Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Physique-chimie

Session 2025 • Métropole • Jour 2 • Remplacement

Code sujet **25-PYCJ2ME3** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — Les pluies acides
12 réponses • sujet p. 2–5

Exercice 2 — La couleur des scarabées
9 réponses • sujet p. 6–9

Exercice 3 — Le réfrigérateur
12 réponses • sujet p. 10–13

Les numéros, parties et pages renvoient au sujet original. Chaque réponse rappelle la consigne, explique la démarche et donne le résultat.

Exercice 1

9 points

Les pluies acides

1. Origine des pluies acides

Question Q1.

Sujet p. 2

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

Le dioxyde de carbone dissous réagit avec l'eau en formant des ions hydrogénocarbonate et oxonium. L'équation acide-base équilibrée est :

$\mathrm{CO_2(aq) + 2\,H_2O(\ell) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)}$.

La formation d'ions $\mathrm{H_3O^+}$ augmente leur concentration dans l'eau. Comme le pH diminue lorsque cette concentration augmente, le dioxyde de carbone dissous peut rendre les pluies acides.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\mathrm{CO_2(aq) + 2\,H_2O(\ell) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)}$. La formation d'ions oxonium abaisse le pH de l'eau.

Question Q2.

Sujet p. 2, 3

> En utilisant la figure 1, vérifier que la valeur du pKA du couple CO_2(aq) / HCO_3^-(aq) est voisine de 6,4 à 25 °C.

Sur le diagramme, les proportions de $\mathrm{CO_2(aq)}$ et de $\mathrm{HCO_3^-(aq)}$ sont égales au croisement de leurs courbes, vers $\mathrm{pH} = 6{,}4$. Pour le couple acide/base conjuguée, la relation de Henderson–Hasselbalch implique qu'à l'égalité des concentrations de l'acide et de la base, $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_A$.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le croisement des courbes se situe vers $\mathrm{pH} = 6{,}4$, donc $\mathrm{p}K_A \approx 6{,}4$ à $25\,^\circ\mathrm{C}$.

Question Q3.

Sujet p. 3

> On suppose que seule la réaction entre le dioxyde de carbone dissous CO_2(aq) et l'eau a lieu. Donner la relation entre les concentrations des espèces HCO_3^- et H_3O^+ à l'équilibre, notées $[HCO_3^-]$ et $[H_3O^+]$, puis montrer que la constante d'acidité KA a pour expression $KA = [H_3O^+]^2 / ([CO_2] \cdot c°)$.

La réaction considérée est $\mathrm{CO_2 + 2H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + H_3O^+}$. Elle forme un ion hydrogénocarbonate pour un ion oxonium. En ne considérant que cette réaction, comme le demande l'énoncé, les quantités de matière formées sont égales et, dans un même volume de solution, les concentrations à l'équilibre vérifient :

$[\mathrm{HCO_3^-}] = [\mathrm{H_3O^+}]$.

En exprimant la constante d'acidité à partir des concentrations rapportées à la concentration standard :

$$K_A = \frac{([\mathrm{HCO_3^-}]/c^\circ)([\mathrm{H_3O^+}]/c^\circ)}{[\mathrm{CO_2}]/c^\circ} = \frac{[\mathrm{HCO_3^-}][\mathrm{H_3O^+}]}{[\mathrm{CO_2}]c^\circ}.$$

En utilisant l'égalité des deux concentrations formées, on obtient l'expression demandée.

RÉPONSE À RETENIR

$[\mathrm{HCO_3^-}] = [\mathrm{H_3O^+}]$ et $K_A = \dfrac{[\mathrm{H_3O^+}]^2}{[\mathrm{CO_2}]\,c^\circ}$.

Question Q4.

Sujet p. 2, 3

> Retrouver que la valeur du pH de l'eau de pluie non polluée à 25 °C est de 5,6.

D'après Q3, $[\mathrm{H_3O^+}] = \sqrt{K_A[\mathrm{CO_2}]c^\circ}$. Avec $\mathrm{p}K_A \simeq 6{,}4$, on a $K_A = 10^{-6{,}4} \simeq 3{,}98 \times 10^{-7}$. En utilisant $[\mathrm{CO_2}] = 1{,}3 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$ et $c^\circ = 1\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$:

$[\mathrm{H_3O^+}] = \sqrt{(3{,}98 \times 10^{-7})(1{,}3 \times 10^{-5})(1)} \simeq 2{,}3 \times 10^{-6}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$.

Le pH est $-\log_{10}([\mathrm{H_3O^+}]/c^\circ)$, soit environ $5{,}64$.

