}{[CO_2] \cdot c^\circ}$$

En remplaçant $[HCO_3^-]$ par $[H_3O^+]$: $K_A = \dfrac{[H_3O^+]^2}{[CO_2] \cdot c^\circ}$

COMPRENDRE
L'égalité $[HCO_3^-] = [H_3O^+]$ néglige les ions oxonium apportés par l'autoprotolyse de l'eau et la seconde acidité : c'est le sens de la phrase « seule la réaction entre $CO_2\,(aq)$ et l'eau a lieu ».

Q4 Retrouver que le pH de l'eau de pluie non polluée à 25 °C est de 5,6.

Données utiles $[CO_2] = 1{,}3 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{p}K_A = 6{,}4$; $c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

D'après Q3, avec $K_A = 10^{-\text{p}K_A}$:

$$[H_3O^+] = \sqrt{K_A \times [CO_2] \times c^\circ} = \sqrt{10^{-6{,}4} \times 1{,}3 \times 10^{-5} \times 1}$$

soit $[H_3O^+] = 2{,}3 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

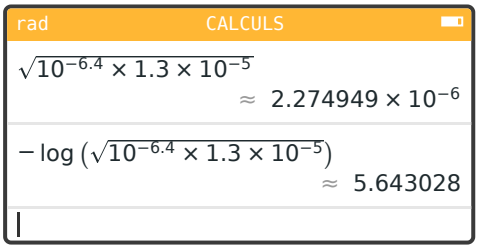
$$\text{pH} = -\log \frac{[H_3O^+]}{c^\circ} = -\log\left(2{,}3 \times 10^{-6}\right) = 5{,}6$$

$\text{pH} = 5{,}6$: on retrouve la valeur annoncée pour une eau de pluie non polluée.

PIÈGE
Oublier la racine carrée : on trouverait un pH de 11,3, absurde pour une solution acide.

COMPRENDRE
La concentration est donnée avec deux chiffres significatifs : on en garde deux pour $[H_3O^+]$. Avec la valeur lue en Q2, $\text{p}K_A = 6{,}3$, on obtient $2{,}6 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et encore $\text{pH} = 5{,}6$.

À LA CALCULATRICE



Q5 Indiquer, en précisant les volumes, la verrerie à utiliser pour préparer 2,00 L de solution S à partir de la solution commerciale S_0.

Données utiles $V_S = 2{,}00$ L ; facteur de dilution $F = 400$

Diluer ne change pas la quantité de soluté prélevée : $c_0 \times V_0 = c_S \times V_S$, avec $c_S = \dfrac{c_0}{F}$. Le volume de solution commerciale à prélever est donc

$$V_0 = \frac{V_S}{F} = \frac{2{,}00}{400} = 5{,}00 \times 10^{-3}\ \text{L} = 5{,}00\ \text{mL}$$

Une pipette jaugée de 5,00 mL pour prélever S_0 et une fiole jaugée de 2,00 L, complétée à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

PIÈGE
Citer une éprouvette graduée ou un bécher : seule la verrerie jaugée (pipette et fiole) garantit la précision d'une dilution. Les deux volumes sont attendus.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{2.00}{400} \approx 0.005$

Q6 Déterminer, en justifiant, si le pH mesuré (1,42) est cohérent avec le fait que l'acide nitrique est un acide fort dans l'eau.

Données utiles $c_0 = 15{,}2\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $F = 400$; $\text{pH}_{\text{mesuré}} = 1{,}42$

Concentration en acide apporté de la solution S :

$$c_S = \frac{c_0}{F} = \frac{15{,}2}{400} = 3{,}80 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

Si l'acide nitrique est fort, sa réaction avec l'eau est totale, $HNO_3\,(aq) + H_2O\,(l) \longrightarrow NO_3^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$, donc $[H_3O^+] = c_S$ et

$$\text{pH} = -\log\frac{c_S}{c^\circ} = -\log\left(3{,}80 \times 10^{-2}\right) = 1{,}42$$

Le pH calculé pour un acide fort (1,42) est égal au pH mesuré : la mesure est cohérente avec le caractère fort de l'acide nitrique.

MÉTHODE
Tester « acide fort » : calculer $-\log(c/c^\circ)$ et comparer au pH mesuré. Égalité : acide fort. Un pH mesuré plus grand signalerait un acide faible, partiellement dissocié.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{15.2}{400} \approx 0.038$

$-\log\left(\frac{15.2}{400}\right) \approx 1.420216$

Q7 Montrer que la quantité de matière théorique maximale de dioxyde de carbone gazeux dans l'expérience n°1 est $n_{CO_2,\max} = 2{,}5 \times 10^{-3}$ mol.

Données utiles $m(CaCO_3) = 2{,}0$ g ; $M(CaCO_3) = 100{,}1\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $c = 1{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_{\text{sol}} = 50$ mL

Quantités initiales des réactifs :

$$n_i(CaCO_3) = \frac{m}{M} = \frac{2{,}0}{100{,}1} = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$$n_i(H_3O^+) = c \times V_{\text{sol}} = 1{,}0 \times 10^{-1} \times 50 \times 10^{-3} = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

D'après l'équation, une mole de $CaCO_3$ réagit avec deux moles de H_3O^+ :

$$\frac{n_i(H_3O^+)}{2} = 2{,}5 \times 10^{-3}\ \text{mol} < \frac{n_i(CaCO_3)}{1} = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

L'ion oxonium est le réactif limitant et $x_{\max} = 2{,}5 \times 10^{-3}$ mol. La réaction étant totale et formant une mole de CO_2 par mole d'avancement :

$n_{CO_2,\max} = x_{\max} = \frac{n_i(H_3O^+)}{2} = 2{,}5 \times 10^{-3}$ mol, valeur attendue.

