Corrigé complet — Bac S 2003 Amérique du Nord (ancien programme)

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

Ex 1	**Quelques propriétés de l'acide salicylique** Réaction d'un acide avec l'eau · Quotient de réaction · Conductivité · Constante d'acidité et pKa · Dilution · Estérification	6,5 pts	1 h 18	6 questions	p. 2
Ex 2	**Dipôle RLC** Charge d'un condensateur · Constante de temps $\tau = RC$ · Équation différentielle du circuit RC · Oscillations électriques amorties · Période propre $T_0 = 2\pi\sqrt{(LC)}$	4 pts	52 min	7 questions	p. 5
Ex 3	**Spécialité : Modélisation du principe du microscope** Lentille mince convergente · Relation de conjugaison · Grandissement · Image réelle et image virtuelle · Image à l'infini · Grossissement	4 pts	52 min	10 questions	p. 9
Ex 4	**Chute d'une balle de ping-pong** Bilan des forces · Poussée d'Archimède · Deuxième loi de Newton · Frottement fluide et vitesse limite · Méthode d'Euler	5,5 pts	1 h 05	12 questions	p. 14

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.

Quelques propriétés de l'acide salicylique

Bac S 2003 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1 Partie A, étude théorique. **a)** Écrire l'équation de la réaction de l'acide HA avec l'eau. **b)** Dresser le tableau d'avancement, exprimer les concentrations à l'équilibre en fonction de C et de $[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}$, puis en déduire $Q_{r,éq}$.

a) $\mathrm{HA\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)}$

b) Tableau d'avancement (quantités en mol) :

État	HA	$\mathrm{H_2O}$	$\mathrm{A^-}$	$\mathrm{H_3O^+}$
initial ($x=0$)	CV	excès	0	0
en cours (x)	$CV-x$	excès	x	x
équilibre ($x_{éq}$)	$CV-x_{éq}$	excès	$x_{éq}$	$x_{éq}$

À l'équilibre : $[\mathrm{H_3O^+}]_{éq} = [\mathrm{A^-}]_{éq} = \dfrac{x_{éq}}{V}$ et $[\mathrm{HA}]_{éq} = \dfrac{CV - x_{éq}}{V} = C - [\mathrm{H_3O^+}]_{éq}$.

L'eau est le solvant : elle ne figure pas dans le quotient de réaction.

$$Q_{r,éq} = \frac{[\mathrm{A^-}]_{éq}\,[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}}{[\mathrm{HA}]_{éq}} = \frac{[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}^2}{C - [\mathrm{H_3O^+}]_{éq}}$$

PIÈGE
Écrire $[\mathrm{HA}]_{éq} = C$. La transformation n'est pas totale, mais elle consomme une partie de l'acide : il faut la retrancher.

COMPRENDRE
Le quotient de réaction est sans unité : les concentrations y sont comptées en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ (chacune est divisée par $c^\circ = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$).

2 Partie A, étude théorique. Exprimer la conductivité σ de la solution à l'équilibre en fonction de $[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}$ et des conductivités molaires ioniques λ des ions présents.

Les ions présents sont $\mathrm{H_3O^+}$ et $\mathrm{A^-}$ (les ions $\mathrm{HO^-}$ sont en quantité négligeable dans cette solution acide) :

$$\sigma = \lambda_{\mathrm{H_3O^+}}\,[\mathrm{H_3O^+}]_{éq} + \lambda_{\mathrm{A^-}}\,[\mathrm{A^-}]_{éq}$$

Or $[\mathrm{A^-}]_{éq} = [\mathrm{H_3O^+}]_{éq}$, donc :

$$\sigma = (\lambda_{\mathrm{H_3O^+}} + \lambda_{\mathrm{A^-}})\,[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}$$

PIÈGE
Dans cette relation, les concentrations sont en $\mathrm{mol \cdot m^{-3}}$ (σ en $\mathrm{S \cdot m^{-1}}$, λ en $\mathrm{S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}}$), et non en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

1 Partie A, étude expérimentale. Comment prépare-t-on la solution S de concentration C à partir de la solution mère S_0 ? Dessiner et nommer la verrerie utilisée.

Données utiles $C_0 = 1{,}00 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $C = 1{,}00 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; pipette jaugée de 10 mL ; fioles jaugées de 50, 100 et 250 mL

Lors d'une dilution, la quantité de soluté se conserve : $C_0\,V_0 = C\,V$, d'où $\dfrac{V}{V_0} = \dfrac{C_0}{C} = 10$.

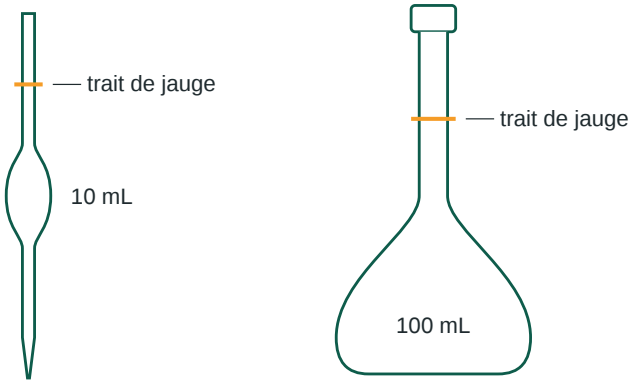
La seule pipette jaugée disponible impose $V_0 = 10{,}0$ mL, donc $V = 100{,}0$ mL.