RÉPONSE À RETENIR

$\mathrm{pH} \simeq 5{,}64$, ce qui donne $\mathrm{pH} \simeq 5{,}6$ à la précision demandée.

Question Q5.

Sujet p. 3

> Indiquer, en précisant les volumes, la verrerie à utiliser pour préparer 2,00 L de solution aqueuse S d'acide nitrique à partir de la solution commerciale S_0.

Pour une dilution au facteur 400, le volume de solution commerciale à prélever est $V_0 = V_S/400$. Ainsi, $V_0 = 2{,}00\ \mathrm{L}/400 = 0{,}00500\ \mathrm{L} = 5{,}00\ \mathrm{mL}$.

On prélève $5{,}00\ \mathrm{mL}$ de S_0 avec une pipette jaugée de $5{,}00\ \mathrm{mL}$, puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge d'une fiole jaugée de $2{,}00\ \mathrm{L}$. Pour la sécurité, on verse l'acide dans l'eau.

RÉPONSE À RETENIR

Utiliser une pipette jaugée de $5{,}00\ \mathrm{mL}$ et une fiole jaugée de $2{,}00\ \mathrm{L}$, puis compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Question Q6.

Sujet p. 3

> Le pH-mètre plongé dans la solution S affiche une valeur de 1,42 à 25 °C. Déterminer, en justifiant, si la mesure du pH est cohérente avec le fait que l'acide nitrique est un acide fort dans l'eau.

Après dilution, la concentration est $c = c_0/400 = 15{,}2/400 = 3{,}80 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$. Si l'acide nitrique est fort, il est totalement dissocié dans l'eau et $[\mathrm{H_3O^+}] \simeq c$. Le pH attendu est donc $-\log_{10}(3{,}80 \times 10^{-2}) = 1{,}420$.

Cette valeur calculée est cohérente avec l'affichage du pH-mètre, $1{,}42$.

RÉPONSE À RETENIR

Le pH attendu pour un acide nitrique fort est $1{,}42$. La mesure est cohérente avec cette hypothèse.

2. Conséquences des pluies acides

Question Q7.

Sujet p. 3, 4

> Montrer que la quantité de matière théorique maximale de dioxyde de carbone gazeux pouvant être obtenue dans

> les conditions de l'expérience n° 1 est $n_{CO_2,max}$ = 2,5 × 10⁻³ mol.

La réaction est $\mathrm{CaCO_3(s) + 2H_3O^+(aq) \rightarrow CO_2(g) + Ca^{2+}(aq) + 3H_2O(\ell)}$. La quantité initiale de carbonate de calcium vaut $n(\mathrm{CaCO_3}) = 2{,}0/100{,}1 \simeq 2{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$.

Dans l'expérience n° 1, la quantité initiale d'ions oxonium est $n(\mathrm{H_3O^+}) = cV = (1{,}0 \times 10^{-1})(50 \times 10^{-3}) = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$. Il faut deux moles d'ions oxonium pour former une mole de $\mathrm{CO_2}$. Les ions oxonium sont limitants, donc $n_{\mathrm{CO_2,max}} = n(\mathrm{H_3O^+})/2$.

RÉPONSE À RETENIR

$n_{\mathrm{CO_2,max}} = \dfrac{5{,}0 \times 10^{-3}}{2} = 2{,}5 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$. Le carbonate de calcium est en excès.

Question Q8.

Sujet p. 3, 4

> Estimer la quantité de matière de dioxyde de carbone gazeux réellement présente dans la fiole à vide dans l'état final lors de l'expérience n° 1. Commenter le résultat obtenu.

La courbe atteint à l'état final une pression d'environ $2{,}1 \times 10^4\ \mathrm{Pa}$. Avec la loi des gaz parfaits, $n = PV/(RT)$. Le volume gazeux vaut $280\ \mathrm{mL} = 2{,}80 \times 10^{-4}\ \mathrm{m^3}$. À $T = 295\ \mathrm{K}$:

$$n_{\mathrm{CO_2,gaz}} \simeq \frac{(2{,}1 \times 10^4)(2{,}80 \times 10^{-4})}{(8{,}31)(295)} \simeq 2{,}4 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}.$$

Cette quantité de gaz est proche de la quantité maximale théorique de Q7. Elle peut être légèrement inférieure, notamment parce que la quantité calculée ici concerne le $\mathrm{CO_2}$ en phase gazeuse : une partie du dioxyde de carbone produit peut rester dissoute dans la solution. La lecture du plateau est également graphique.

RÉPONSE À RETENIR

La quantité de $\mathrm{CO_2}$ gazeux à l'état final est estimée à $2{,}4 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$, proche de la valeur théorique maximale $2{,}5 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$.

