Corrigé complet — Bac S 2005 Amérique du Nord (ancien programme)

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

Ex 1	**Le téléphone pot de yaourt** Ondes mécaniques progressives · Onde transversale et onde longitudinale · Retard et célérité · Analyse dimensionnelle · Période, fréquence et longueur d'onde · Milieu dispersif	5 pts	1 h 05	11 questions	p. 2
Ex 2	**A propos du zinc** Demi-équations d'oxydoréduction · Quotient de réaction et critère d'évolution spontanée · Tableau d'avancement · Électrolyse · Quantité d'électricité et quantité d'électrons	7 pts	1 h 31	6 questions	p. 7
Ex 3	**Spécialité : Le quatuor: instruments à cordes** Célérité d'une onde sur une corde · Modes de vibration d'une corde · Période et fréquence sur un oscillogramme · Spectre et harmoniques · Hauteur et timbre d'un son	4 pts	52 min	5 questions	p. 12
Ex 4	**La grêle** Deuxième loi de Newton · Chute libre verticale · Poussée d'Archimède · Frottement fluide et vitesse limite · Analyse dimensionnelle · Méthode d'Euler	4 pts	52 min	5 questions	p. 15

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.

Le téléphone pot de yaourt

Bac S 2005 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1 Partie A. Identifier la chaîne des milieux de propagation des ondes mécaniques, de la bouche de la personne qui parle à l'oreille de celle qui écoute.

L'onde traverse successivement cinq milieux matériels :

air → fond du premier pot → fil → fond du second pot → air.

COMPRENDRE
Une onde mécanique transporte de l'énergie sans transport de matière : chaque milieu vibre sur place et transmet la perturbation au suivant.

2 Partie A. Attribuer aux figures 2 et 3 les termes d'onde longitudinale et d'onde transversale, en justifiant.

Dans les deux cas, l'onde se propage le long de l'axe du ressort.

Figure 2 : les spires se déplacent perpendiculairement à l'axe, donc perpendiculairement à la direction de propagation. L'onde est **transversale**.

Figure 3 : les spires se déplacent le long de l'axe, donc parallèlement à la direction de propagation. L'onde est **longitudinale**.

Figure 2 (cisaillement) : onde transversale ; figure 3 (compression) : onde longitudinale.

MÉTHODE
Comparer toujours deux directions : celle du déplacement des points du milieu et celle de la propagation. Perpendiculaires : transversale. Parallèles : longitudinale.

1 Partie B. À partir de l'enregistrement de la figure 5, déterminer le retard τ avec lequel le point B est atteint par le signal, par rapport au point A.

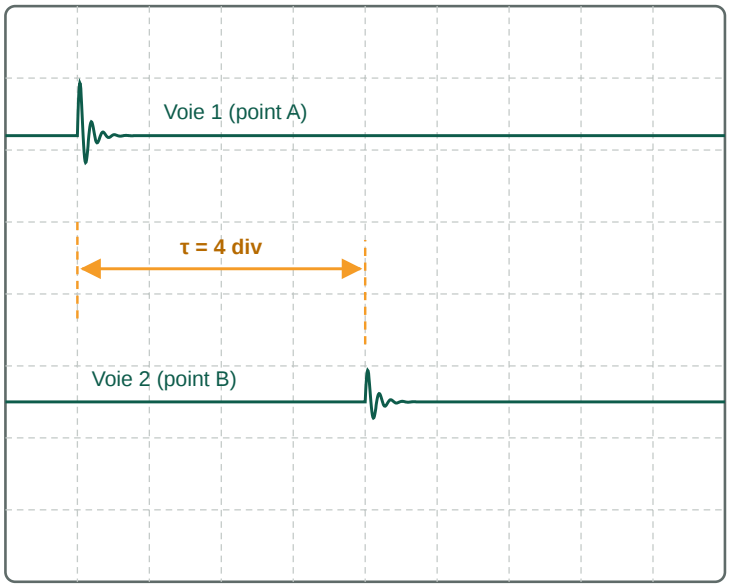
Données utiles sensibilité horizontale : 5 ms / div

Le signal débute sur la voie 1 à la première division et sur la voie 2 à la cinquième : les deux débuts sont séparés de 4 divisions.

$\tau = 4 \times 5 = 20 \text{ ms}$

$\tau = 20 \text{ ms} = 2{,}0 \times 10^{-2} \text{ s}$

PIÈGE
Utiliser la sensibilité verticale (1 mV / div) au lieu de la sensibilité horizontale, ou mesurer entre deux points qui ne se correspondent pas. On repère le début du signal sur chaque voie.



Sensibilité horizontale : 5 ms / div
Sensibilité verticale : 1 mV / div

1 · Figure 5 du sujet : lecture du retard entre les deux voies

2 Partie B. Donner l'expression de la célérité v de l'onde sur le fil en fonction de D et τ, la calculer, puis la comparer à la célérité du son dans l'air. Quelle propriété justifie ce résultat ?

Données utiles $D = 20\ \text{m}$; $\tau = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{s}$ (Q1) ; $v_{\text{air}} = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

L'onde parcourt la distance D entre A et B pendant la durée τ :

$$v = \frac{D}{\tau} = \frac{20}{2{,}0 \times 10^{-2}} = 1{,}0 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$\dfrac{v}{v_{\text{air}}} = \dfrac{1{,}0 \times 10^{3}}{340} \approx 3$: l'onde est environ trois fois plus rapide sur le fil que le son dans l'air.

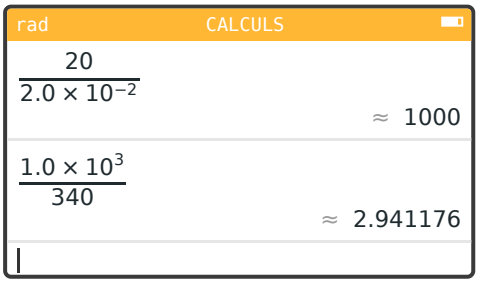
La célérité d'une onde mécanique dépend du milieu de propagation : elle est plus grande dans un solide, plus rigide, que dans un gaz.

> $v = \dfrac{D}{\tau} = 1{,}0 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, environ $3\,v_{\text{air}}$: la célérité dépend du milieu.

PIÈGE
Laisser τ en millisecondes : on obtiendrait $1{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. « Comparer » demande une conclusion chiffrée, pas seulement « plus grande ».

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme D et τ : on écrit $1{,}0 \times 10^{3}$ et non 1000, qui en afficherait quatre.

À LA CALCULATRICE



3 Partie B. Retrouver par analyse dimensionnelle la bonne expression de la célérité parmi (1) $v = \sqrt{\dfrac{\mu}{k\,L}}$, (2) $v = \sqrt{\dfrac{k\,L}{\mu}}$ et (3) $v = \dfrac{k\,L}{\mu}$.