- Verser un peu de solution S_0 dans un becher de 50 mL, puis y prélever 10,0 mL avec la pipette jaugée munie du pipeteur.
- Introduire ce prélèvement dans la fiole jaugée de 100 mL.
- Ajouter de l'eau distillée jusqu'aux deux tiers, agiter, compléter jusqu'au trait de jauge, boucher et homogénéiser.

Dilution au dixième : pipette jaugée de 10 mL et fiole jaugée de 100 mL.

PIÈGE
Choisir la pipette graduée ou une éprouvette : elles sont moins précises que la verrerie jaugée ($\pm 0{,}1$ mL contre $\pm 0{,}05$ mL pour les pipettes).

MÉTHODE
Facteur de dilution $F = C_0/C = V/V_0$: on choisit un couple pipette jaugée / fiole jaugée dont le rapport des volumes vaut F.



Pipette jaugée de 10 mL **Fiole jaugée de 100 mL**

1 · Verrerie de la dilution, traits de jauge repérés en orange

2 Partie A, étude expérimentale. **a)** Compléter le tableau de l'annexe (calculs littéraux d'abord). **b)** Comparer, à concentration égale, le comportement des deux acides dans l'eau. **c)** Définir la constante d'acidité K_A et expliquer comment l'étude permet de retrouver les $\mathrm{p}K_A$.

Données utiles $\lambda_1 = 35{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}}$; $\lambda_2 = 3{,}62 \times 10^{-3}\ \mathrm{S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}}$; ligne à compléter : $C = 5{,}00 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, $\sigma = 7{,}18 \times 10^{-2}\ \mathrm{S \cdot m^{-1}}$; relations de l'étude théorique

a) $[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}} = \dfrac{\sigma}{\lambda_1 + \lambda_2} = \dfrac{7{,}18 \times 10^{-2}}{(35{,}0 + 3{,}62) \times 10^{-3}} = 1{,}86\ \mathrm{mol \cdot m^{-3}}$, soit $1{,}86 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

$$Q_{r,\text{éq}} = \frac{[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}^2}{C - [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}} = \frac{(1{,}86 \times 10^{-3})^2}{5{,}00 \times 10^{-3} - 1{,}86 \times 10^{-3}} = 1{,}10 \times 10^{-3}$$

et $-\lg Q_{r,\text{éq}} = 2{,}96$.

b) À concentration égale, $[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$ est toujours plus grande pour l'acide salicylique (pour $C = 1{,}00 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$: $6{,}11 \times 10^{-4}$ contre $2{,}25 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$). Il réagit davantage avec l'eau : c'est le plus fort des deux acides.

c) K_A est le quotient de réaction à l'équilibre de la réaction de l'acide avec l'eau : $K_A = \dfrac{[\mathrm{A^-}]_{\text{éq}}\,[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{HA}]_{\text{éq}}}$, et $\mathrm{p}K_A = -\lg K_A$.

Ici $Q_{r,\text{éq}} = K_A$: la dernière colonne du tableau donne le $\mathrm{p}K_A$. Pour chaque acide, elle est presque constante quelle que soit C ; on en fait la moyenne : $\dfrac{3{,}01 + 2{,}96 + 3{,}03}{3} = 3{,}00$ et $\dfrac{4{,}19 + 4{,}20 + 4{,}22}{3} = 4{,}20$.

$\mathrm{p}K_A = 3{,}00$ (acide salicylique) et $\mathrm{p}K_A = 4{,}20$ (acide benzoïque) : on retrouve les valeurs des données.

	C (mol·L⁻¹)	σ (S·m⁻¹)	$[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$ (mol·L⁻¹)	$Q_{r,\text{éq}}$	− lg ($Q_{r,\text{éq}}$)
Ac. salicylique	$1{,}00 \times 10^{-3}$	$2{,}36 \times 10^{-2}$	$6{,}11 \times 10^{-4}$	$9{,}60 \times 10^{-4}$	3,01
Ac. salicylique	$5{,}00 \times 10^{-3}$	$7{,}18 \times 10^{-2}$	$1{,}86 \times 10^{-3}$	$1{,}10 \times 10^{-3}$	2,96
Ac. salicylique	$10{,}0 \times 10^{-3}$	$10{,}12 \times 10^{-2}$	$2{,}62 \times 10^{-3}$	$9{,}30 \times 10^{-4}$	3,03
Ac. benzoïque	$1{,}00 \times 10^{-3}$	$0{,}86 \times 10^{-2}$	$2{,}25 \times 10^{-4}$	$6{,}53 \times 10^{-5}$	4,19
Ac. benzoïque	$5{,}00 \times 10^{-3}$	$2{,}03 \times 10^{-2}$	$5{,}31 \times 10^{-4}$	$6{,}31 \times 10^{-5}$	4,20
Ac. benzoïque	$10{,}0 \times 10^{-3}$	$2{,}86 \times 10^{-2}$	$7{,}47 \times 10^{-4}$	$6{,}03 \times 10^{-5}$	4,22

2 · Annexe complétée : les trois valeurs calculées sont en orange

PIÈGE
Oublier la conversion $1\ \mathrm{mol \cdot m^{-3}} = 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$: $Q_{r,\text{éq}}$ se calcule avec des concentrations en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme σ, λ et C. Pour $Q_{r,\text{éq}}$, on garde en mémoire la valeur non arrondie de la concentration.