PIÈGE
Comparer directement $5{,}0 \times 10^{-3}$ et $2{,}0 \times 10^{-2}$ mol sans diviser par les nombres stœchiométriques, ou oublier de convertir 50 mL en litres.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{2.0}{100.1} \approx 0.01998002$

$\frac{1.0 \times 10^{-1} \times 50 \times 10^{-3}}{2} \approx 0.0025$

Q8 Estimer la quantité de matière de dioxyde de carbone gazeux réellement présente dans la fiole dans l'état final de l'expérience n°1. Commenter.

Données utiles figure 3 : $P_f \approx 2{,}2 \times 10^4$ Pa ; $V = 280$ mL ; $T = 295$ K ; $R = 8{,}31$ J · K^{-1} · mol^{-1}

Sur la figure 3, la pression n'évolue presque plus en fin d'enregistrement : elle tend vers $P_f \approx 2{,}2 \times 10^4$ Pa.

Loi des gaz parfaits, avec $V = 280\ \text{mL} = 280 \times 10^{-6}\ \text{m}^3$:

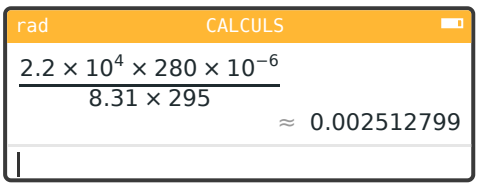
$$n_{CO_2,f} = \frac{P_f \times V}{R \times T} = \frac{2{,}2 \times 10^4 \times 280 \times 10^{-6}}{8{,}31 \times 295}$$

$n_{CO_2,f} \approx 2{,}5 \times 10^{-3}$ mol : c'est la valeur maximale de Q7, la transformation peut donc bien être considérée comme totale.

PIÈGE
Laisser le volume en mL ou en L : dans $PV = nRT$, il s'exprime en m^3, et $1\ \text{mL} = 10^{-6}\ \text{m}^3$. Prendre 330 mL au lieu des 280 mL disponibles pour le gaz fausse aussi le résultat.

COMPRENDRE
La lecture graphique limite la précision à deux chiffres. À 2500 s, la courbe monte encore très légèrement : l'accord avec Q7 est une estimation, pas une égalité stricte.

À LA CALCULATRICE



Q9 Estimer, en expliquant la démarche, le temps de demi-réaction de la transformation dans l'expérience n°1.

Données utiles $P_f \approx 2{,}2 \times 10^4$ Pa (Q8)

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale : $n_{CO_2}(t_{1/2}) = \frac{n_{CO_2,f}}{2}$.

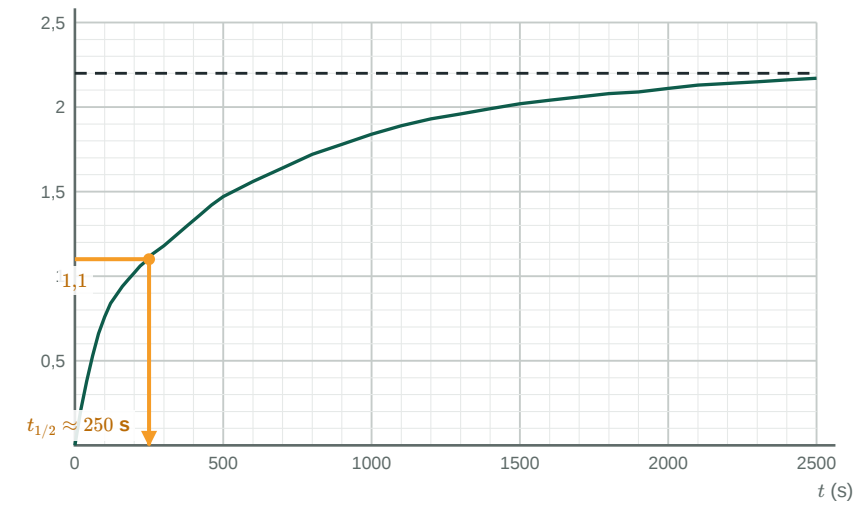
À V et T constants, la pression est proportionnelle à n_{CO_2}, donc

$$P_{CO_2}(t_{1/2}) = \frac{P_f}{2} = \frac{2{,}2 \times 10^4}{2} = 1{,}1 \times 10^4\ \text{Pa}$$

Sur la figure 3, on lit l'abscisse du point de la courbe d'ordonnée $1{,}1 \times 10^4$ Pa.

$t_{1/2} \approx 2{,}5 \times 10^2$ s

PIÈGE
Lire la pression à la moitié de la durée de l'expérience (1250 s), ou prendre la moitié de $2{,}5 \times 10^4$ Pa, sommet de l'axe. C'est la valeur finale de la pression que l'on divise par deux.



Q9 · Figure 3 du sujet : palier estimé à $2{,}2 \times 10^4$ Pa (tirets) et lecture de $t_{1/2}$

Q10 En exploitant les résultats des trois expériences, indiquer un facteur qui influence la cinétique de la détérioration des bâtiments et des statues.

Données utiles $t_{1/2}$: 250 s (expérience 1, Q9) ; 80 s (expérience 2) ; $1{,}6 \times 10^{3}$ s (expérience 3)

Les expériences 1 et 2 ne diffèrent que par la concentration de l'acide : quand elle double (de $1{,}0 \times 10^{-1}$ à $2{,}0 \times 10^{-1}$ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), le temps de demi-réaction passe de 250 s à 80 s. La transformation est plus rapide.

La concentration en ions H_3O^+ est un facteur cinétique : plus la pluie est acide, plus le calcaire des bâtiments et des statues est attaqué rapidement.

COMPRENDRE
Les expériences 2 et 3 montrent un second facteur : l'état de division. En poudre, la surface de contact est plus grande et $t_{1/2}$ est vingt fois plus court. Une pierre poreuse ou déjà fissurée se dégrade donc plus vite.

MÉTHODE
Pour isoler un facteur cinétique, comparer deux expériences qui ne diffèrent que par un seul paramètre : jamais les expériences 1 et 3.