Données utiles k en $\mathrm{kg \cdot s^{-2}}$; μ en $\mathrm{kg \cdot m^{-1}}$; L en m

D'après les unités : k est une masse divisée par un temps au carré, μ une masse divisée par une longueur. En unités :

$$\frac{k\,L}{\mu} \text{ s'exprime en } \frac{\mathrm{kg \cdot s^{-2} \cdot m}}{\mathrm{kg \cdot m^{-1}}} = \mathrm{m^2 \cdot s^{-2}}$$

Le quotient $\dfrac{k\,L}{\mu}$ a donc la dimension du carré d'une vitesse.

- (3) : v serait en $\mathrm{m^2 \cdot s^{-2}}$: à rejeter.
- (1) : $\sqrt{\dfrac{\mu}{k\,L}}$ est en $\mathrm{s \cdot m^{-1}}$, l'inverse d'une vitesse : à rejeter.
- (2) : $\sqrt{\dfrac{k\,L}{\mu}}$ est en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$: homogène à une vitesse.

Expression (2) : $v = \sqrt{\dfrac{k\,L}{\mu}}$

COMPRENDRE
L'analyse dimensionnelle élimine les expressions impossibles ; elle ne prouve pas la formule et ne dit rien d'un éventuel facteur numérique sans unité.

MÉTHODE
Remplacer chaque grandeur par son unité de base (kg, m, s), simplifier, puis comparer à l'unité attendue, ici $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Une seule expression doit convenir.

4 Partie B. Calculer la célérité de l'onde sur le fil ER.

Données utiles $k = 20\ \mathrm{kg \cdot s^{-2}}$; $L = 50\ \mathrm{m}$; $\mu = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{kg \cdot m^{-1}}$

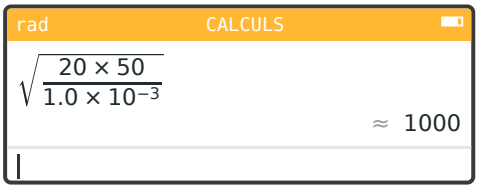
$$v = \sqrt{\frac{k\,L}{\mu}} = \sqrt{\frac{20 \times 50}{1{,}0 \times 10^{-3}}} = 1{,}0 \times 10^{3}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Le modèle redonne la valeur mesurée à la question 2.

$v = 1{,}0 \times 10^{3}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, en accord avec la mesure.

PIÈGE
Oublier la racine carrée : on trouverait $1{,}0 \times 10^{6}$, valeur sans rapport avec la mesure. Comparer au résultat expérimental sert de contrôle.

À LA CALCULATRICE



5 Partie B. Expliquer pourquoi l'amplitude du signal au point B (voie 2) est plus faible qu'au point A (voie 1).

Le point B est plus éloigné de la source que le point A. Au cours de la propagation, une partie de l'énergie de l'onde est dissipée dans le fil (frottements, échauffement) : l'onde est amortie.

L'amplitude diminue quand la distance parcourue augmente : l'onde s'amortit le long du fil.

COMPRENDRE
L'amortissement modifie l'amplitude, pas la période : les deux voies gardent la fréquence imposée par le haut-parleur.

6 Partie B. À partir de l'enregistrement de la figure 7, déterminer la fréquence de l'onde qui se propage dans le fil.

Données utiles sensibilité horizontale : 1 ms / div

Sur la voie 1, deux maximums consécutifs sont séparés de 5 divisions :

$$T = 5 \times 1 = 5{,}0 \text{ ms} = 5{,}0 \times 10^{-3} \text{ s}$$

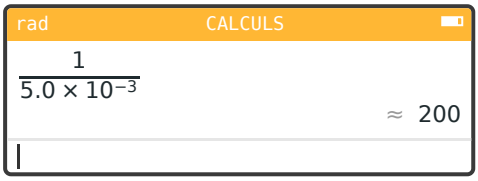
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5{,}0 \times 10^{-3}} = 2{,}0 \times 10^{2} \text{ Hz}$$

$f = 2{,}0 \times 10^{2}$ Hz

PIÈGE
Calculer $1/5$ en gardant la période en millisecondes : $0{,}2$ n'est pas une fréquence en hertz.

MÉTHODE
Pour une lecture plus précise, mesurer plusieurs périodes entre deux points identiques de la courbe (deux maximums, ou deux passages par zéro dans le même sens), puis diviser.

À LA CALCULATRICE



7 Partie B. Les signaux retrouvent la même configuration pour $D = 25{,}0$ m, $30{,}0$ m, $35{,}0$ m… a) En déduire la longueur d'onde λ, puis la célérité v. b) Représenter sur l'annexe la voie 2 pour $D = 27{,}5$ m.

Données utiles $f = 2{,}0 \times 10^{2}$ Hz (Q6) ; même configuration à $D = 20{,}0$ m

a) Sur la figure 7, les deux signaux sont en phase. Ils le redeviennent chaque fois que D augmente d'une longueur d'onde, plus petite distance séparant deux points qui vibrent en phase :

$$\lambda = 25{,}0 - 20{,}0 = 5{,}0 \text{ m}$$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f = 5{,}0 \times 2{,}0 \times 10^{2} = 1{,}0 \times 10^{3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On retrouve la valeur des questions 2 et 4.

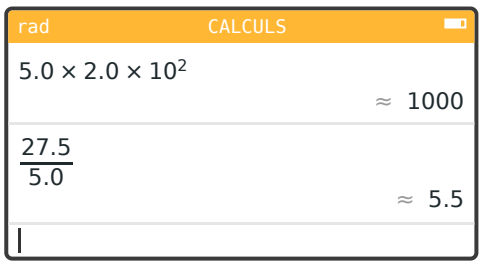
b) $27{,}5 = 25{,}0 + 2{,}5$, soit $D = 5\,\lambda + \frac{\lambda}{2}$: B vibre en opposition de phase avec A. La voie 2 est maximale quand la voie 1 est minimale, avec la même période. B étant plus loin, son amplitude est plus faible que sur la figure 7.

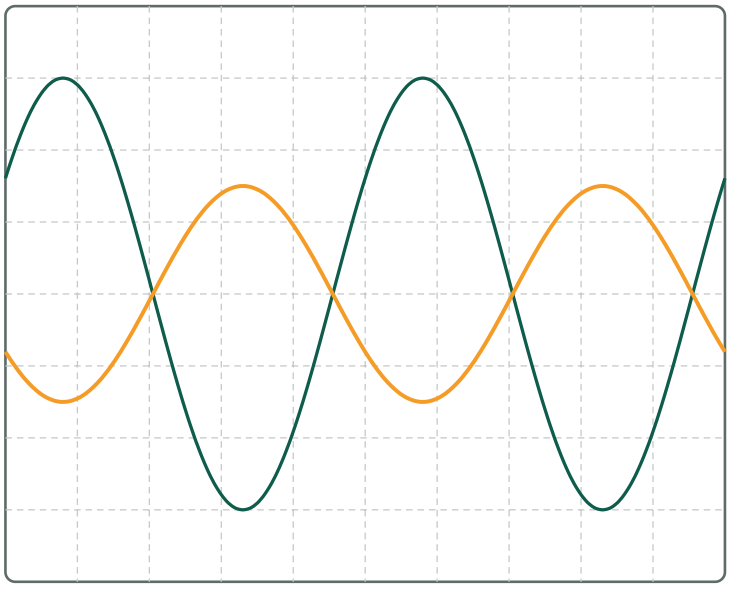
$\lambda = 5{,}0$ m ; $v = \lambda f = 1{,}0 \times 10^{3}$ m · s^{-1} ; pour $D = 27{,}5$ m, voie 2 en opposition de phase, d'amplitude réduite.