COMPRENDRE
K_A ne dépend que de la température : $Q_{r,\text{éq}}$ garde la même valeur quand C change, alors que $[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$ varie. Plus le $\mathrm{p}K_A$ est petit, plus l'acide est fort.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{7.18 \times 10^{-2}}{35.0 \times 10^{-3} + 3.62 \times 10^{-3}} \approx 1.85914$

$\dfrac{(1.859 \times 10^{-3})^2}{5.00 \times 10^{-3} - 1.859 \times 10^{-3}} \approx 0.001100249$

$-\log(1.10 \times 10^{-3}) \approx 2.958607$

$\dfrac{3.01 + 2.96 + 3.03}{3} \approx 3$

$\dfrac{4.19 + 4.20 + 4.22}{3} \approx 4.203333$

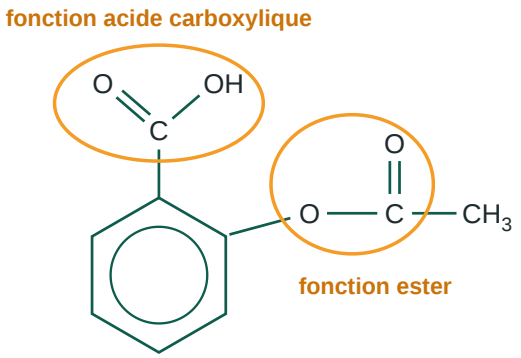
1 Partie B. Reproduire la formule semi-développée de l'aspirine. Entourer et nommer les fonctions chimiques présentes.

La molécule d'aspirine porte deux groupes caractéristiques, entourés sur la formule ci-dessous :

- le groupe carboxyle $-COOH$, fixé sur le cycle : fonction **acide carboxylique** ;
- le groupe $-O-CO-CH_3$: fonction **ester**.

Aspirine : une fonction acide carboxylique et une fonction ester.

PIÈGE
Entourer seulement $C=O$: la fonction ester est l'ensemble $-CO-O^-$ lié à deux atomes de carbone. Ne pas y voir une cétone ni un second acide.



1 · Formule de l'aspirine, fonctions entourées en orange

2 Partie B. Le groupement HO de l'acide salicylique se comporte comme une fonction alcool. **a)** Donner les formules semi-développées et les noms de A et de B. **b)** Nommer cette réaction et citer deux de ses caractéristiques.

a) Un alcool réagit avec un acide carboxylique pour donner un ester et de l'eau. L'ester formé porte le groupe CH_3-CO^-, à deux atomes de carbone :

- A est **l'acide éthanoïque**, CH_3-COOH ;
- B est **l'eau**, H_2O.

b) Cette réaction est une **estérification**. Elle est lente et limitée (non totale : elle conduit à un état d'équilibre, car l'hydrolyse de l'ester se produit en sens inverse).

A : acide éthanoïque CH_3-COOH ; B : eau H_2O ; estérification, lente et limitée.

COMPRENDRE
Vérification par conservation des éléments : $C_7H_6O_3 + C_2H_4O_2 \longrightarrow C_9H_8O_4 + H_2O$.

COMPRENDRE
Au laboratoire, on remplace l'acide éthanoïque par l'anhydride éthanoïque : la transformation devient alors rapide et totale, et B serait l'acide éthanoïque.

Dipôle RLC

Bac S 2003 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Partie A. Quel est le nom du phénomène observé sur la voie 1 à la fermeture de K ?

À la fermeture de K, la tension u_1 augmente progressivement de 0 jusqu'à E : on observe la **charge du condensateur** à travers le conducteur ohmique.

Charge du condensateur : régime transitoire, puis régime permanent où $u_1 = E$.

COMPRENDRE
La tension aux bornes d'un condensateur ne peut pas sauter d'une valeur à une autre : elle évolue de façon continue. C'est pourquoi u_1 ne passe pas instantanément de 0 à 6 V.

2 Partie A. Reproduire la partie de circuit concernée et indiquer, juste après la fermeture de K, le sens du courant, le signe des charges des armatures et la flèche-tension u_1.

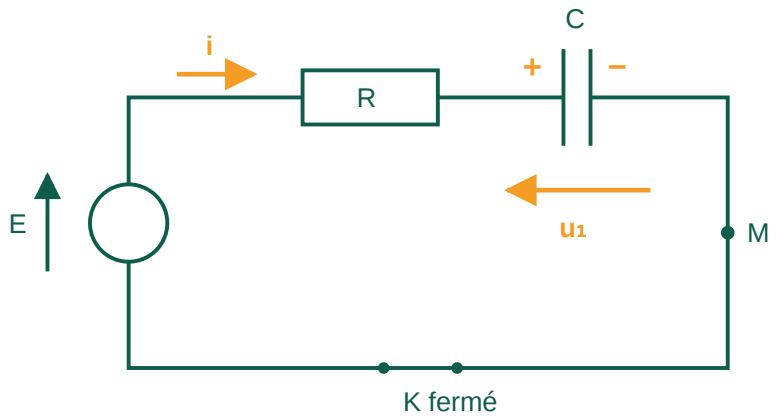
Seule la maille générateur – conducteur ohmique R – condensateur est parcourue par un courant (K' est ouvert).