Q11 Déterminer la relation entre la quantité de matière $n(\text{SO}_2)$ de dioxyde de soufre présent dans l'air analysé et la quantité $n(\text{H}_3\text{O}^+)$ d'ions oxonium contenus dans la solution S_a.

La transformation est totale et le peroxyde d'hydrogène est en excès : le dioxyde de soufre est le réactif limitant, il est entièrement consommé. D'après l'équation, une mole de SO_2 consommée forme deux moles de H_3O^+ :

$$n(\text{SO}_2) = \frac{n(\text{H}_3\text{O}^+)}{2}$$

PIÈGE
Inverser le facteur 2 et écrire $n(\text{SO}_2) = 2\,n(\text{H}_3\text{O}^+)$. Il se forme deux fois plus d'ions oxonium qu'il n'y avait de dioxyde de soufre.

Q12 Déterminer si les 18,5 m³ d'air analysé respectent les normes de qualité concernant le dioxyde de soufre. Commenter le protocole et les hypothèses du raisonnement.

Données utiles $c_b = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 4{,}0\ \text{mL}$; $V_{\text{air}} = 18{,}5\ \text{m}^3$; $M(\text{SO}_2) = 64{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; normes : 50, 125 et 300 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$

Titrage. Réaction support : $\text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq}) + \text{HO}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow 2\,\text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = c_b \times V_E = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 4{,}0 \times 10^{-3} = 4{,}0 \times 10^{-5}\ \text{mol}$$

Dioxyde de soufre. D'après Q11 : $n(\text{SO}_2) = \dfrac{n(\text{H}_3\text{O}^+)}{2} = 2{,}0 \times 10^{-5}\ \text{mol}$, soit

$$m(\text{SO}_2) = n(\text{SO}_2) \times M(\text{SO}_2) = 2{,}0 \times 10^{-5} \times 64{,}1 = 1{,}3 \times 10^{-3}\ \text{g}$$

Concentration en masse dans l'air.

$$c_m = \frac{m(\text{SO}_2)}{V_{\text{air}}} = \frac{c_b \times V_E \times M(\text{SO}_2)}{2 \times V_{\text{air}}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-2} \times 4{,}0 \times 10^{-3} \times 64{,}1}{2 \times 18{,}5}$$

soit $c_m = 6{,}9 \times 10^{-5}\ \text{g} \cdot \text{m}^{-3} = 69\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Comparaison aux normes. Cette valeur est une moyenne sur 7 jours. Si la concentration est restée constante, chaque moyenne journalière et chaque moyenne horaire vaut aussi $69\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$: la valeur limite ($125\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) et le seuil d'information ($300\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) sont respectés. En revanche, elle dépasse l'objectif de qualité ($50\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) : il ne serait pas atteint si l'air restait ainsi toute l'année.

Commentaires.

- Concentration supposée constante : une moyenne sur 7 jours peut masquer un pic, une journée ou une heure, au-delà de 125 ou de $300\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Une semaine ne suffit pas non plus pour juger une moyenne annuelle.
- Dissolution supposée complète : si une partie du SO_2 traverse la solution sans réagir, c_m est sous-estimée.
- SO_2 supposé seule espèce acide : d'autres gaz acides de l'air (oxydes d'azote, CO_2) fourniraient aussi des ions H_3O^+, et c_m serait surestimée.
- Le volume $V_E = 4{,}0$ mL est faible : son incertitude relative est grande. Une solution titrante plus diluée donnerait un volume équivalent plus grand.

$c_m \approx 69\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$: valeur limite et seuil d'information respectés (à concentration constante), mais objectif de qualité annuel de $50\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ dépassé.

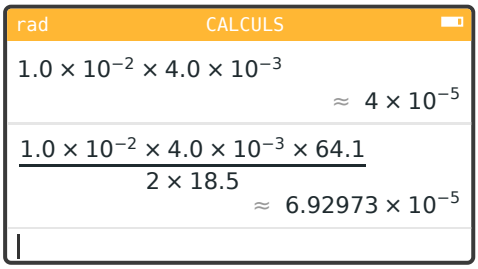
PIÈGE

Oublier le facteur 2 de Q11 double le résultat ($139\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) et inverse la conclusion sur la valeur limite. Convertir V_E en litres, puis les grammes en microgrammes : $1\ \text{g} = 10^6\ \mu\text{g}$.

MÉTHODE

Question ouverte : annoncer le plan (titrage, quantité de SO_2, masse, concentration, comparaison), puis confronter le résultat à chaque norme en précisant sur quelle durée porte la moyenne.

À LA CALCULATRICE



La couleur des scarabées

Bac 2025 Métropole Septembre Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Rappeler la condition d'obtention d'interférences constructives entre deux ondes issues d'une même source monochromatique, en fonction de δ et λ.

Les interférences sont constructives si la différence de chemin optique est un multiple entier de la longueur d'onde : les deux ondes arrivent alors en phase.

$\delta = k\,\lambda$, avec k entier relatif.

PIÈGE
Confondre avec la condition d'interférences destructives, $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$. Préciser que k est un entier fait partie de la réponse.

Q2 Montrer que les épaisseurs donnant des interférences constructives vérifient $e = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \frac{\lambda}{2\,n_{\text{fort}}}$, avec k entier positif ou nul.

Données utiles $\delta = 2\,n_{\text{fort}}\,e - \frac{\lambda}{2}$; condition $\delta = k\,\lambda$ (Q1)

Interférences constructives : $\delta = k\,\lambda$, donc

$$2\,n_{\text{fort}}\,e - \frac{\lambda}{2} = k\,\lambda$$

$$2\,n_{\text{fort}}\,e = k\,\lambda + \frac{\lambda}{2} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

L'épaisseur e est positive, ce qui impose $k \geqslant 0$.