PIÈGE
Prendre $\lambda = 20{,}0$ m : rien ne dit que A et B sont alors séparés d'une seule longueur d'onde. C'est l'écart entre deux positions successives de même configuration qui donne λ.

MÉTHODE
En phase : $D = n\,\lambda$. En opposition de phase : $D = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$, avec n entier. Calculer D/λ suffit pour trancher.

À LA CALCULATRICE





7 · Annexe complétée : la voie 2 (en orange) est en opposition de phase avec la voie 1

8 Partie B. Qu'est-ce qu'un milieu dispersif ? Quelle serait la conséquence sur les signaux reçus si le fil était un milieu très dispersif ?

Un milieu est dispersif si la célérité de l'onde y dépend de sa fréquence.

La voix contient de nombreuses fréquences. Dans un fil très dispersif, elles ne mettraient pas toutes la même durée pour parcourir le fil : les sons graves et les sons aigus émis au même instant arriveraient décalés.

Milieu dispersif : v dépend de f. Le signal reçu serait déformé et la voix difficilement compréhensible.

COMPRENDRE
L'air n'est pas dispersif pour les sons audibles : dans une salle de concert, graves et aigus joués ensemble arrivent ensemble, même au dernier rang.

9 Partie B. Quelle différence fondamentale existe-t-il entre la propagation des ondes du téléphone « pot de yaourt » et celle des ondes d'un téléphone portable ?

Les ondes du téléphone « pot de yaourt » sont mécaniques : elles ont besoin d'un milieu matériel (air, pot, fil) pour se propager. Les ondes d'un téléphone portable sont électromagnétiques, comme la lumière.

Une onde électromagnétique se propage dans le vide ; une onde mécanique ne le peut pas.

PIÈGE
Répondre seulement par la différence de célérité. Elle est réelle, mais la différence fondamentale attendue porte sur la nécessité d'un milieu matériel.

A propos du zinc

Bac S 2005 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 2 **7 points** **Durée conseillée 1 h 31**

1 Partie A. Écrire les demi-équations électroniques qui conduisent à l'équation (1).

Couple $Fe^{2+}(aq) / Fe(s)$, réduction de l'ion fer (II) :
$Fe^{2+}(aq) + 2\,e^- = Fe(s)$

Couple $Zn^{2+}(aq) / Zn(s)$, oxydation du zinc : $Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$

La somme des deux redonne (1) :
$Fe^{2+}(aq) + Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + Fe(s)$

MÉTHODE
Écrire chaque demi-équation dans le sens où elle se produit dans l'équation bilan, puis vérifier que le nombre d'électrons cédés est égal au nombre d'électrons captés (ici 2 et 2).

2 Partie A. Déterminer les quantités de matière d'ions fer (II) et d'ions zinc (II) introduites initialement.

Données utiles $c_1 = c_2 = 1{,}00 \times 10^{-1}\ mol \cdot L^{-1}$; $V_1 = 100\ mL$ de S_1 ; $V_2 = 200\ mL$ de S_2

$n_i(Fe^{2+}) = c_1\,V_1 = 1{,}00 \times 10^{-1} \times 0{,}100 = 1{,}00 \times 10^{-2}\ mol$

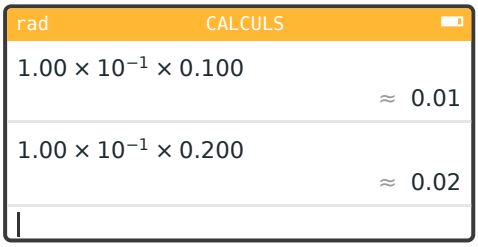
$n_i(Zn^{2+}) = c_2\,V_2 = 1{,}00 \times 10^{-1} \times 0{,}200 = 2{,}00 \times 10^{-2}\ mol$

$n_i(Fe^{2+}) = 1{,}00 \times 10^{-2}\ mol$; $n_i(Zn^{2+}) = 2{,}00 \times 10^{-2}\ mol$

PIÈGE
Laisser les volumes en millilitres, ou utiliser le volume total du mélange (300 mL) : chaque quantité se calcule avec le volume de la solution prélevée.

COMPRENDRE
Les concentrations ont trois chiffres significatifs : les quantités de matière en gardent trois. La calculatrice affiche 0.01, on écrit $1{,}00 \times 10^{-2}$ mol.

À LA CALCULATRICE



3 Partie A. a) Calculer le quotient de réaction initial et identifier l'histogramme de l'état initial. b) Énoncer le critère d'évolution spontanée et prévoir le sens d'évolution. c) Calculer $Q_{r,1}$ et $Q_{r,3}$. d) Les états E1 et E3 peuvent-ils être des états intermédiaires ?

Données utiles $K = 1{,}40 \times 10^{11}$; quantités initiales (question 2) ; figures 1 à 3 : E1 (0,005 mol ; 0,025 mol), E2 (0,010 mol ; 0,020 mol), E3 (0,015 mol ; 0,015 mol)

a) Les solides n'apparaissent pas dans le quotient de réaction. Les deux ions sont dans le même volume $V = V_1 + V_2$, qui se simplifie :

$$Q_{r,i} = \frac{[Zn^{2+}]_i}{[Fe^{2+}]_i} = \frac{n_i(Zn^{2+})}{n_i(Fe^{2+})} = \frac{2{,}00 \times 10^{-2}}{1{,}00 \times 10^{-2}} = 2{,}00$$

La figure 2 indique 0,010 mol d'ions fer (II) et 0,020 mol d'ions zinc (II) : ce sont les quantités initiales.

$Q_{r,i} = 2{,}00$; l'état initial est l'état E2 (figure 2).

b) Critère : si $Q_r < K$, le système évolue dans le sens direct de l'équation ; si $Q_r > K$, il évolue dans le sens inverse ; si $Q_r = K$, il est à l'équilibre et n'évolue plus.

$Q_{r,i} = 2{,}00 < K = 1{,}40 \times 10^{11}$: évolution dans le sens direct (formation de Zn^{2+} et de Fe).

c) Comme en a), $Q_r = \dfrac{n(Zn^{2+})}{n(Fe^{2+})}$:

$$Q_{r,1} = \frac{0{,}025}{0{,}005} = 5{,}0 \text{ ; } Q_{r,3} = \frac{0{,}015}{0{,}015} = 1{,}0$$

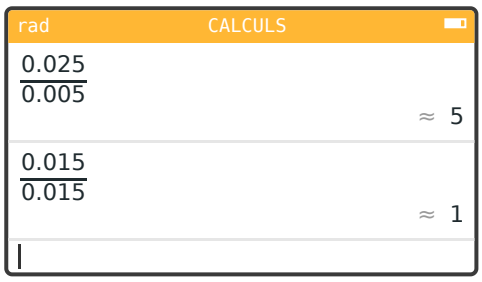
d) Le système évolue dans le sens direct : Q_r augmente à partir de 2,00 pour se rapprocher de K. Un état intermédiaire vérifie donc $Q_r > 2{,}00$.