- Le courant sort par la borne positive du générateur (pointe de la flèche E), traverse R puis arrive sur l'armature reliée à la voie 1.
- Cette armature se charge positivement ($+q$) ; l'armature reliée à la masse M porte la charge $-q$.
- La voie 1 mesure le potentiel de l'armature positive par rapport à M : la flèche u_1 pointe vers l'armature reliée à la voie 1.

Courant de la borne + du générateur vers R ; armature côté voie 1 : $+q$; armature côté M : $-q$; u_1 dirigée de M vers la voie 1.

PIÈGE
Dessiner tout le circuit de la figure 1. La branche contenant la bobine, le second conducteur ohmique et K' est ouverte : elle ne fait pas partie du schéma demandé.

MÉTHODE
Une flèche-tension pointe vers le point dont on mesure le potentiel (la voie), son origine est à la masse. La flèche E désigne de même la borne positive du générateur.



2 · Circuit de charge (K fermé, K' ouvert) : en orange, ce que l'élève ajoute

3 Partie A. Déterminer graphiquement la constante de temps τ du dipôle (R,C) en expliquant la méthode, puis en déduire la capacité C.

Données utiles $E = 6$ V ; $R = 20\ \Omega$; figure 2

Pour $t = \tau$, la tension vaut 63 % de sa valeur finale : $u_1(\tau) = 0{,}63\,E = 0{,}63 \times 6 = 3{,}8$ V.

Sur la figure 2, l'ordonnée 3,8 V est atteinte à l'abscisse $t = 0{,}4$ ms, donc $\tau = 0{,}4$ ms.

Vérification : la tangente à la courbe à l'origine coupe l'asymptote $u_1 = E$ à la même date.

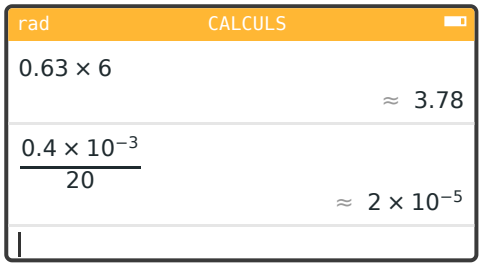
Comme $\tau = RC$: $\quad C = \dfrac{\tau}{R} = \dfrac{0{,}4 \times 10^{-3}}{20} = 2 \times 10^{-5}$ F

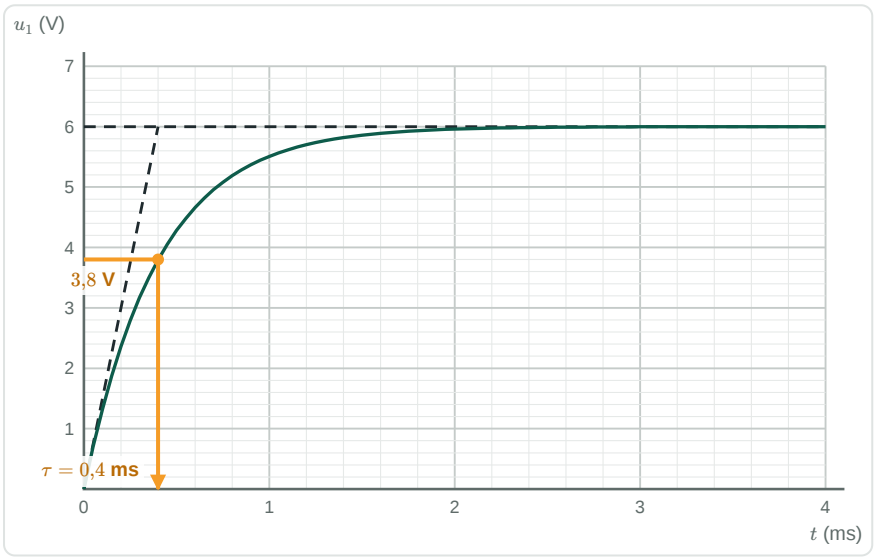
$\tau = 0{,}4$ ms et $C = 2 \times 10^{-5}$ F $= 20\ \mu$F

PIÈGE
Laisser τ en millisecondes dans le calcul : on obtiendrait une capacité mille fois trop grande. Convertir en secondes avant de diviser par R.

COMPRENDRE
La lecture graphique ne donne τ qu'avec un seul chiffre significatif : on n'en garde pas davantage pour C. La valeur 20 µF est bien celle indiquée sur la figure 3.

À LA CALCULATRICE





3 · Figure 2 du sujet : lecture à 63 % de E et tangente à l'origine

4 Partie A. a) Retrouver l'équation différentielle $\tau \dfrac{du_1}{dt} + u_1 = E$ avec la loi d'additivité des tensions. b) Calculer u_1 pour $t = 5\tau$ à partir de la solution donnée. Conclure.

Données utiles $E = 6$ V ; $u_1 = E\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$

a) Loi d'additivité des tensions dans la maille : $E = u_R + u_1$.