Question Q9.

Sujet p. 4, 5

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

À volume et température constants, la pression de $\mathrm{CO_2}$ est proportionnelle à sa quantité de matière. Le temps de demi-réaction correspond donc au temps nécessaire pour atteindre la moitié de la pression finale. La pression finale lue sur la figure est d'environ $2{,}1 \times 10^4\ \mathrm{Pa}$, dont la moitié vaut environ $1{,}05 \times 10^4\ \mathrm{Pa}$. La lecture de l'intersection de la courbe avec ce niveau donne un temps de l'ordre de $2{,}0 \times 10^2\ \mathrm{s}$.

RÉPONSE À RETENIR

Pour l'expérience n° 1, $t_{1/2}$ est estimé graphiquement à environ $2{,}0 \times 10^2\ \mathrm{s}$ (environ $200\ \mathrm{s}$).

Question Q10.

Sujet p. 4, 5

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

Les expériences n° 2 et n° 3 utilisent la même concentration d'acide, mais le carbonate de calcium est en poudre dans l'expérience n° 2 et en morceaux dans l'expérience n° 3. Le temps de demi-réaction passe de $80\ \mathrm{s}$ à $1{,}6 \times 10^{3}\ \mathrm{s}$. Le carbonate en poudre présente une plus grande surface de contact avec la solution, ce qui accélère la réaction. La comparaison des expériences n° 1 et n° 2 indique également qu'une concentration plus élevée en acide accélère la réaction lorsque le carbonate est en poudre.

RÉPONSE À RETENIR

La surface de contact du calcaire avec la solution acide influence la cinétique : le carbonate en poudre réagit plus vite que le carbonate en morceaux. La concentration de l'acide est aussi un facteur cinétique.

3. Prévention des pluies acides : contrôle de la qualité de l'air

Question Q11.

Sujet p. 5

> La transformation chimique ayant lieu lors de l'étape 1 est totale et peut être modélisée par l'équation $H_2O_2(aq) + SO_2(aq) + 2\ H_2O(\ell) \rightarrow 2\ H_3O^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$. Sachant que le peroxyde d'hydrogène a été introduit en excès, déterminer la relation entre la quantité de matière $n(SO_2)$ de dioxyde de soufre présent dans l'air analysé et la quantité de matière $n(H_3O^+)$ d'ions oxonium contenus dans la solution Sa.

Dans l'équation de l'étape 1, une mole de $\mathrm{SO_2}$ consommée produit deux moles de $\mathrm{H_3O^+}$. Le peroxyde d'hydrogène étant en excès et la transformation totale, cette proportion stœchiométrique s'applique à tout le dioxyde de soufre capté.

RÉPONSE À RETENIR

$n(\mathrm{H_3O^+}) = 2\,n(\mathrm{SO_2})$, donc $n(\mathrm{SO_2}) = \dfrac{1}{2} n(\mathrm{H_3O^+})$.

Question Q12.

Sujet p. 5

> En considérant que la concentration en masse du dioxyde de soufre dans l'air n'a pas varié pendant toute la durée de l'étape 1, 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.

À l'équivalence, la réaction de titrage entre $\mathrm{H_3O^+}$ et $\mathrm{HO^-}$ étant de proportion 1:1, $n(\mathrm{H_3O^+}) = c_b V_E$. Ainsi, $n(\mathrm{H_3O^+}) = (1{,}0 \times 10^{-2})(4{,}0 \times 10^{-3}) = 4{,}0 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$, puis, d'après Q11, $n(\mathrm{SO_2}) = 2{,}0 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$.

La masse de dioxyde de soufre captée est $m = nM = (2{,}0 \times 10^{-5})(64{,}1) = 1{,}28 \times 10^{-3}\ \mathrm{g} = 1{,}28\ \mathrm{mg}$. Pour $18{,}5\ \mathrm{m^3}$ d'air, la concentration massique moyenne estimée est $1{,}28/18{,}5 \simeq 0{,}069\ \mathrm{mg\,m^{-3}} = 69\ \mu\mathrm{g\,m^{-3}}$.

Cette estimation sur les sept jours dépasse numériquement l'objectif de qualité de $50\ \mu\mathrm{g\,m^{-3}}$, qui porte sur une moyenne annuelle. Elle est inférieure à $125\ \mu\mathrm{g\,m^{-3}}$, valeur limite en moyenne journalière, et à $300\ \mu\mathrm{g\,m^{-3}}$, seuil en moyenne horaire. Sous l'hypothèse d'une concentration constante pendant les sept jours, la valeur moyenne de cette période est aussi la valeur journalière et horaire pendant cette période. Toutefois, un prélèvement de sept jours ne permet pas à lui seul de conclure au respect de l'objectif annuel ni à celui de la règle portant sur le nombre de jours de dépassement sur une année.