E1 ($Q_{r,1} = 5{,}0 > 2{,}00$) peut être un état intermédiaire ; E3 ($Q_{r,3} = 1{,}0 < 2{,}00$) ne le peut pas.

PIÈGE
Faire figurer le fer et le zinc solides dans Q_r, ou inverser le rapport. Les produits de l'équation, telle qu'elle est écrite, sont au numérateur.

COMPRENDRE
On peut aussi raisonner sur les quantités : dans le sens direct, Fe^{2+} est consommé et Zn^{2+} est formé. Dans E3, il y a plus d'ions fer (II) qu'au départ : c'est impossible.

À LA CALCULATRICE



4 Partie A. L'avancement final vaut $1{,}00 \times 10^{-2}$ mol. a) Compléter le tableau d'évolution et déterminer les quantités de matière à l'état final. b) Compléter l'histogramme des concentrations à l'état final (figure 4).

Données utiles $m(\text{Fe}) = 5{,}56$ g ; $m(\text{Zn}) = 6{,}54$ g ; $M(\text{Fe}) = 55{,}6$ g · mol^{-1} ; $M(\text{Zn}) = 65{,}4$ g · mol^{-1} ; $x_f = 1{,}00 \times 10^{-2}$ mol ; $V = 300$ mL

a) Quantités initiales des métaux : $n_i(\text{Fe}) = \dfrac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \dfrac{5{,}56}{55{,}6} = 0{,}100$ mol et $n_i(\text{Zn}) = \dfrac{6{,}54}{65{,}4} = 0{,}100$ mol.

Tableau (quantités en mol) :

Avancement	$Fe^{2+}(aq)$	$Zn(s)$	$Zn^{2+}(aq)$	$Fe(s)$
$x = 0$	0,0100	0,100	0,0200	0,100
$x = x_f$	$0{,}0100 - x_f$	$0{,}100 - x_f$	$0{,}0200 + x_f$	$0{,}100 + x_f$

Avec $x_f = 0{,}0100$ mol :

$n_f(\text{Fe}^{2+}) = 0$; $n_f(\text{Zn}) = 0{,}090$ mol ; $n_f(\text{Zn}^{2+}) = 0{,}0300$ mol ; $n_f(\text{Fe}) = 0{,}110$ mol

b) La figure 4 porte des concentrations : on divise par le volume total $V = 0{,}300$ L.

$[\text{Zn}^{2+}]_f = \dfrac{n_f(\text{Zn}^{2+})}{V} = \dfrac{0{,}0300}{0{,}300} = 0{,}100$ mol · L^{-1} et $[\text{Fe}^{2+}]_f = \dfrac{0}{0{,}300} = 0$.

$[\text{Zn}^{2+}]_f = 0{,}100$ mol · L^{-1} ; $[\text{Fe}^{2+}]_f \approx 0$: une seule barre, à 0,100 pour les ions zinc (II).

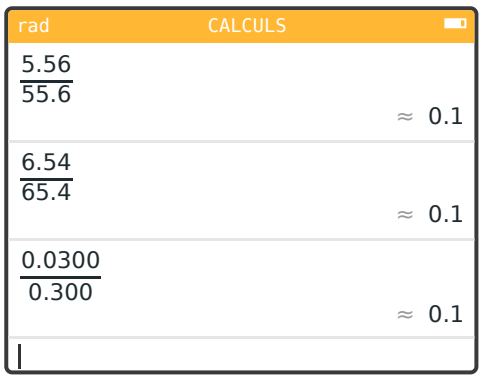
PIÈGE

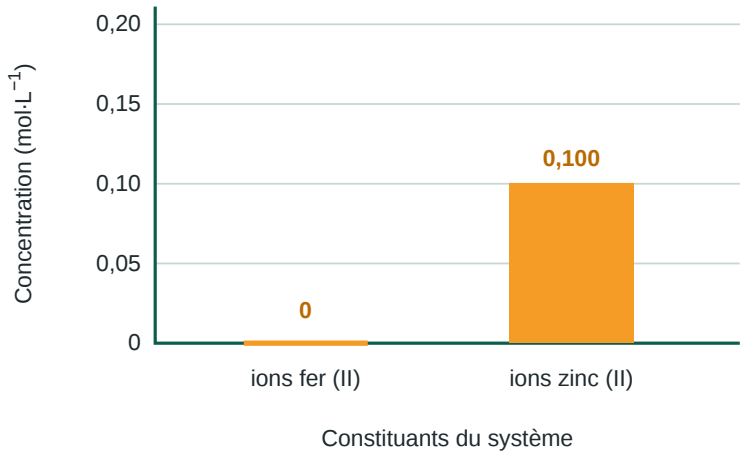
Reporter sur la figure 4 les quantités de matière (0,030 mol) comme sur les figures 1 à 3. L'axe est ici gradué en mol · L^{-1}.

COMPRENDRE

K est très grande : la transformation est quasi totale et $x_f = x_{max}$, l'ion fer (II) étant le réactif limitant. Il en reste en réalité une trace, $[\text{Fe}^{2+}]_f = [\text{Zn}^{2+}]_f / K \approx 7 \times 10^{-13}$ mol · L^{-1}, invisible sur l'histogramme.

À LA CALCULATRICE





4 · Figure 4 complétée : concentrations à l'état final

1 Partie B. a) Représenter le sens de circulation des porteurs de charge, en les nommant. b) Écrire les demi-équations à l'électrode de fer ; est-ce l'anode ou la cathode ? c) Intérêt pratique du dépôt métallique ? d) Comment évolue la masse de l'électrode de zinc ?

Données utiles figure 5 : électrode de zinc reliée à la borne + du générateur, électrode de fer reliée à la borne − ; sur le fer : dépôt métallique et dégagement de dihydrogène

a) Dans les fils et les électrodes, les porteurs de charge sont les électrons : ils sortent de la borne − du générateur, arrivent à l'électrode de fer, et quittent l'électrode de zinc pour rejoindre la borne +. Dans la solution, ce sont les ions : les cations (Zn^{2+}, H^+) se déplacent vers l'électrode de fer, les anions (SO_4^{2-}) vers l'électrode de zinc.