Loi d'Ohm : $u_R = R\,i$. Pour le condensateur : $i = \dfrac{dq}{dt}$ et $q = C\,u_1$, donc $i = C\,\dfrac{du_1}{dt}$.

D'où $E = RC\,\dfrac{du_1}{dt} + u_1$, soit, en posant $\tau = RC$: $\quad \tau\,\dfrac{du_1}{dt} + u_1 = E$.

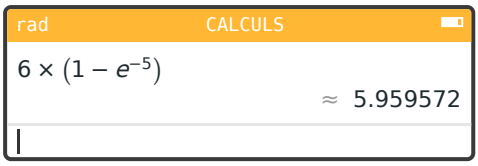
b) Pour $t = 5\tau$: $\quad u_1 = E\left(1 - e^{-5}\right) = 6 \times \left(1 - e^{-5}\right) = 5{,}96$ V, soit $0{,}99\,E$.

$u_1(5\tau) = 5{,}96$ V $\approx E$: au bout de 5τ (2 ms), le condensateur est chargé à plus de 99 %, on le considère comme chargé.

PIÈGE
Écrire $i = C\,\dfrac{du_1}{dt}$ sans passer par $q = C\,u_1$ et $i = \dfrac{dq}{dt}$, ou sans orienter le circuit : ces relations supposent i dirigé vers l'armature qui porte q.

COMPRENDRE
La figure 2 le confirme : à $t = 2$ ms, la courbe se confond avec son asymptote à 6 V. La charge n'est jamais mathématiquement terminée, mais l'écart devient inférieur à 1 %.

À LA CALCULATRICE



1 Partie B. Attribuer à chaque courbe de la figure 3 la tension correspondante en justifiant brièvement pour une courbe seulement.

À la date $t = 0$ (fermeture de K'), le condensateur vient d'être chargé sous la tension E : $u_1(0) = E = 6$ V.

Seule la courbe 1 part de 6 V ; la courbe 2 part de 0.

Courbe 1 : tension u_1 aux bornes du condensateur ; courbe 2 : tension u_2 aux bornes du conducteur ohmique.

COMPRENDRE
Cohérent pour la courbe 2 : u_2 est proportionnelle à l'intensité, et la bobine empêche le courant de s'établir brutalement, donc $u_2(0) = 0$.

COMPRENDRE
La bobine et les circuits RL et RLC (oscillations électriques) ne figurent plus au programme actuel de spécialité de terminale ; la partie A (circuit RC) y est toujours.

2 Partie B. Mesurer la pseudo-période T des oscillations. Calculer la période propre correspondant au cas où les résistances R sont négligeables. Conclure.

Données utiles figure 3 ; $L = 0{,}8$ H ; $C = 20\ \mu$F

Sur la courbe 1, trois pseudo-périodes séparent le maximum de la date $t = 0$ du maximum situé vers $t = 75$ ms : $3T = 75$ ms, donc $T = 25$ ms.

Période propre du circuit sans résistance :

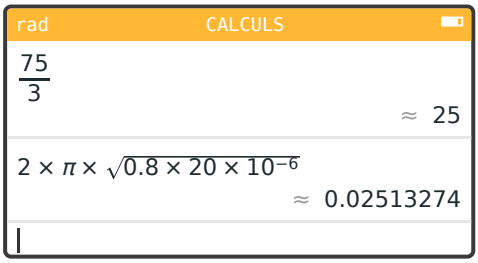
$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{0{,}8 \times 20 \times 10^{-6}} = 2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{s} = 25\ \text{ms}$$

$T = 25$ ms et $T_0 = 25$ ms : $T \approx T_0$, les résistances amortissent les oscillations sans modifier sensiblement leur période.

PIÈGE
Laisser C en microfarads sous la racine. Avec L en henrys et C en farads, T_0 s'obtient en secondes.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs pseudo-périodes puis diviser : l'incertitude de lecture est divisée d'autant. Repérer des maxima, ou des passages par zéro dans le même sens.

À LA CALCULATRICE



3 Partie B. On a diminué L dans un cas, augmenté C dans l'autre : attribuer à chaque cas la figure 4 ou la figure 5. Justifier.

Données utiles $T = 25$ ms (Q2 de la partie B) ; figures 4 et 5

La pseudo-période est voisine de $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$: elle diminue si L diminue, elle augmente si C augmente.

Figure 4 : deux pseudo-périodes durent environ 80 ms, soit $T \approx 40$ ms, valeur supérieure à 25 ms.

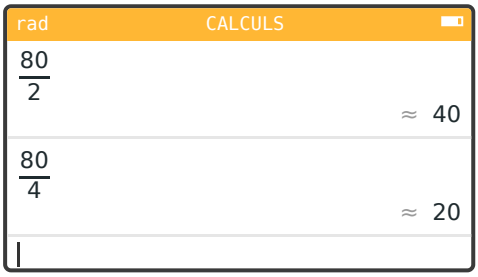
Figure 5 : quatre pseudo-périodes durent environ 80 ms, soit $T \approx 20$ ms, valeur inférieure à 25 ms.

Figure 4 : C a été augmentée (la période augmente) ; figure 5 : L a été diminuée (la période diminue).