$e = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \frac{\lambda}{2\,n_{\text{fort}}}$: c'est la relation attendue.

COMPRENDRE
Le terme $-\frac{\lambda}{2}$ explique le « $+\frac{1}{2}$ » : sans lui, on obtiendrait $e = k\,\frac{\lambda}{2\,n_{\text{fort}}}$ et l'ordre $k = 0$ donnerait une épaisseur nulle.

Q3 Déterminer l'épaisseur des couches d'un scarabée pour lequel $\lambda = 530$ nm correspond à des interférences constructives. Préciser sa couleur apparente.

Données utiles $k = 0$; $\lambda = 530$ nm ; $n_{\text{fort}} = 1{,}7$

Pour $k = 0$: $e = \frac{1}{2} \times \frac{\lambda}{2\,n_{\text{fort}}} = \frac{\lambda}{4\,n_{\text{fort}}}$

$$e = \frac{530}{4 \times 1{,}7} = 78 \text{ nm}$$

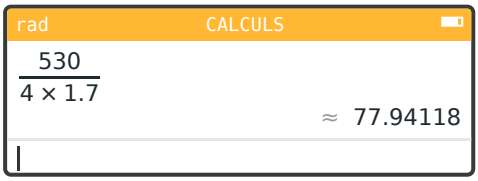
La radiation renforcée dans la lumière réfléchie a pour longueur d'onde 530 nm, ce qui correspond au vert dans le tableau.

$e = 78$ nm ; le scarabée apparaît **vert**.

PIÈGE
Oublier le facteur $\frac{1}{2}$ de l'ordre $k = 0$ et calculer $\frac{\lambda}{2\,n_{\text{fort}}} = 156$ nm, soit le double.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $n_{\text{fort}} = 1{,}7$, la donnée la moins précise. En laissant λ en nanomètres, e sort directement en nanomètres.

À LA CALCULATRICE



Q4 À partir de la figure 3, déterminer l'épaisseur moyenne e d'une couche, en explicitant la méthode qui donne la meilleure précision.

Données utiles la barre d'échelle représente 1 µm ; règle graduée en cm sur la figure

Mesurer une seule couche (environ 2 mm sur la figure) serait trop imprécis : on mesure la distance d occupée par un grand nombre de couches, puis on divise par ce nombre.

Sur la figure 3, lue avec la règle :

- la distance d couvre 9 couches (5 noires et 4 claires) : $d = 1{,}9$ cm ;
- la barre d'échelle mesure $2{,}6$ cm pour 1 µm.

Une couche occupe donc $\frac{d}{9}$ sur la figure, et par proportionnalité :

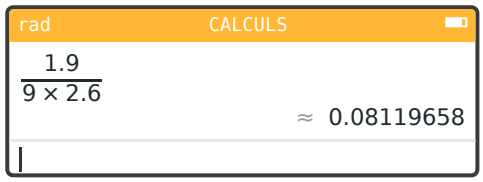
$$e = \frac{1{,}9}{9 \times 2{,}6} \times 1\ \mu\text{m} = 0{,}081\ \mu\text{m}$$

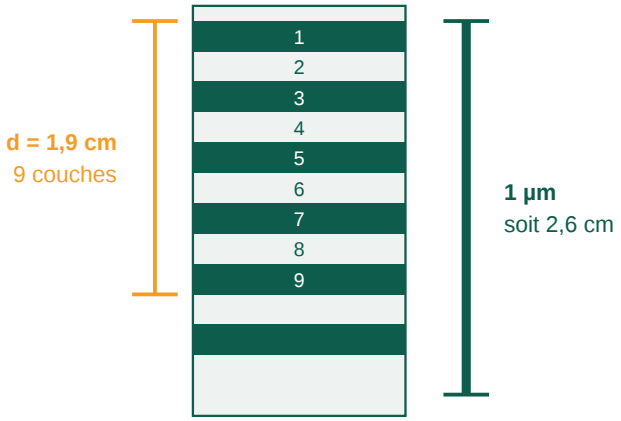
$e = 81$ nm, valeur proche des 78 nm de la question Q3.

PIÈGE
Compter seulement les bandes noires : une couche claire est aussi une couche d'épaisseur e . Entre les deux traits qui délimitent d, il y a bien 9 couches.

MÉTHODE
Pour mesurer une petite grandeur répétée (couche, interfrange, période), mesurer N motifs d'un coup : l'erreur de lecture, toujours de l'ordre du millimètre, est divisée par N.

À LA CALCULATRICE





Q4 · Principe de la mesure sur la figure 3 : 9 couches dans la distance d

Q5 Indiquer une source d'incertitude possible dans la mesure de l'épaisseur e faite à la question Q4.

Les distances sont lues sur une règle graduée au millimètre : pour $d \approx 1{,}9$ cm, une erreur de lecture de 1 mm représente déjà environ 5 %.

Source d'incertitude : la lecture des longueurs sur la règle, graduée seulement au millimètre.

COMPRENDRE
D'autres réponses sont recevables : limites floues entre couches noires et claires, couches ondulées et d'épaisseurs inégales, longueur de la barre d'échelle elle-même lue au millimètre près.

Q6 Recopier la ligne 8 du programme et la compléter avec des valeurs appropriées, exprimées en cm.

Données utiles $d = 1{,}9$ cm (Q4) ; ligne 7 : `echelle = rd.uniform(2.6, 2.7, Nsim)`

La distance d a été lue à $1{,}9$ cm sur une règle graduée au millimètre : la vraie valeur se situe à une graduation près, entre $1{,}8$ cm et $2{,}0$ cm. Ce sont les bornes de l'intervalle dans lequel le programme tire les valeurs de d.

```
d_mes = rd.uniform(1.8, 2.0, Nsim)
```

PIÈGE
Écrire les bornes avec une virgule ou en millimètres. En Python le séparateur décimal est le point, et le commentaire de la ligne 8 impose des centimètres.