Voir la figure 5 complétée.

b) Le dihydrogène provient de la réduction des ions H^+, le dépôt métallique de celle des ions Zn^{2+} :

$2\,H^+(aq) + 2\,e^- = H_2(g)$ $\quad$ $Zn^{2+}(aq) + 2\,e^- = Zn(s)$

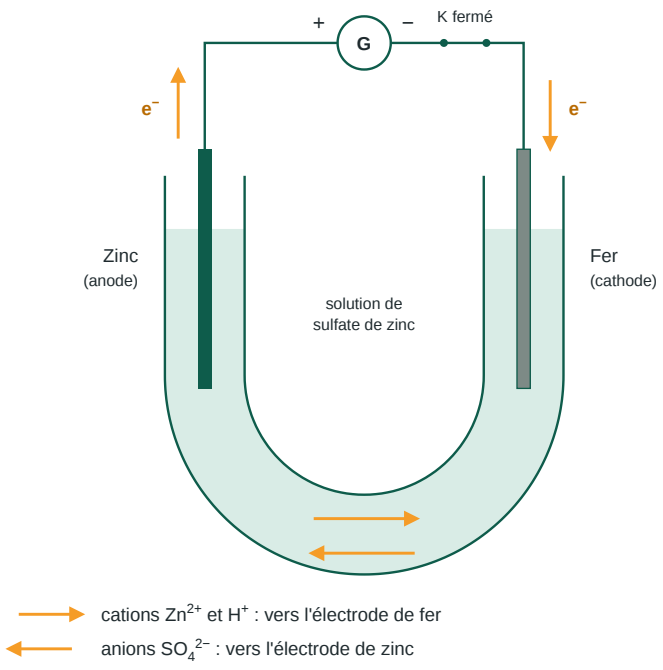
L'électrode de fer est le siège de réductions (elle reçoit les électrons du générateur) : c'est la cathode.

c)

Le fer se recouvre d'une couche de zinc qui le protège de la corrosion (zingage).

d) L'électrode de zinc est l'anode : il s'y produit une oxydation, celle du métal zinc lui-même.

$Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$: le zinc est consommé, la masse de l'électrode de zinc diminue.



1 · Figure 5 complétée : sens de circulation des porteurs de charge

PIÈGE
Faire circuler des électrons dans la solution : ils n'existent pas libres dans l'eau. Le courant y est assuré par les ions seulement.

COMPRENDRE
Une électrolyse est une transformation forcée : le générateur impose le sens du courant. La cathode est alors reliée à la borne −, à l'inverse d'une pile où la cathode est la borne +.

MÉTHODE
Pour nommer une électrode, chercher la réaction qui s'y produit et non le signe de la borne : réduction à la cathode, oxydation à l'anode, en pile comme en électrolyse.

2 Partie B. Seul le couple Zn^{2+}/Zn intervient. a) Montrer que le bilan s'écrit $Zn_{anode}\,(s) + Zn^{2+}\,(aq) = Zn^{2+}\,(aq) + Zn_{cathode}\,(s)$. b) Calculer la quantité d'électricité Q puis la quantité d'électrons n_e. c) Relier $n_{Zn,disp}$ et n_e. d) Calculer la variation de masse de l'électrode de zinc.

Données utiles $I = 0{,}5$ A ; $\Delta t = 10$ min ; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} ; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ; $M(Zn) = 65{,}4$ g · mol^{-1}

a) À l'anode (oxydation) : $Zn_{anode}\,(s) = Zn^{2+}\,(aq) + 2\,e^-$

À la cathode (réduction) : $Zn^{2+}\,(aq) + 2\,e^- = Zn_{cathode}\,(s)$

Somme membre à membre :
$Zn_{anode}\,(s) + Zn^{2+}\,(aq) = Zn^{2+}\,(aq) + Zn_{cathode}\,(s)$

b) $Q = I\,\Delta t = 0{,}5 \times 10 \times 60 = 3{,}0 \times 10^2$ C

Chaque mole d'électrons porte la charge $N_A\,e$, donc $Q = n_e\,N_A\,e$:

$$n_e = \frac{Q}{N_A\,e} = \frac{3{,}0 \times 10^2}{6{,}02 \times 10^{23} \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 3{,}1 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

$Q = 3{,}0 \times 10^2$ C ; $n_e = 3{,}1 \times 10^{-3}$ mol

c) D'après la demi-équation à l'anode, un atome de zinc oxydé libère deux électrons :

$$n_{Zn,disp} = \frac{n_e}{2}$$

d) L'électrode de zinc perd la masse $m = n_{Zn,disp}\,M(Zn) = \dfrac{n_e}{2}\,M(Zn)$:

$$m = \frac{3{,}1 \times 10^{-3}}{2} \times 65{,}4 = 0{,}10\ \text{g}$$

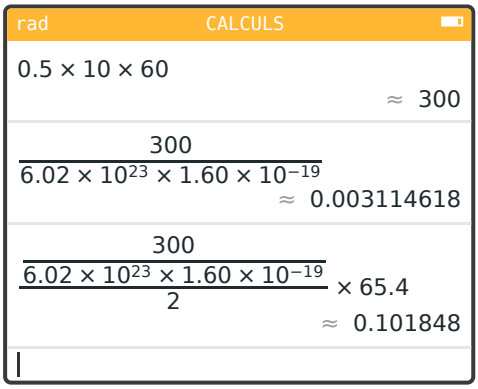
$\Delta m = -0{,}10$ g : la masse de l'électrode de zinc diminue de 0,10 g.

PIÈGE
Laisser Δt en minutes (Q serait 60 fois trop petite), ou oublier le facteur 2 entre n_e et $n_{Zn,disp}$.

COMPRENDRE
L'ion Zn^{2+} consommé à la cathode est remplacé par celui formé à l'anode : la concentration de la solution ne change pas. Le zinc est simplement transporté de l'anode vers la cathode, qui gagne 0,10 g.

COMPRENDRE
$I = 0{,}5$ A n'a qu'un chiffre significatif : en toute rigueur le résultat est 0,1 g. Deux chiffres sont gardés ici, comme c'est l'usage pour ce sujet.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Le quatuor: instruments à cordes

Bac S 2005 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 a) Attribuer à chaque corde de la figure la note correspondante (sol2, ré3, la3, mi4), en justifiant. b) Calculer la célérité v des ondes dans la corde de masse linéique μ.

Données utiles $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$; $L = 330\ \text{mm}$ et $F = 245\ \text{N}$ pour les quatre cordes ; $\mu = 2{,}9 \times 10^{-3}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$

a) D'après le texte, la note dépend de l'épaisseur, de la longueur et de la tension de la corde. Ici L et F sont identiques pour les quatre cordes : seule l'épaisseur les distingue, et une corde épaisse donne un son grave.

Sur la figure, l'épaisseur augmente de la corde 1 à la corde 4. De la plus fine à la plus épaisse : corde 1 : mi4 ; corde 2 : la3 ; corde 3 : ré3 ; corde 4 : sol2.

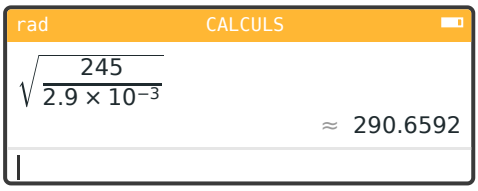
b) $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}} = \sqrt{\dfrac{245}{2{,}9 \times 10^{-3}}} = 2{,}9 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Cordes 1, 2, 3, 4 : mi4, la3, ré3, sol2 ; $v = 2{,}9 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Oublier la racine carrée, ou classer les notes à l'envers : dans l'énoncé, elles sont citées de la plus grave à la plus aiguë, donc de la corde 4 vers la corde 1.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme μ, la donnée la moins précise. Une corde plus épaisse a une masse linéique plus grande : l'onde y est plus lente, et la question 2 montre que la fréquence est alors plus basse.