MÉTHODE

Pour étudier l'influence d'un paramètre : écrire la relation littérale, dire dans quel sens varie la grandeur, puis comparer à une mesure faite sur chaque courbe.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Modélisation du principe du microscope

Bac S 2003 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 (Partie I) Compléter le schéma n°1 en plaçant les foyers de la lentille L_1 et en traçant l'image A_1B_1 de l'objet AB.

Données utiles $f'_1 = 5$ cm ; objet à 6 cm devant L_1 ; $AB = 0{,}5$ cm ; échelle 1/2 sur l'axe, échelle 1 en hauteur

Avec l'échelle 1/2 sur l'axe, les foyers F_1 et F'_1 sont placés à 2,5 cm de O_1 sur le schéma, de part et d'autre de la lentille ($f'_1 = 5$ cm en réalité).

Trois rayons issus de B :

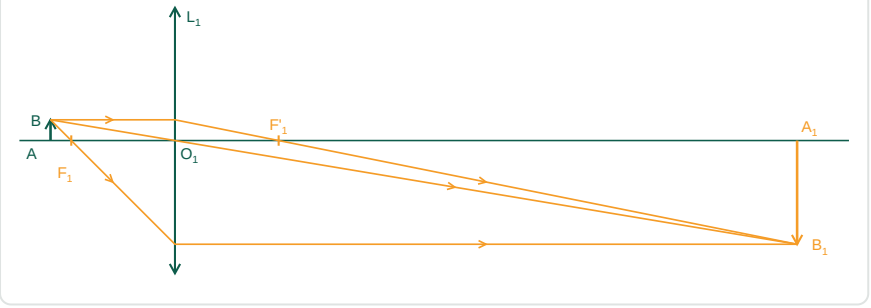
- le rayon passant par O_1 n'est pas dévié ;
- le rayon parallèle à l'axe optique émerge en passant par F'_1 ;
- le rayon passant par F_1 émerge parallèlement à l'axe.

Les rayons émergents se coupent en B_1 ; A_1 est le projeté de B_1 sur l'axe.

L'image A_1B_1 est réelle, renversée, à 15 cm de O_1 sur le schéma (30 cm en réalité) et haute de 2,5 cm.

PIÈGE
Les deux échelles sont différentes. Sur l'axe, 1 cm du schéma représente 2 cm ; en hauteur, les longueurs sont en vraie grandeur. Placer les foyers à 5 cm de O_1 sur le papier fausse toute la construction.

MÉTHODE
Deux rayons suffisent pour trouver B_1 ; le troisième sert de contrôle. S'il ne passe pas par le même point, un foyer est mal placé.



1 · Schéma n°1 complété : foyers F_1, F'_1 et image A_1B_1 (tracés de l'élève en orange)

2 (Partie I) Avec la relation de conjugaison et celle du grandissement, calculer la position et la taille de l'image, ainsi que le grandissement γ_1 de l'objectif.

Données utiles $\overline{O_1A} = -6$ cm ; $f'_1 = \overline{O_1F'_1} = 5$ cm ; $\overline{AB} = 0{,}5$ cm

Relation de conjugaison : $\dfrac{1}{\overline{O_1A_1}} - \dfrac{1}{\overline{O_1A}} = \dfrac{1}{f'_1}$, donc

$$\overline{O_1A_1} = \frac{f'_1 \times \overline{O_1A}}{f'_1 + \overline{O_1A}} = \frac{5 \times (-6)}{5 - 6} = 30 \text{ cm}$$

L'image se forme 30 cm après la lentille.

Grandissement : $\gamma_1 = \dfrac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}} = \dfrac{30}{-6} = -5$

Taille : $\gamma_1 = \dfrac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$, donc $\overline{A_1B_1} = \gamma_1 \times \overline{AB} = -5 \times 0{,}5 = -2{,}5$ cm

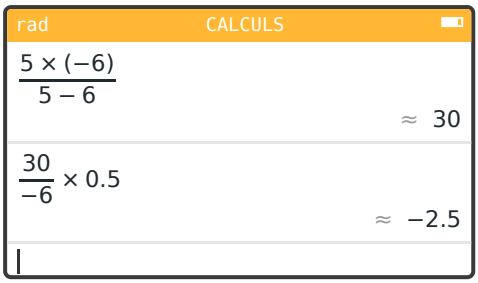
$\overline{O_1A_1} = 30$ cm ; $\gamma_1 = -5$; $\overline{A_1B_1} = -2{,}5$ cm (image renversée, haute de 2,5 cm)

PIÈGE
Les grandeurs sont algébriques : l'objet est devant la lentille, donc $\overline{O_1A} = -6$ cm et non $+6$ cm. Avec $+6$ cm on trouve une image à 2,7 cm, contredite par le schéma.

COMPRENDRE
Les données du sujet (5 cm, 6 cm, 0,5 cm) n'ont qu'un chiffre significatif ; ce sont des valeurs de réglage, on garde les résultats tels quels. Le signe négatif de γ_1 traduit une image renversée.

COMPRENDRE
Les unités restent en centimètres : la relation de conjugaison n'impose le mètre que si l'on calcule une vergence en dioptries.

À LA CALCULATRICE



3 (Partie I) Un élève mesure une image haute de 2,7 cm, située à 31 cm derrière la lentille. Ces mesures sont-elles compatibles avec les valeurs calculées ? Commenter.