COMPRENDRE
La valeur moyenne affichée (75,5 nm) correspond en fait à un tirage entre 1.7 et 1.9, c'est-à-dire à une lecture $d = 1{,}8$ cm. Les deux réponses conviennent si elles encadrent, à 1 mm près, la mesure faite en Q4.

Q7 Justifier la présence du nombre 1 000 dans l'expression de la ligne 11 du programme.

Données utiles ligne 11 : `e = d_mes*1000/(9*echelle)`

Le quotient `d_mes/(9*echelle)` est le calcul de la question Q4 : les deux longueurs sont en centimètres et la barre d'échelle représente 1 µm, donc ce quotient donne e en micromètres.

Le programme doit fournir e en nanomètres. Or $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}$ et $1\ \text{nm} = 10^{-9}\ \text{m}$.

$1\ \mu\text{m} = 1\,000\ \text{nm}$: le facteur 1 000 convertit l'épaisseur des micromètres en nanomètres.

Q8 Écrire le résultat de la mesure de e_{moyen} avec un seul chiffre significatif pour l'incertitude-type, puis discuter la compatibilité avec la réponse à la question Q3 prise comme référence.

Données utiles $u(e) = 2{,}557\ldots$ nm ; $e_{\text{moyen}} = 75{,}487\ldots$ nm ; $e_{\text{ref}} = 78$ nm (Q3)

Avec un seul chiffre significatif : $u(e) = 3$ nm. L'incertitude-type porte sur le chiffre des unités, on arrondit donc la valeur moyenne au nanomètre : $e_{\text{moyen}} = 75$ nm.

$$e_{\text{moyen}} = 75\ \text{nm} \quad ; \quad u(e) = 3\ \text{nm}$$

Comparaison à la valeur de référence :

$$\frac{|e_{\text{moyen}} - e_{\text{ref}}|}{u(e)} = \frac{|75 - 78|}{3} = 1$$

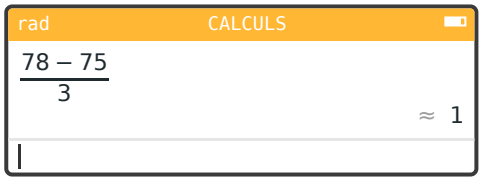
L'écart entre les deux valeurs vaut une seule incertitude-type, ce qui est inférieur à 2.

$e_{\text{moyen}} = (75 \pm 3)$ nm ; quotient égal à 1 : la mesure est **compatible** avec la valeur de 78 nm.

PIÈGE
Recopier tous les chiffres affichés par Python (75,48793757 nm). Les chiffres situés au-delà du rang de l'incertitude n'ont aucun sens.

MÉTHODE
Écriture d'un résultat : arrondir d'abord l'incertitude-type, puis arrondir la valeur au même rang décimal. Un quotient inférieur à 2 est le critère usuel de compatibilité.

À LA CALCULATRICE



Q9 Estimer la longueur d'onde qui correspond à des interférences constructives dans la zone 2, puis proposer une hypothèse pour la couleur perçue de cette zone.

Données utiles figure 5 ; $n_{\text{fort}} = 1{,}7$; $k = 0$; $e = \dfrac{\lambda}{4\,n_{\text{fort}}}$ (Q3)

Épaisseur d'une couche de la zone 2. Même méthode qu'à la question Q4, sur la photo de la zone 2 de la figure 5, avec une règle :

- 8 couches consécutives (4 noires et 4 claires) occupent $d_2 = 1{,}7$ cm ;
- la barre d'échelle mesure $1{,}8$ cm pour 1 µm.

$$e_2 = \frac{1{,}7}{8 \times 1{,}8} \times 1\ \mu\text{m} = 0{,}118\ \mu\text{m} = 118\ \text{nm}$$

Les couches de la zone 2 sont nettement plus épaisses que celles de la zone 1 (environ 80 nm).

Longueur d'onde renforcée. Pour $k = 0$, $e = \dfrac{\lambda}{4\,n_{\text{fort}}}$, donc $\lambda = 4\,n_{\text{fort}}\,e$:

$$\lambda_2 = 4 \times 1{,}7 \times 118 = 8{,}0 \times 10^2\ \text{nm}$$

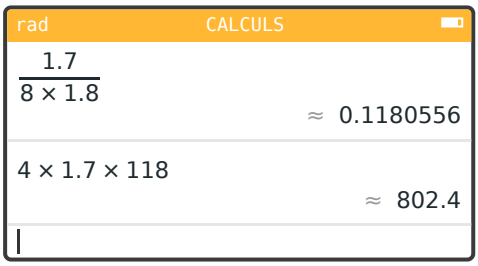
Couleur. Cette valeur est proche de la plus grande longueur d'onde du tableau (750 nm, rouge), à la limite du domaine visible. Compte tenu de l'imprécision de la mesure (1 mm sur d_2 change λ_2 d'environ 50 nm), les radiations renforcées se situent à l'extrémité rouge du spectre.

$\lambda_2 \approx 8 \times 10^2$ nm : la zone 2 est probablement perçue **rouge**.

PIÈGE
Rendre un calcul sans démarche. Ici les points portent sur les étapes : mesures annoncées, échelle, épaisseur, relation avec $k = 0$, puis lien avec le tableau des couleurs.

COMPRENDRE
L'épaisseur et la longueur d'onde renforcée sont proportionnelles : des couches environ 1,5 fois plus épaisses que dans la zone verte donnent $\lambda \approx 1{,}5 \times 530 \approx 800$ nm. Ce contrôle rapide confirme l'ordre de grandeur.

À LA CALCULATRICE



Le réfrigérateur

Bac 2025 Métropole Septembre Jour 2 · Exercice 3 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

Q1 Caractériser qualitativement le phénomène de convection, un des modes de transfert thermique entre S et son environnement.