À LA CALCULATRICE



2 a) Exprimer les fréquences f_k des modes de vibration en fonction de L et v. b) Donner la relation du mode fondamental et calculer sa fréquence pour la corde du 1.b). c) Justifier : « plus la corde est tendue, plus le son est aigu ». d) Comment jouer plus aigu sur une même corde sans changer la tension ?

Données utiles $2L = k\,\lambda$; $L = 0{,}330\ \text{m}$; $v = 2{,}9 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (question 1)

a) Pour le mode de rang k, la longueur d'onde vaut $\lambda = \dfrac{v}{f_k}$. La condition $2L = k\,\lambda$ devient $2L = k\,\dfrac{v}{f_k}$, d'où

$$f_k = k\,\frac{v}{2L}$$

b) Le mode fondamental correspond à $k = 1$: $f_1 = \dfrac{v}{2L}$.

$f_1 = \dfrac{2{,}9 \times 10^{2}}{2 \times 0{,}330} = 4{,}4 \times 10^{2}\ \text{Hz}$

c) Comme $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$, on a $f_1 = \dfrac{1}{2L}\sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$. À L et μ fixées, si la tension F augmente, f_1 augmente : la fréquence étant plus élevée, le son est plus aigu.

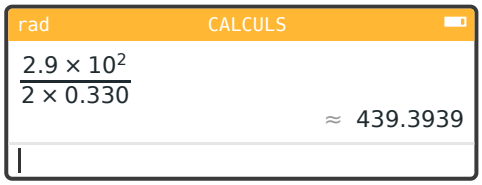
d) Pour une corde donnée et une tension inchangée, v est fixée. Comme $f_1 = \dfrac{v}{2L}$, il faut diminuer L : le violoniste appuie un doigt sur la corde pour raccourcir la partie qui vibre.

$f_k = k\,\dfrac{v}{2L}$; $f_1 = \dfrac{v}{2L} = 4{,}4 \times 10^{2}\ \text{Hz}$

PIÈGE
Laisser L en millimètres : avec $L = 330$, on trouve une fréquence mille fois trop faible. Il faut $L = 0{,}330\ \text{m}$.

MÉTHODE
Pour discuter l'effet d'un paramètre, écrire la fréquence en fonction des seules grandeurs réglables (F, L, μ), puis faire varier une seule grandeur à la fois.

À LA CALCULATRICE



3 À partir de l'oscillogramme de la figure 1 : a) déterminer la période T du signal ; b) en déduire la fréquence f_1 du mode fondamental, en justifiant.

Données utiles figure 1 : $\Delta t = 11{,}4$ ms entre les deux curseurs

a) Entre les deux curseurs, le motif du signal se répète 5 fois : $\Delta t = 5\,T$.

$$T = \frac{\Delta t}{5} = \frac{11{,}4}{5} = 2{,}28 \text{ ms}$$

b) Un son périodique de période T a pour fréquence celle de son mode fondamental :

$$f_1 = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}28 \times 10^{-3}} = 439 \text{ Hz}$$

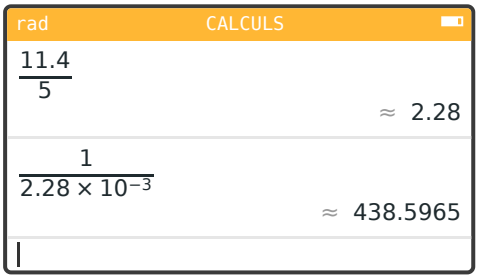
Cette valeur est en accord avec la fréquence calculée à la question 2.b).

$T = 2{,}28$ ms ; $f_1 = 439$ Hz

PIÈGE
Compter les pics au lieu des intervalles : les curseurs encadrent 6 pics mais seulement 5 périodes. Convertir aussi T en secondes avant de calculer f_1.

COMPRENDRE
Les harmoniques ont des fréquences multiples de f_1 : ils se reproduisent tous à l'identique au bout de la durée $T = \frac{1}{f_1}$, qui est donc la période du son.

À LA CALCULATRICE



4 À partir du spectre de la figure 2 : a) retrouver graphiquement la fréquence du mode fondamental ; b) indiquer les fréquences des trois premiers harmoniques qui suivent le fondamental.

Données utiles figure 2 : amplitude V_e (mV) en fonction de f (kHz) ; $f_1 = 439$ Hz (question 3)

a) Le fondamental est le pic de plus basse fréquence du spectre. Il se situe un peu avant le milieu de l'intervalle 0 – 1 kHz : $f_1 \approx 0{,}44$ kHz, en accord avec la question 3.

b) Les trois pics suivants se lisent à :

- $f_2 \approx 0{,}88$ kHz ;
- $f_3 \approx 1{,}3$ kHz ;
- $f_4 \approx 1{,}8$ kHz.

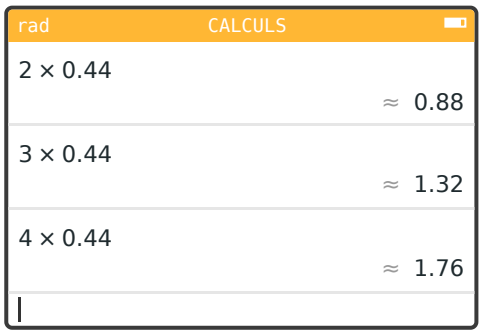
Ces fréquences sont bien des multiples de celle du fondamental : $f_k = k\,f_1$.

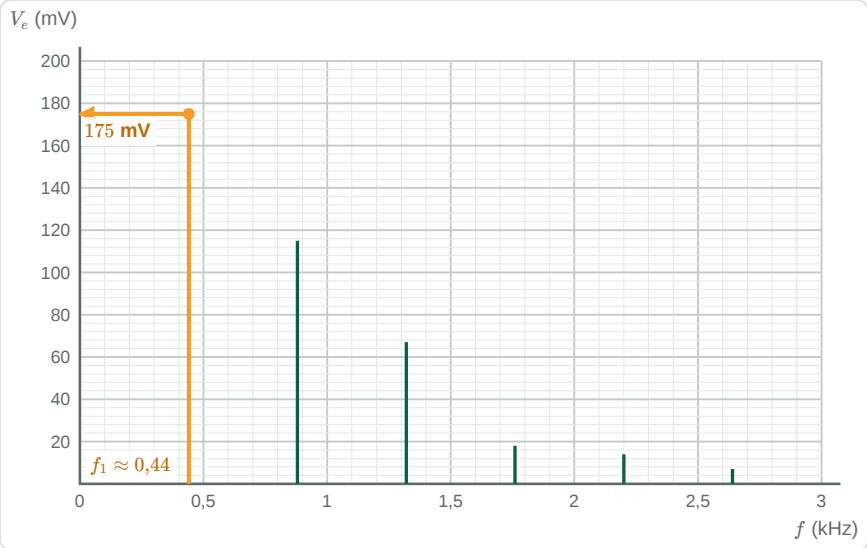
$f_1 \approx 0{,}44$ kHz ; $f_2 \approx 0{,}88$ kHz ; $f_3 \approx 1{,}3$ kHz ; $f_4 \approx 1{,}8$ kHz

COMPRENDRE
Harmoniques, hauteur et timbre ne figurent plus au programme actuel de la spécialité de terminale ; ces questions se traitent dans le cadre du programme de 2005.