Données utiles valeurs calculées (question 2 de la partie I) : 30 cm et 2,5 cm

Écart relatif sur la position : $\frac{31-30}{30} = 0{,}03$, soit environ 3 %.

Écart relatif sur la taille : $\frac{2{,}7-2{,}5}{2{,}5} = 0{,}08$, soit 8 %.

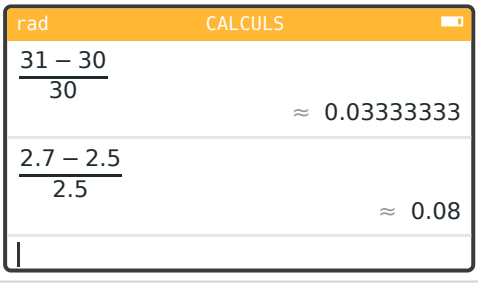
Ces écarts sont faibles. Ils s'expliquent par les incertitudes de l'expérience : l'image paraît nette sur une petite plage de positions de l'écran, la taille est lue à la règle au millimètre près, et l'objet lui-même est placé à 6 cm à un ou deux millimètres près.

Les mesures (31 cm ; 2,7 cm) sont compatibles avec les valeurs calculées (30 cm ; 2,5 cm), aux incertitudes expérimentales près.

COMPRENDRE
L'objet est tout près du foyer F_1 : un objet placé à 5,9 cm au lieu de 6 cm donnerait une image à 33 cm. Une erreur d'un millimètre sur l'objet déplace l'image de plusieurs centimètres.

MÉTHODE
Pour juger une mesure face à une valeur attendue, calculer l'écart relatif $\frac{|\text{mesure} - \text{attendu}|}{\text{attendu}}$, puis citer au moins une source d'incertitude précise.

À LA CALCULATRICE



4 (Partie I) Un élève a placé l'objet à 4 cm devant la lentille. Pourquoi ne peut-il pas obtenir d'image sur un écran ?

Données utiles $f'_1 = 5$ cm ; $\overline{O_1A} = -4$ cm

L'objet est à 4 cm de la lentille, distance inférieure à $f'_1 = 5$ cm : il se trouve entre le foyer objet F_1 et le centre optique O_1.

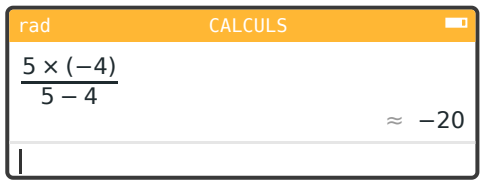
Dans ce cas, les rayons issus d'un point de l'objet divergent encore après la lentille : ils ne se coupent pas derrière elle. Seuls leurs prolongements se coupent, du côté de l'objet.

Vérification : $\overline{O_1A_1} = \frac{5 \times (-4)}{5-4} = -20$ cm, valeur négative.

L'image est virtuelle, située devant la lentille (à 20 cm, du côté de l'objet) : elle ne peut pas être recueillie sur un écran.

COMPRENDRE
La lentille fonctionne alors en loupe : l'image virtuelle est droite et agrandie, visible seulement en regardant à travers la lentille. Un écran ne reçoit une image que si les rayons convergent réellement en un point.

À LA CALCULATRICE



1 (Partie II) Où doit-on placer la lentille L_2 pour que l'image A_2B_2 soit à l'infini ? Justifier.

Données utiles $f'_2 = 20$ cm ; $\overline{O_1A_1} = 30$ cm (question 2 de la partie I)

Une lentille convergente donne une image à l'infini lorsque l'objet est dans son plan focal objet. L'image intermédiaire A_1B_1 doit donc se trouver dans le plan focal objet de L_2 : A_1 est confondu avec F_2.

Justification par la relation de conjugaison : $\dfrac{1}{\overline{O_2A_2}} = \dfrac{1}{\overline{O_2A_1}} + \dfrac{1}{f'_2}$. Si $\overline{O_2A_1} = -f'_2$, alors $\dfrac{1}{\overline{O_2A_2}} = 0$: A_2 est rejeté à l'infini.

La lentille L_2 est donc à $f'_2 = 20$ cm après A_1B_1, soit à $30 + 20 = 50$ cm de L_1.

L_2 est placée 20 cm après l'image A_1B_1 (A_1 en F_2), c'est-à-dire à 50 cm de l'objectif.

PIÈGE
Confondre foyer objet et foyer image. C'est en F_2, devant l'oculaire, que doit se trouver A_1 ; placé en F'_2, l'objet serait derrière la lentille.

COMPRENDRE
Une image à l'infini s'observe sans accommoder : l'œil normal reste au repos. Le même réglage (image intermédiaire dans le plan focal objet de l'oculaire) sert pour la lunette astronomique afocale.

2 (Partie II) Compléter le schéma n°2 en plaçant la lentille L_2, ses foyers, et en traçant la marche de deux rayons lumineux.

Données utiles $f'_2 = 20$ cm ; A_1 en F_2 (question 1 de la partie II) ; échelle 1/2 sur l'axe, échelle 1 en hauteur

Avec l'échelle 1/2 sur l'axe, L_2 est tracée à 10 cm de A_1 sur le schéma ; F_2 est confondu avec A_1 et F'_2 est à 10 cm après O_2.