La convection est un transfert thermique qui s'accompagne d'un **déplacement de matière** : elle se produit dans les fluides (liquides ou gaz). Ici, l'air du réfrigérateur circule autour de la bouteille et emporte l'énergie qu'elle cède.

Convection : transfert thermique porté par le mouvement d'ensemble d'un fluide.

COMPRENDRE
Les deux autres modes : la conduction (de proche en proche, sans déplacement de matière) et le rayonnement (ondes électromagnétiques, possible dans le vide).

Q2 Indiquer, en justifiant, le sens du transfert thermique Q dans le cas étudié.

Un transfert thermique se fait spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. La bouteille, à environ 20 °C, est plus chaude que l'air du réfrigérateur, à environ 7 °C.

Le transfert thermique a lieu de la bouteille S vers l'air intérieur du réfrigérateur : S cède de l'énergie, $Q < 0$.

COMPRENDRE
La loi de Newton le confirme : $\theta_{\text{réfri}} - \theta(t) < 0$, donc le flux Φ reçu par S est négatif.

Q3 Exprimer $\theta(t = 0)$ puis la limite de $\theta(t)$ quand $t \to +\infty$ en fonction de A et B. En déduire, à l'aide de la figure 1 de l'annexe, des valeurs de A et B avec leur unité.

Données utiles $\theta(t) = A\,e^{-t/\tau} + B$

À $t = 0$: $e^0 = 1$, donc $\theta(0) = A + B$.

Quand $t \to +\infty$: $e^{-t/\tau} \to 0$, donc $\lim\limits_{t \to +\infty} \theta(t) = B$.

Sur la figure 1 : la courbe part de $\theta(0) \approx 20{,}5$ °C et tend vers une asymptote horizontale à environ 7,0 °C.

Donc $B \approx 7{,}0$ °C et $A = \theta(0) - B \approx 20{,}5 - 7{,}0 = 13{,}5$ °C.

$A \approx 13{,}5$ °C et $B \approx 7{,}0$ °C

COMPRENDRE
B est la température finale de la bouteille, celle de l'air du réfrigérateur ; A est l'écart initial entre la bouteille et cet air. L'exponentielle est sans unité : A et B ont l'unité de θ.

Q4 Montrer graphiquement, avec la construction sur la figure 1 de l'annexe, que la constante τ est de l'ordre de 12×10^3 s.

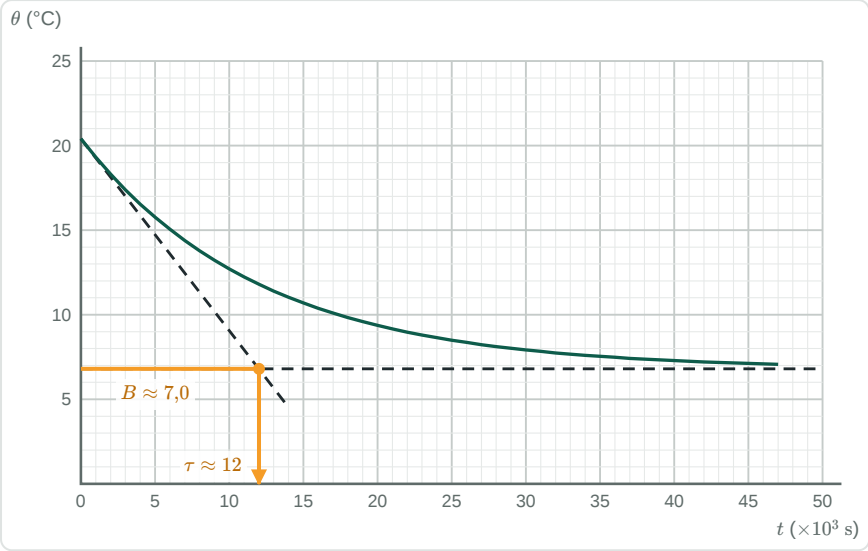
On trace la tangente à la courbe à l'instant $t = 0$, ainsi que l'asymptote horizontale $\theta = B$.

La tangente à l'origine coupe l'asymptote à l'instant $t = \tau$. On lit l'abscisse du point d'intersection sur la figure.

$\tau \approx 12 \times 10^3$ s : valeur lue conforme à la valeur attendue.

PIÈGE
L'axe des abscisses est gradué en 10^3 s : la lecture « 12 » signifie 12×10^3 s, soit plus de trois heures.

MÉTHODE
Vérification sans tangente : à $t = \tau$, l'écart à l'asymptote ne vaut plus que 37 % de A, soit $\theta(\tau) = 7{,}0 + 0{,}37 \times 13{,}5 \approx 12{,}0$ °C. La courbe passe par 12 °C vers $t = 12 \times 10^3$ s.



Q4 · Figure 1 de l'annexe : tangente à l'origine et asymptote

Q5 Appliquer le premier principe de la thermodynamique au système S entre t et $t+\Delta t$ pour exprimer $\theta(t+\Delta t)-\theta(t)$ en fonction de Δt, ρ_S, V_S, c_S, α et $(\theta_{\text{réfri}}-\theta(t))$.

Données utiles $\Phi = \alpha\,(\theta_{\text{réfri}}-\theta(t))$

Système S {bouteille d'eau}, au repos, incompressible : il ne reçoit aucun travail, $W=0$.

Premier principe entre t et $t+\Delta t$: $\Delta U = W + Q = Q$.

Variation d'énergie interne, avec $m_S = \rho_S V_S$: $\Delta U = \rho_S V_S c_S \big(\theta(t+\Delta t)-\theta(t)\big)$.

Transfert thermique reçu pendant Δt : $Q = \Phi\,\Delta t = \alpha\,(\theta_{\text{réfri}}-\theta(t))\,\Delta t$.

En égalant les deux expressions :

$$\theta(t+\Delta t)-\theta(t) = \frac{\alpha\,(\theta_{\text{réfri}}-\theta(t))}{\rho_S V_S c_S}\,\Delta t$$

PIÈGE
Φ est une puissance (en W). L'énergie échangée pendant Δt est $Q = \Phi\,\Delta t$; écrire $\Delta U = \Phi$ n'est pas homogène.