MÉTHODE
Sur un spectre, vérifier la lecture en contrôlant que les pics sont régulièrement espacés : l'écart entre deux pics voisins est égal à la fréquence du fondamental.

À LA CALCULATRICE





4 · Spectre 1 du sujet (premiers pics) : lecture du fondamental

5 Second enregistrement, avec un autre instrument (figures 3 et 4). a) Qu'appelle-t-on hauteur d'un son ? Comparer la hauteur des deux sons à partir des oscillogrammes. b) Les deux sons ont-ils le même timbre ? Justifier avec les spectres.

Données utiles figure 3 : $\Delta t' = 4{,}55$ ms entre les deux curseurs ; $f_1 = 439$ Hz (question 3)

a) La hauteur d'un son est la qualité qui le fait percevoir grave ou aigu ; elle est mesurée par la fréquence de son fondamental.

Sur la figure 3, les curseurs encadrent 2 périodes : $\Delta t' = 2\,T'$, donc

$$f_1' = \frac{1}{T'} = \frac{2}{\Delta t'} = \frac{2}{4{,}55 \times 10^{-3}} = 440 \text{ Hz}$$

Aux incertitudes de lecture près, $f_1' = f_1$: les deux sons ont la même hauteur.

b) Le timbre dépend de la composition du spectre : harmoniques présents et amplitudes relatives. Les deux spectres ont le même fondamental mais diffèrent :

- sur le spectre 2, l'harmonique de rang 3 (vers 1,3 kHz) est absent, alors qu'il est net sur le spectre 1 ;
- sur le spectre 2, les harmoniques de rangs 4 et 7 (vers 1,8 kHz et 3,1 kHz) sont importants par rapport au fondamental, alors qu'ils sont très faibles sur le spectre 1.

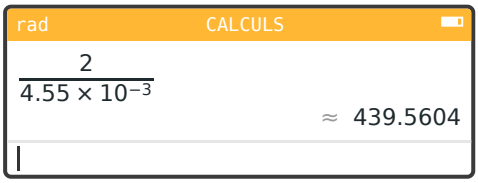
Les deux sons n'ont donc pas le même timbre.

$f_1' = 440$ Hz $\approx f_1$: même hauteur, mais timbres différents.

PIÈGE
Comparer les amplitudes brutes des deux spectres : les échelles verticales diffèrent. Ce sont les amplitudes relatives au fondamental, et les harmoniques absents, qui caractérisent le timbre.

COMPRENDRE
Même hauteur et timbres différents : c'est ce qui permet de distinguer deux instruments jouant la même note. La forme des oscillogrammes 1 et 2 le montrait déjà.

À LA CALCULATRICE



La grêle

Bac S 2005 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Partie A (chute libre). À l'aide de la deuxième loi de Newton, établir les équations horaires de la vitesse et de la position du centre d'inertie G du grêlon.

Données utiles axe Oz vertical orienté vers le bas, origine O ; à $t = 0$: $z = 0$ et $v = 0$

Système {grêlon}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen. En chute libre, la seule force est le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}_0$.

Deuxième loi de Newton : $m\,\vec{g}_0 = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}_0$. En projection sur Oz (vers le bas) : $a_z = \dfrac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t} = g_0$.

On cherche une primitive : $v_z = g_0\,t + C_1$. Comme $v_z(0) = 0$, $C_1 = 0$.

Puis $v_z = \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$ donne $z = \dfrac{1}{2}\,g_0\,t^2 + C_2$. Comme $z(0) = 0$, $C_2 = 0$.

$$v_z(t) = g_0\,t \qquad \text{et} \qquad z(t) = \frac{1}{2}\,g_0\,t^2$$

PIÈGE
L'axe est orienté vers le bas : $a_z = +g_0$, sans signe « moins ». Avec le réflexe d'un axe vers le haut, toutes les équations changent de signe.

MÉTHODE
Toujours dans cet ordre : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi, projection sur l'axe, puis deux primitives successives. Chaque constante se détermine avec une condition initiale, écrite explicitement.

2 Calculer la vitesse du grêlon à son arrivée au sol. Ce résultat est-il vraisemblable ?

Données utiles altitude de départ $h = 1500$ m ; $g_0 = 9{,}80\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$; d'après le texte, vitesse au sol jusqu'à $160\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$

Le grêlon touche le sol quand $z = h$: $\dfrac{1}{2}\,g_0\,t_s^2 = h$, soit $t_s = \sqrt{\dfrac{2h}{g_0}}$.

Sa vitesse est alors $v_s = g_0\,t_s = g_0\sqrt{\dfrac{2h}{g_0}} = \sqrt{2\,g_0\,h}$.

$$v_s = \sqrt{2 \times 9{,}80 \times 1500} = 171\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

En kilomètres par heure : $v_s = 171 \times 3{,}6 = 617\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$.

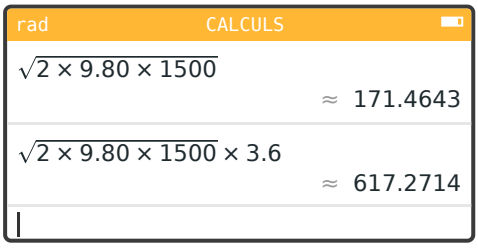
Cette valeur est presque quatre fois supérieure à la vitesse maximale observée au sol ($160\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$) : elle n'est pas vraisemblable. Le modèle de la chute libre ne convient pas, l'action de l'air ne peut pas être négligée.

$v_s = \sqrt{2\,g_0\,h} = 171\ \mathrm{m\cdot s^{-1}} \approx 617\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$: résultat non vraisemblable.

PIÈGE
« Justifier » demande une comparaison chiffrée avec la donnée du texte. Écrire seulement « c'est trop grand » ne rapporte pas les points.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme g_0. Pour comparer deux vitesses, il faut la même unité : on multiplie par 3,6 pour passer des $\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ aux $\mathrm{km\cdot h^{-1}}$.

À LA CALCULATRICE



1 Partie B (chute réelle). Par une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité du coefficient K de la force de frottement $F = K\,v^2$ dans le Système international.

$K = \dfrac{F}{v^2}$. Une force est le produit d'une masse par une accélération ($F = m\,a$) : le newton équivaut au $\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$, soit $[F] = M\cdot L\cdot T^{-2}$. Pour une vitesse, $[v] = L\cdot T^{-1}$.

$$[K] = \frac{M\cdot L\cdot T^{-2}}{L^2\cdot T^{-2}} = M\cdot L^{-1}$$

K s'exprime en $\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^{-1}$.

MÉTHODE
Pour l'unité d'un coefficient : l'isoler, puis remplacer chaque grandeur par sa dimension (M, L, T). Le newton se décompose toujours à partir de $F = m\,a$.