Le raisonnement suppose notamment que tout le $\mathrm{SO_2}$ de l'air est capté, que le peroxyde d'hydrogène est en excès et que le $\mathrm{SO_2}$ est la seule espèce acide contribuant au titrage. Le titrage du prélèvement regroupé donne une moyenne sur la durée considérée et ne permet pas de repérer d'éventuels pics horaires.

RÉPONSE À RETENIR

La concentration massique moyenne estimée sur les sept jours est d'environ $69\ \mu\mathrm{g\,m^{-3}}$. Elle dépasse numériquement l'objectif annuel de $50\ \mu\mathrm{g\,m^{-3}}$, mais reste sous les valeurs de $125\ \mu\mathrm{g\,m^{-3}}$ en moyenne journalière et de $300\ \mu\mathrm{g\,m^{-3}}$ en moyenne horaire pendant la période, sous l'hypothèse de concentration constante. Le prélèvement de sept jours ne permet pas de conclure à lui seul sur la conformité annuelle ni sur le nombre annuel de jours de dépassement.

Exercice 2

5 points

La couleur des scarabées

Question Q1.

Sujet p. 6, 7

> Rappeler la condition d'obtention d'interférences constructives entre deux ondes issues d'une source monochromatique unique ayant parcouru des chemins optiques différents. On note δ la différence de chemin optique et λ la longueur d'onde.

Pour deux ondes cohérentes issues d'une même source monochromatique, les interférences sont constructives lorsque leur déphasage est un multiple entier de 2π. En termes de différence de chemin optique, cela correspond à un multiple entier de la longueur d'onde : $\delta = k\lambda$, où k est un entier relatif.

RÉPONSE À RETENIR

La condition d'interférences constructives est $\boxed{\delta = k\lambda, \quad k \in \mathbb{Z}}$.

Question Q2.

Sujet p. 6, 7

> Montrer que les épaisseurs correspondant à des interférences constructives sont données par la relation e = (k + 1/2) × λ/(2 · nfort), où k est un nombre entier positif ou nul, appelé ordre d'interférence.

La condition d'interférences constructives est $\delta = k\lambda$. On utilise l'expression donnée dans le sujet, $\delta = 2n_{\text{fort}}e - \frac{\lambda}{2}$:

$$2n_{\text{fort}}e - \frac{\lambda}{2} = k\lambda \quad \Longrightarrow \quad 2n_{\text{fort}}e = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \Longrightarrow \quad e = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2n_{\text{fort}}}.$$

Comme e est une épaisseur positive, les valeurs possibles de l'ordre sont les entiers positifs ou nuls.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{e = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2n_{\text{fort}}}}$, avec k entier positif ou nul.

Question Q3.

Sujet p. 6, 7

> On ne considère que l'ordre d'interférence nul : k = 0. Déterminer l'épaisseur des couches de la carapace d'un scarabée pour lequel la longueur d'onde λ = 530 nm correspond à des interférences constructives. Préciser la couleur apparente de ce scarabée.

Pour l'ordre d'interférence nul, $k = 0$, la relation précédente devient $e = \frac{\lambda}{4n_{\text{fort}}}$. Avec $\lambda = 530\ \text{nm}$ et $n_{\text{fort}} = 1{,}7$:

$$e = \frac{530}{4 \times 1{,}7}\ \text{nm} = 77{,}9\ \text{nm} \simeq 78\ \text{nm}.$$

Le tableau du sujet associe la longueur d'onde de $530\ \text{nm}$ à la couleur verte.

RÉPONSE À RETENIR

L'épaisseur recherchée est $\boxed{e \simeq 78\ \text{nm}}$. La couleur apparente attendue est le **vert**.

Question Q4.

Sujet p. 7

> À partir de la figure 3, déterminer la valeur de l'épaisseur moyenne e d'une couche. Expliciter la méthode suivie pour obtenir la meilleure précision possible sur la mesure de e. La distance d indiquée sur la figure 3 peut servir d'aide à la mesure.