COMPRENDRE
En divisant par Δt puis en faisant tendre Δt vers 0, le membre de gauche devient $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$: on retrouve l'équation différentielle du sujet, avec $\tau = \dfrac{\rho_S V_S c_S}{\alpha}$.

Q6 Établir, en fonction de τ, θ_0, $\theta_{\text{réfri}}$ et $\theta_{\text{idéale}}$, l'expression de la durée $t_{\text{idéale}}$ nécessaire pour que S atteigne la température idéale de consommation.

Données utiles $\theta(t) = (\theta_0-\theta_{\text{réfri}})\,e^{-t/\tau}+\theta_{\text{réfri}}$

À l'instant $t_{\text{idéale}}$: $\theta_{\text{idéale}} = (\theta_0-\theta_{\text{réfri}})\,e^{-t_{\text{idéale}}/\tau}+\theta_{\text{réfri}}$

$$e^{-t_{\text{idéale}}/\tau} = \frac{\theta_{\text{idéale}}-\theta_{\text{réfri}}}{\theta_0-\theta_{\text{réfri}}}$$

On prend le logarithme népérien : $-\dfrac{t_{\text{idéale}}}{\tau} = \ln\left(\dfrac{\theta_{\text{idéale}}-\theta_{\text{réfri}}}{\theta_0-\theta_{\text{réfri}}}\right)$

$$t_{\text{idéale}} = \tau\,\ln\left(\frac{\theta_0-\theta_{\text{réfri}}}{\theta_{\text{idéale}}-\theta_{\text{réfri}}}\right)$$

MÉTHODE
Pour extraire t d'une exponentielle : isoler l'exponentielle seule dans un membre, puis appliquer $\ln$. Le signe « $-$ » disparaît en inversant le quotient, car $-\ln(a/b) = \ln(b/a)$.

Q7 Calculer la durée $t_{\text{idéale}}$ et indiquer si elle est cohérente avec le graphique de l'annexe. Une construction graphique est attendue.

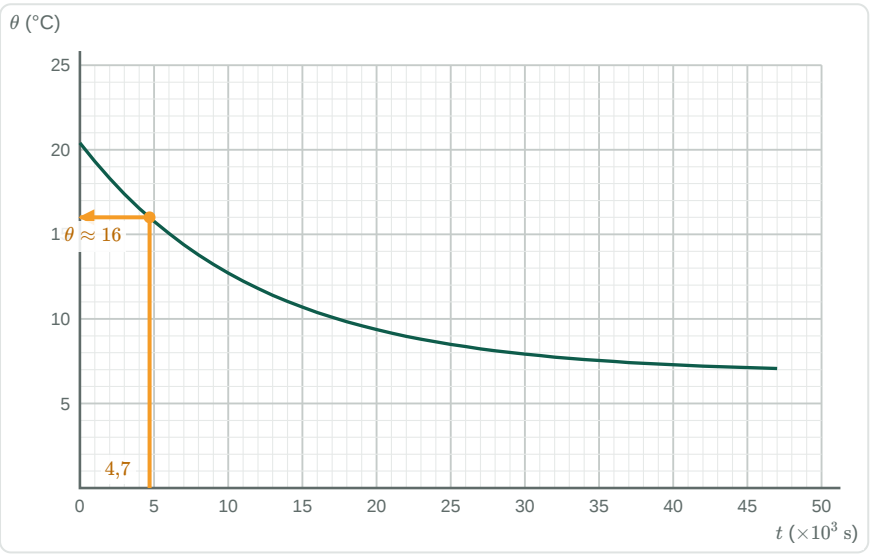
Données utiles $\tau = 12 \times 10^3$ s (Q4) ; $\theta_0 = 20{,}4$ °C ; $\theta_{\text{réfri}} = 6{,}8$ °C ; $\theta_{\text{idéale}} = 16$ °C

$$t_{\text{idéale}} = 12 \times 10^3 \times \ln\left(\frac{20{,}4 - 6{,}8}{16 - 6{,}8}\right) = 4{,}7 \times 10^3 \text{ s}$$

soit environ 1 h 18 min.

Sur la figure 1, on se place à l'abscisse $4{,}7 \times 10^3$ s, on rejoint la courbe puis l'axe des ordonnées : on lit $\theta \approx 16$ °C.

$t_{\text{idéale}} = 4{,}7 \times 10^3$ s : durée cohérente avec le graphique.



Q7 · Figure 1 de l'annexe : lecture de la température à $t_{\text{idéale}}$

PIÈGE
Une différence de températures a la même valeur en °C et en K : inutile de convertir. Convertir une seule des températures fausserait le quotient.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme τ et $\theta_{\text{idéale}}$. Avec $\tau = \frac{\rho_S V_S c_S}{\alpha} = 1{,}25 \times 10^4$ s, on obtient $4{,}9 \times 10^3$ s : même ordre de grandeur, également accepté.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$12 \times 10^3 \times \ln\left(\frac{20.4 - 6.8}{16 - 6.8}\right) \approx 4690.396$

Q8 Expliquer pourquoi, dans l'hypothèse d'un système fermé, le quotient $\frac{P}{T}$ peut être considéré constant lors du refroidissement de l'air du réfrigérateur.

Équation d'état du gaz parfait pour l'air intérieur : $P\,V_{\text{réfri}} = n\,R\,T$, soit $\frac{P}{T} = \frac{n\,R}{V_{\text{réfri}}}$.

Le système est fermé : la quantité de matière n d'air est constante. Le volume $V_{\text{réfri}}$ de l'enceinte est fixe et R est une constante.

$$\frac{P}{T} = \frac{n\,R}{V_{\text{réfri}}} = \text{constante}$$

Q9 Calculer, dans ce modèle, la pression P_{finale} de l'air à l'intérieur du réfrigérateur lorsque la température intérieure s'est stabilisée à 277 K.