2 Donner l'expression de la valeur de la poussée d'Archimède, la calculer, la comparer à celle du poids et conclure.

Données utiles $\rho = 1{,}3\ \mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^{-3}$ (air) ; diamètre 3,0 cm, donc $r = 1{,}5\times10^{-2}$ m ; $m = 13\ \mathrm{g} = 1{,}3\times10^{-2}$ kg ; $g_0 = 9{,}80\ \mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$

La poussée d'Archimède a pour valeur le poids du volume d'air déplacé par le grêlon :

$$F_A = \rho\,V\,g_0 = \rho\times\frac{4}{3}\pi\,r^3\times g_0$$

$$F_A = 1{,}3\times\frac{4}{3}\pi\times(1{,}5\times10^{-2})^3\times 9{,}80 = 1{,}8\times10^{-4}\ \mathrm{N}$$

Poids du grêlon : $P = m\,g_0 = 1{,}3\times10^{-2}\times9{,}80 = 0{,}13\ \mathrm{N}$.

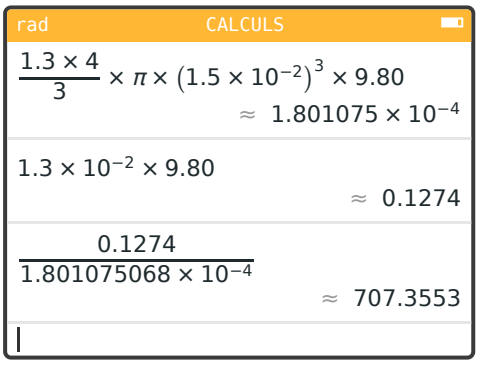
Rapport : $\dfrac{P}{F_A} = \dfrac{0{,}13}{1{,}8\times10^{-4}} \approx 7\times10^2$.

$F_A = 1{,}8\times10^{-4}$ N, environ 700 fois plus petite que $P = 0{,}13$ N : la poussée d'Archimède est négligeable devant le poids.

PIÈGE
Trois erreurs classiques : prendre la masse volumique de la glace au lieu de celle de l'air, utiliser le diamètre à la place du rayon, laisser les centimètres et les grammes sans les convertir.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme ρ, m et le diamètre. Le rapport P/F_A est aussi celui des masses volumiques de la glace et de l'air : il ne dépend pas de la taille du grêlon.

À LA CALCULATRICE



3 La poussée d'Archimède est négligée. a) Établir l'équation différentielle et l'écrire sous la forme $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = A - B\,v^2$. b) Déterminer a_4 et v_5 (méthode d'Euler). c) Exprimer puis calculer la vitesse limite. d) La retrouver sur la courbe.

Données utiles $A = 9{,}80\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$; $B = 1{,}56\times10^{-2}\ \mathrm{m^{-1}}$; pas $\Delta t = 0{,}5$ s ; tableau : $v_4 = 17{,}2\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$ à $t = 2{,}00$ s

a) Même système, même référentiel. Forces : le poids $\vec{P}$, vertical vers le bas, et le frottement $\vec{F}$, vertical vers le haut (opposé au mouvement), de valeur $K\,v^2$.

Deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{F} = m\,\vec{a}$. En projection sur Oz : $m\,g_0 - K\,v^2 = m\,\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$.

$\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = g_0 - \dfrac{K}{m}\,v^2$, de la forme $A - B\,v^2$ avec $A = g_0$ et $B = \dfrac{K}{m}$.

b) L'équation différentielle donne l'accélération à chaque date : $a_i = A - B\,v_i^2$.

$a_4 = 9{,}80 - 1{,}56\times10^{-2}\times17{,}2^2 = 5{,}18\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$

Méthode d'Euler : $v_{i+1} = v_i + a_i\,\Delta t$.

$v_5 = v_4 + a_4\,\Delta t = 17{,}2 + 5{,}18\times0{,}5 = 19{,}8\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

$a_4 = 5{,}18\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$ et $v_5 = 19{,}8\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

c) Quand la vitesse limite est atteinte, v ne varie plus : $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, donc $A - B\,v_{\lim}^2 = 0$.

$$v_{\lim} = \sqrt{\frac{A}{B}} = \sqrt{\frac{9{,}80}{1{,}56\times10^{-2}}} = 25{,}1\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

$v_{\lim} = \sqrt{\dfrac{A}{B}} = 25{,}1\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$, soit environ $90\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$

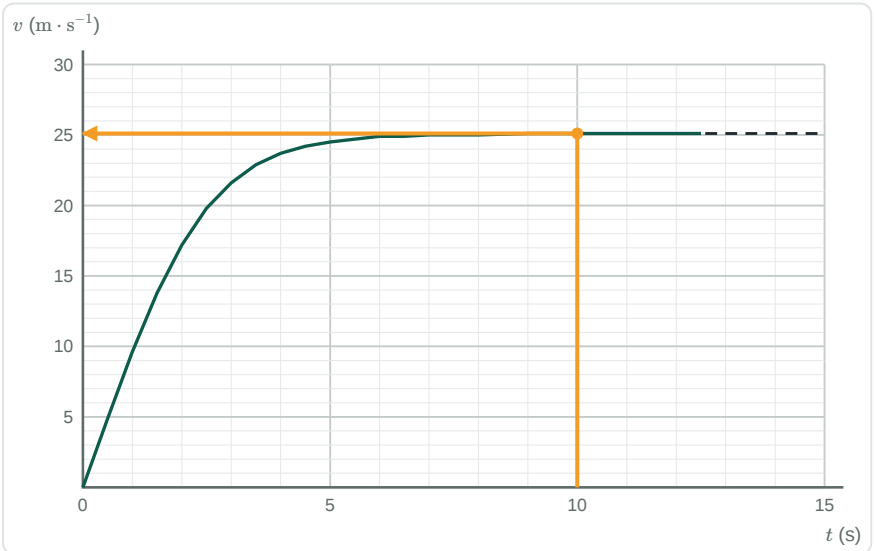
d) À partir de $t \approx 7$ s, la courbe se confond avec une droite horizontale : c'est son asymptote. On la trace et on lit son ordonnée.

Lecture graphique : $v_{\lim} \approx 25\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$, en accord avec la valeur calculée.

PIÈGE
Calculer v_5 avec $a_5 = 3{,}69$ au lieu de a_4 : c'est l'accélération au début de l'intervalle qui sert. Autre oubli fréquent : le carré de v_4.

COMPRENDRE
Avec le frottement, la vitesse au sol tombe de 617 à environ $90\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$, valeur compatible avec le maximum de $160\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$ du texte : ce modèle est réaliste.

MÉTHODE
Euler en deux temps, à répéter ligne après ligne : l'équation différentielle donne a_i à partir de v_i, puis $v_{i+1} = v_i + a_i\,\Delta t$. On vérifie avec les cases voisines du tableau.



3 · Courbe du sujet : l'asymptote horizontale (tirets) donne la vitesse limite $v_{\lim} \approx 25\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$9.80 - 1.56 \times 10^{-2} \times 17.2^2$
≈ 5.184896

$17.2 + 5.18 \times 0.5$
≈ 19.79

$\sqrt{\frac{9.80}{1.56 \times 10^{-2}}}$
≈ 25.06402

$\sqrt{\frac{9.80}{1.56 \times 10^{-2}}} \times 3.6$
≈ 90.23047