Pour améliorer la précision, on mesure sur la photographie la distance d, qui couvre plusieurs épaisseurs de couche, plutôt qu'une seule couche. La figure permet d'estimer $d \simeq 1{,}8\ \text{cm}$. On compare cette distance à celle de la barre d'échelle de $1\ \mu\text{m}$, mesurée à environ $2{,}65\ \text{cm}$. La distance d correspond à environ 9 épaisseurs de couche. On obtient donc :

$$e \simeq \frac{1{,}8}{2{,}65} \times \frac{1\ \mu\text{m}}{9} = 0{,}0755\ \mu\text{m} = 75{,}5\ \text{nm}.$$

Le fait de mesurer une distance couvrant plusieurs couches, puis de diviser par leur nombre, réduit l'effet relatif de l'incertitude de lecture.

RÉPONSE À RETENIR

L'épaisseur moyenne estimée est $\boxed{e \simeq 76\ \text{nm}}$.

Question Q5.

Sujet p. 7

> Indiquer une source d'incertitude possible dans la détermination de la mesure de l'épaisseur e effectuée à la question Q4.

Une source d'incertitude est le repérage des limites entre les couches : les interfaces sont floues sur la photographie. Leur position, et donc la mesure de d, est incertaine. La lecture de la barre d'échelle peut également contribuer à l'incertitude.

RÉPONSE À RETENIR

Par exemple, le flou des interfaces rend incertaine la mesure de d, donc celle de l'épaisseur moyenne e.

Question Q6.

Sujet p. 8

> Recopier la ligne 8 du programme puis la compléter avec des valeurs appropriées exprimées en cm.

La distance d mesurée sur la photographie est estimée dans l'intervalle $[1{,}7\ ;\ 1{,}9]\ \text{cm}$. La ligne 8 doit donc générer des valeurs aléatoires dans cet intervalle, en conservant le nombre de simulations $Nsim$ indiqué dans le programme.

RÉPONSE À RETENIR

```
d_mes = rd.uniform(1.7, 1.9, Nsim)
```

Question Q7.

Sujet p. 8

> Justifier la présence du nombre 1 000 dans l'expression de la ligne 11 du programme de la figure 4.

Dans la formule de la ligne 11, le quotient $d_{\text{mes}}/\text{echelle}$ compare deux longueurs mesurées en centimètres : il est sans unité et donne la distance d exprimée en nombre de barres d'échelle. Chaque barre représentant $1\ \mu\text{m}$, la division par 9 donne l'épaisseur d'une couche en micromètres. Le facteur $1\,000$ convertit ensuite les

micromètres en nanomètres, puisque $1\ \mu\text{m} = 1\,000\ \text{nm}$.

RÉPONSE À RETENIR

Le facteur $1\,000$ sert à convertir les micromètres en nanomètres : $1\ \mu\text{m} = 1\,000\ \text{nm}$.

Question Q8.

Sujet p. 7, 8

En utilisant les résultats de la simulation numérique et en conservant un seul chiffre significatif pour l'incertitude-type, écrire le résultat de la mesure de l'épaisseur emoyen. Discuter la compatibilité de la réponse à la question Q3, arbitrairement prise comme valeur de référence, avec le résultat de la simulation numérique.

La simulation fournit $e_{\text{moyen}} = 75{,}4879\ \text{nm}$ et $u(e) = 2{,}5575\ \text{nm}$. À un chiffre significatif, l'incertitude-type s'arrondit à $3\ \text{nm}$. La valeur moyenne s'écrit au même rang, soit $75\ \text{nm}$:

$$e_{\text{moyen}} = (75 \pm 3)\ \text{nm}.$$

Pour discuter la compatibilité avec la valeur de référence de la question Q3, on utilise le quotient indiqué dans le sujet, avec les valeurs non arrondies de la simulation :

$$\frac{|e_{\text{moyen}} - e_{\text{ref}}|}{u(e)} = \frac{|75{,}4879 - 77{,}9|}{2{,}5575} \simeq 0{,}94.$$

Ce quotient est inférieur à 1 : la valeur de référence est compatible avec le résultat de la simulation au regard de l'incertitude-type.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{e_{\text{moyen}} = (75 \pm 3)\ \text{nm}}$. La valeur de Q3, $77{,}9\ \text{nm}$, est compatible avec cette mesure : le quotient de comparaison vaut environ $0{,}94$.

Question Q9.

Sujet p. 6, 7, 8, 9

Estimer la longueur d'onde qui correspond à des interférences constructives dans la zone 2. Proposer une hypothèse pour la couleur perçue pour la zone 2 de ce scarabée.