Données utiles $P_0 = P_{\text{amb}} = 1009{,}1 \times 10^2$ Pa ; $T_0 = T_{\text{amb}} = 293$ K ; $T_{\text{finale}} = 277$ K

Comme $\frac{P}{T}$ est constant : $\frac{P_{\text{finale}}}{T_{\text{finale}}} = \frac{P_0}{T_0}$, donc $P_{\text{finale}} = P_0 \times \frac{T_{\text{finale}}}{T_0}$.

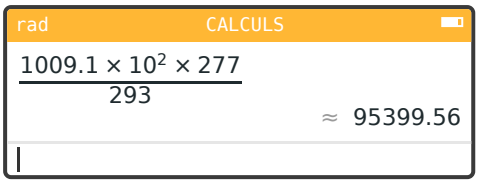
$$P_{\text{finale}} = 1009{,}1 \times 10^2 \times \frac{277}{293} = 9{,}54 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$P_{\text{finale}} = 9{,}54 \times 10^4$ Pa, soit 954×10^2 Pa

PIÈGE
Les températures doivent rester en kelvins : le rapport $\frac{T_{\text{finale}}}{T_0}$ calculé en degrés Celsius ($4/20$) donnerait un résultat absurde.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme les températures. La pression baisserait d'environ 55×10^2 Pa, soit 5 % : c'est considérable pour une porte.

À LA CALCULATRICE



Q10 Indiquer une raison possible de l'écart entre le résultat du calcul précédent et la pression réellement mesurée.

Données utiles $P_{\text{finale}} = 954 \times 10^2$ Pa (Q9) ; pression mesurée voisine de $1009{,}1 \times 10^2$ Pa

Le sujet renvoie à « la question Q8 » : le calcul concerné est celui de la question Q9.

La pression mesurée est restée égale à la pression ambiante, alors que le modèle prévoit une baisse. L'hypothèse du système fermé n'est donc pas vérifiée : la porte n'est pas parfaitement étanche. Pendant le refroidissement, lent, de l'air extérieur entre par les joints ; n augmente et la pression intérieure se rééquilibre avec la pression extérieure.

Le réfrigérateur n'est pas un système fermé : de l'air entre, la pression intérieure reste égale à P_{amb}.

COMPRENDRE
Erreur de renvoi dans l'énoncé : la question Q8 ne comporte aucun calcul. On le signale en une ligne et on répond sur la valeur trouvée en Q9.

Q11 À l'aide de la figure 2, justifier qu'il peut être difficile de rouvrir la porte du réfrigérateur après une durée $\Delta t = 3$ s.

Données utiles fermeture à $t_1 = 4476$ s ; avant la fermeture, $P = P_{\text{amb}} \approx 1009{,}1 \times 10^2$ Pa

Trois secondes après la fermeture : $t = t_1 + \Delta t = 4476 + 3 = 4479$ s.

Sur la figure 2, à cet instant, la pression intérieure est proche de son minimum : $P_{\text{int}} \approx 1008{,}55 \times 10^2$ Pa, inférieure à la pression extérieure $P_{\text{amb}} = 1009{,}1 \times 10^2$ Pa.

L'air extérieur appuie donc plus fort sur la porte que l'air intérieur : la porte est plaquée contre le réfrigérateur.

À $t = 4479$ s, $P_{\text{int}} < P_{\text{amb}}$: la porte est poussée vers l'intérieur, donc difficile à rouvrir.

COMPRENDRE
L'air chaud entré pendant l'ouverture se refroidit vite une fois la porte fermée : sa pression chute en quelques secondes, puis remonte lentement à mesure que de l'air s'infiltre par les joints.

Q12 En assimilant la porte à une plaque rectangulaire très fine de surface S_{plaque}, déterminer la valeur et la direction de la résultante $\vec{F}$ des forces pressantes sur la plaque après $\Delta t = 3$ s. Commenter.

Données utiles $S_{\text{plaque}} = 1{,}2\ \text{m}^2$; $P_{\text{amb}} = 1009{,}1 \times 10^2$ Pa ; $P_{\text{int}} = 1008{,}55 \times 10^2$ Pa (Q11) ; $g = 9{,}8\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$

Chaque face de la porte subit une force pressante perpendiculaire à la plaque, de valeur $F = P\,S$:

- air extérieur : $F_{\text{ext}} = P_{\text{amb}}\,S_{\text{plaque}}$, dirigée vers l'intérieur ;
- air intérieur : $F_{\text{int}} = P_{\text{int}}\,S_{\text{plaque}}$, dirigée vers l'extérieur.

Ces forces sont de sens opposés et $F_{\text{ext}} > F_{\text{int}}$: $F = (P_{\text{amb}} - P_{\text{int}})\,S_{\text{plaque}}$

$$F = (1009{,}1 \times 10^2 - 1008{,}55 \times 10^2) \times 1{,}2 = 66\ \text{N}$$

Commentaire : cette force équivaut au poids d'une masse $m = \dfrac{F}{g} = \dfrac{66}{9{,}8} \approx 6{,}7$ kg. Il faut vaincre cet effort supplémentaire pour tirer la porte : l'ouverture est nettement plus difficile.

$F \approx 66$ N, perpendiculaire à la porte, dirigée de l'extérieur vers l'intérieur du réfrigérateur.

PIÈGE

Multiplier une seule pression par la surface donne plus de 10^5 N : c'est la force sur une face, pas la résultante. Seule la différence de pression compte, et le facteur 10^2 ne doit pas être oublié.

COMPRENDRE

L'écart de pression n'est que de 55 Pa, soit 0,05 % de la pression ambiante ; appliqué sur plus d'un mètre carré, il suffit pourtant à produire un effort sensible.

À LA CALCULATRICE