Les photographies des zones 1 et 2 sont à la même échelle. En comparant l'espacement des couches, on estime que l'épaisseur d'une couche en zone 2 est environ $1{,}4$ fois celle d'une couche en zone 1. Pour le même ordre d'interférence nul et le même indice optique, $e = \frac{\lambda}{4 n_{\text{fort}}}$: la longueur d'onde constructive est donc proportionnelle à l'épaisseur. La zone 1 étant verte et associée à environ $530\ \text{nm}$, on estime :

$$\lambda_2 \simeq 1{,}4 \times 530\ \text{nm} \simeq 740\ \text{nm}.$$

Cette estimation reste approximative, car elle repose sur la mesure d'une photographie.

RÉPONSE À RETENIR

La longueur d'onde constructive de la zone 2 est estimée à environ $\boxed{740\ \text{nm}}$, soit une valeur proche de $750\ \text{nm}$. D'après le tableau du sujet, la zone 2 pourrait donc être perçue comme **rouge**.

Exercice 3

6 points

Le réfrigérateur

1. La température « idéale » d'une bouteille d'eau pour optimiser l'hydratation

Question Q1.

Sujet p. 10

> Caractériser qualitativement le phénomène de convection, un des modes de transfert thermique ayant lieu entre le système S et son environnement.

La convection est un transfert thermique qui s'effectue grâce au déplacement macroscopique d'un fluide. Ici, l'air du réfrigérateur, qui est un fluide, se déplace et transporte de l'énergie thermique ; il échange ensuite de l'énergie avec la surface de la bouteille.

RÉPONSE À RETENIR

La convection est un transfert thermique associé au mouvement de l'air, qui est un fluide.

Question Q2.

Sujet p. 10

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

Au début de l'expérience, l'eau de la bouteille est à environ $20{,}4\ °\mathrm{C}$, tandis que l'air du réfrigérateur est à $6{,}8\ °\mathrm{C}$. Le transfert thermique spontané s'effectue du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. Si Q désigne l'énergie thermique reçue par le système S, la bouteille cède de l'énergie : $Q < 0$.

RÉPONSE À RETENIR

La chaleur est transférée de la bouteille vers l'air plus froid du réfrigérateur ; le système S cède de l'énergie thermique.

Question Q3.

Sujet p. 10, 13

> Exprimer θ(t = 0), puis la limite de θ(t) quand t tend vers +∞ en fonction des constantes A et B. En déduire, en utilisant la figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie, des valeurs des constantes A et B en précisant leur unité respective.

La fonction de modélisation est $\theta(t) = A\,e^{-t/\tau} + B$. À $t = 0$, l'exponentielle vaut 1, donc $\theta(0) = A + B$. Lorsque t tend vers $+\infty$, $e^{-t/\tau}$ tend vers 0 et $\lim_{t\to+\infty} \theta(t) = B$.

Sur l'annexe, la température initiale est d'environ $20{,}4\ °\mathrm{C}$ et la température limite est d'environ $6{,}8\ °\mathrm{C}$. Ainsi, $B \approx 6{,}8\ °\mathrm{C}$, puis $A = \theta(0) - B \approx 20{,}4 - 6{,}8 = 13{,}6\ °\mathrm{C}$.

RÉPONSE À RETENIR

$\theta(0) = A + B$ et $\lim_{t\to+\infty} \theta(t) = B$. La lecture graphique donne $A \approx 13{,}6\ °\mathrm{C}$ et $B \approx 6{,}8\ °\mathrm{C}$.

Question Q4.

Sujet p. 10, 13

> Montrer graphiquement, en faisant apparaître la construction sur la figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie, que

la valeur de la constante τ est de l'ordre de 12 × 10³ s.

Pour une décroissance exponentielle, au temps $t = \tau$, l'écart à la valeur limite vaut A/e. On peut donc tracer sur l'annexe l'horizontale de température $B + A/e$, puis lire l'abscisse du point où cette droite rencontre la courbe de modélisation.

Avec les valeurs lues à la question Q3, $B + A/e \approx 6{,}8 + 13{,}6/e \approx 11{,}8\ ^\circ\mathrm{C}$. La courbe atteint cette température vers $t \approx 12$ sur l'axe gradué en 10^3 s.

RÉPONSE À RETENIR

La construction graphique donne $\tau \approx 12 \times 10^3$ s, soit environ $1{,}2 \times 10^4$ s.

Question Q5.

Sujet p. 11

Appliquer le premier principe de la thermodynamique au système S entre t et t + Δt pour exprimer la variation de température θ(t + Δt) − θ(t) en fonction de Δt, ρS, VS, cS, α et (θréfri − θ(t)).

Sur la durée Δt, on approxime le flux thermique reçu par S par sa valeur à l'instant t : $\Phi = \alpha(\theta_{\text{réfri}} - \theta(t))$. Le premier principe, en négligeant tout travail et tout autre échange, donne $\Delta U = Q \approx \Phi \Delta t$. Pour le système étudié, $\Delta U = m c_S[\theta(t + \Delta t) - \theta(t)]$, avec $m = \rho_S V_S$. En identifiant les deux expressions et en isolant la variation de température, on obtient :

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

Le signe est cohérent : lorsque la bouteille est plus chaude que l'air du réfrigérateur, le terme entre parenthèses est négatif et la température de S diminue.

RÉPONSE À RETENIR

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

Question Q6.

Sujet p. 11

Établir, selon cette modélisation, en fonction de τ, θ₀, θréfri et θidéale, l'expression de la durée tidéale nécessaire pour que le système S atteigne la température idéale de consommation d'une boisson.

À l'instant où la température atteint $\theta_{\text{idéal}}$, la solution donnée vérifie :

$$\theta_{\text{idéal}} = (\theta_0 - \theta_{\text{réfri}})e^{-t_{\text{idéal}}/\tau} + \theta_{\text{réfri}}.$$

On isole l'exponentielle, puis on prend le logarithme népérien. Le rapport obtenu est positif dans la situation étudiée. Il vient :

RÉPONSE À RETENIR

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

Question Q7.

Sujet p. 11, 13

Calculer cette durée tidéale, sachant que θidéale = 16 °C. Indiquer si cette durée est cohérente avec le graphique

de l'annexe à rendre avec la copie. Une construction graphique est attendue.

La constante de temps vaut $\tau = \rho_S V_S c_S / \alpha$. La masse d'eau est $m = \rho_S V_S = (1{,}00\ \mathrm{kg\,L^{-1}})(1{,}5\ \mathrm{L}) = 1{,}5\ \mathrm{kg}$. Donc :

$$\tau = \frac{(1{,}5\ \mathrm{kg})(4{,}18 \times 10^{3}\ \mathrm{J\,K^{-1}\,kg^{-1}})}{0{,}50\ \mathrm{W\,K^{-1}}} = 1{,}254 \times 10^{4}\ \mathrm{s}.$$

Avec $\theta_0 = 20{,}4\ ^\circ\mathrm{C}$, $\theta_{\text{réfri}} = 6{,}8\ ^\circ\mathrm{C}$ et $\theta_{\text{idéal}} = 16\ ^\circ\mathrm{C}$:

$$t_{\text{idéal}} = 1{,}254 \times 10^{4} \ln\left(\frac{20{,}4 - 6{,}8}{16 - 6{,}8}\right)\ \mathrm{s}.$$

Le rapport vaut environ $1{,}48$ et son logarithme environ $0{,}391$, d'où $t_{\text{idéal}} \approx 4{,}9 \times 10^{3}\ \mathrm{s}$. Pour le contrôle graphique, on trace l'horizontale $\theta = 16\ ^\circ\mathrm{C}$ et on projette l'intersection avec la courbe sur l'axe du temps : la lecture est voisine de $5 \times 10^{3}\ \mathrm{s}$.

RÉPONSE À RETENIR

$t_{\text{idéal}} \approx 4{,}9 \times 10^{3}\ \mathrm{s}$, soit environ $1{,}4\ \mathrm{h}$. Cette durée est cohérente avec l'annexe, où la courbe atteint $16\ ^\circ\mathrm{C}$ vers $5 \times 10^{3}\ \mathrm{s}$.

2. Ouverture de la porte du réfrigérateur « B » — Mise en service du réfrigérateur

Question Q8.

Sujet p. 11

Expliquer pourquoi, dans le cadre de l'hypothèse selon laquelle le réfrigérateur constitue un système fermé lorsque la porte est fermée, le quotient P/T peut être considéré constant lors du refroidissement de l'air du réfrigérateur après la fermeture de la porte.

L'équation des gaz parfaits s'écrit $PV = nRT$. Après fermeture, l'hypothèse de système fermé implique que la quantité de matière n est constante. Le volume intérieur $V_{\text{réfri}}$ est également considéré constant et R est une constante. En divisant l'équation d'état par T, on obtient :

$$\frac{P}{T} = \frac{nR}{V_{\text{réfri}}}.$$

Le membre de droite étant constant, le quotient P/T l'est aussi dans ce modèle.

RÉPONSE À RETENIR

Comme n, $V_{\text{réfri}}$ et R sont constants, $\dfrac{P}{T} = \dfrac{nR}{V_{\text{réfri}}}$ est constant.

Question Q9.

Sujet p. 11

Calculer, dans ce modèle, la valeur, notée Pfinale, de la pression de l'air à l'intérieur du réfrigérateur lorsque la température intérieure a atteint sa valeur stabilisée égale à 277 K.

La constance de P/T donne $P_{\text{finale}}/T_{\text{finale}} = P_0/T_0$. Avec $P_0 = P_{\text{amb}} = 1009{,}1 \times 10^{2}\ \mathrm{Pa}$, $T_0 = 293\ \mathrm{K}$ et $T_{\text{finale}} = 277\ \mathrm{K}$:

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

RÉPONSE À RETENIR

Dans le modèle du système fermé, $P_{\text{finale}} \approx 9{,}54 \times 10^4\ \text{Pa}$, soit environ $954 \times 10^2\ \text{Pa}$.

Question Q10.

Sujet p. 11, 12

En réalité, on mesure à cette température une pression intérieure finale voisine de 1009,1 × 10² Pa. Indiquer une raison possible de l'écart entre le résultat du calcul effectué à la question Q8 et la pression réellement mesurée.

Le calcul numérique de la pression finale (question Q9) repose notamment sur l'hypothèse que le réfrigérateur est parfaitement fermé et qu'il n'y a aucun échange de matière avec l'extérieur. En pratique, les joints peuvent laisser passer de l'air. Ces échanges peuvent empêcher la pression intérieure de diminuer autant que dans le modèle du système fermé, ce qui peut expliquer la pression mesurée, proche de $1009{,}1 \times 10^2\ \text{Pa}$.

RÉPONSE À RETENIR

Une raison possible est que le réfrigérateur n'est pas parfaitement étanche : des échanges d'air avec l'extérieur invalident l'hypothèse de système fermé.

2. Ouverture de la porte du réfrigérateur « B » — Difficulté d'ouverture d'une porte juste après sa fermeture

Question Q11.

Sujet p. 12

À l'aide de la figure 2, justifier qu'il peut être difficile de rouvrir la porte du réfrigérateur après une durée Δt = 3 s.

La porte se ferme à environ $t_1 = 4476\ \text{s}$. Trois secondes plus tard, à $t \approx 4479\ \text{s}$, la figure indique une pression intérieure proche du minimum, d'environ $1008{,}55 \times 10^2\ \text{Pa}$. Avant la fermeture, la pression intérieure était proche de $1009{,}1 \times 10^2\ \text{Pa}$, valeur voisine de la pression extérieure. La pression intérieure est donc inférieure à la pression extérieure : cette différence de pression exerce une force nette qui plaque la porte contre le réfrigérateur.

RÉPONSE À RETENIR

Après $3\ \text{s}$, la pression intérieure est inférieure à la pression extérieure d'environ $0{,}55 \times 10^2\ \text{Pa}$, soit environ $55\ \text{Pa}$. Cette différence tend à maintenir la porte fermée et peut rendre sa réouverture difficile.

Question Q12.

Sujet p. 12

En assimilant la porte du réfrigérateur à une plaque rectangulaire solide très fine de surface Splaque = 1,2 m², déterminer la valeur et la direction de la résultante $\vec{F}$ des forces pressantes qui s'appliquent sur cette plaque lorsque l'on souhaite rouvrir la porte après une durée Δt = 3 s. Commenter le résultat obtenu.

Les forces pressantes de l'air intérieur et de l'air extérieur sont opposées. Pour une plaque de surface $S_{\text{plaque}} = 1{,}2\ \text{m}^2$, la valeur de leur résultante est $F = |P_{\text{ext}} - P_{\text{int}}| S_{\text{plaque}}$. Après $3\ \text{s}$, on lit approximativement $P_{\text{ext}} \approx 1009{,}1 \times 10^2\ \text{Pa}$ et $P_{\text{int}} \approx 1008{,}55 \times 10^2\ \text{Pa}$. Ainsi, $\Delta P \approx 0{,}55 \times 10^2 = 55\ \text{Pa}$, et :

$$F \approx (55\ \text{Pa})(1{,}2\ \text{m}^2) \approx 66\ \text{N}.$$

La résultante est normale à la porte et dirigée de l'extérieur vers l'intérieur du réfrigérateur : elle plaque la porte contre l'enceinte. La lecture graphique étant approximative, la force obtenue est une estimation.

RÉPONSE À RETENIR

La résultante des forces pressantes vaut environ $66\ \mathrm{N}$, dirigée perpendiculairement à la porte, de l’extérieur vers l’intérieur du réfrigérateur. Elle contribue à plaquer la porte et rend son ouverture plus difficile.

Sujet : https://www.labolycee.org/fichiers/2025-10/2025-09-Metropole-J2-Sujet-Original.pdf
© FormaV EI • Proposition de correction, distincte d'un corrigé officiel.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.