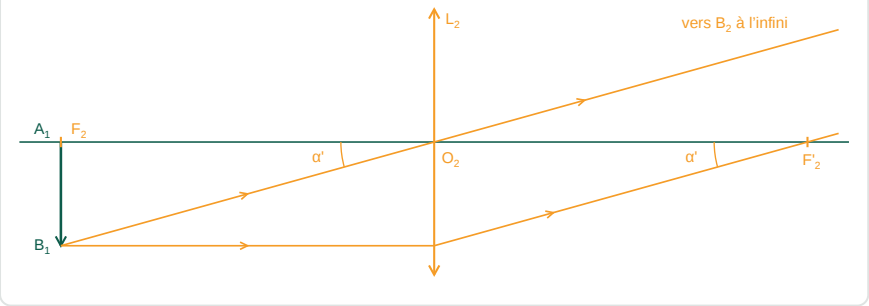
Deux rayons issus de B_1 :

- le rayon passant par O_2 n'est pas dévié ;
- le rayon parallèle à l'axe optique émerge en passant par F'_2.

Les deux rayons émergents sont parallèles entre eux : l'image A_2B_2 est à l'infini. Ils font avec l'axe l'angle α'.

PIÈGE
Faire converger les rayons émergents vers un point derrière l'oculaire. Vérifier à la règle qu'ils sont bien parallèles ; sinon L_2 ou F'_2 est mal placé.

COMPRENDRE
B_1 est dans le plan focal objet : tous les rayons qui en partent ressortent parallèles au rayon passant par O_2. Ce rayon donne la direction dans laquelle l'œil voit B_2.



2 · Schéma n°2 complété : lentille L_2, foyers et deux rayons issus de B_1 (tracés de l'élève en orange)

1 (Partie III) Calculer, en radians, l'angle α' sous lequel l'œil voit l'image A_2B_2 lorsque $A_1B_1 = 2{,}5$ cm.

Données utiles $A_1B_1 = 2{,}5$ cm ; $O_2F_2 = f'_2 = 20$ cm

α' est l'angle entre l'axe optique et le rayon issu de B_1 passant par O_2. Dans le triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1 :

$$\tan\alpha' = \frac{A_1B_1}{O_2A_1} = \frac{A_1B_1}{f'_2}$$

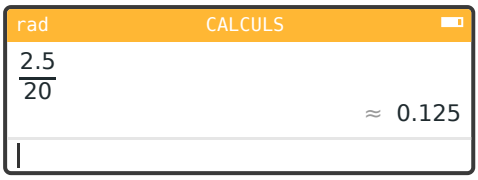
L'angle étant petit, $\tan\alpha' \approx \alpha'$:

$$\alpha' = \frac{2{,}5}{20} = 0{,}125 \text{ rad}$$

$\alpha' = 0{,}125$ rad

PIÈGE
Les deux longueurs doivent être dans la même unité (ici le centimètre). Le quotient donne directement des radians : ne pas convertir en degrés, et ne pas appliquer $\tan^{-1}$ en mode degré.

À LA CALCULATRICE



2 (Partie III) Calculer l'angle α sous lequel l'objet est vu à l'œil nu, à une distance $d = 25$ cm.

Données utiles $AB = 0{,}5$ cm ; $d = 25$ cm

L'objet AB, perpendiculaire à la direction d'observation, est vu depuis l'œil placé à la distance d de A :

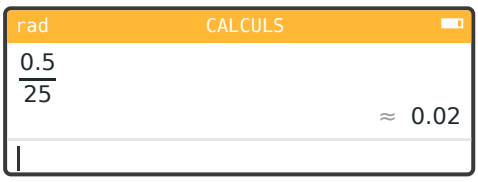
$$\tan\alpha = \frac{AB}{d} \approx \alpha$$

$$\alpha = \frac{0{,}5}{25} = 0{,}020 \text{ rad}$$

$\alpha = 0{,}020$ rad

COMPRENDRE
La distance $d = 25$ cm est la distance minimale de vision distincte d'un œil normal : c'est à cette distance qu'un petit objet est vu sous le plus grand angle sans instrument.

À LA CALCULATRICE



3 (Partie III) En déduire la valeur du grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ dans ces conditions.

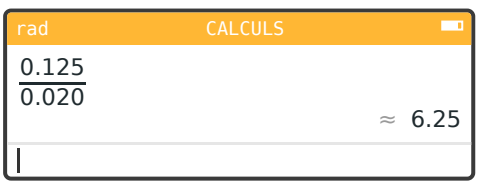
Données utiles $\alpha' = 0{,}125$ rad (question 1 de la partie III) ; $\alpha = 0{,}020$ rad (question 2 de la partie III)

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{0{,}125}{0{,}020} = 6{,}25$$

$G = 6{,}25$, soit environ 6 : l'objet est vu sous un angle six fois plus grand qu'à l'œil nu.

PIÈGE
Ne pas confondre grossissement et grandissement. Le grossissement compare deux angles et n'a pas d'unité ; le grandissement compare deux longueurs et ne peut pas se définir pour une image à l'infini.

À LA CALCULATRICE



4 (Partie III) Le grossissement commercial est $G_C = C_2 \cdot |\gamma_1| \cdot d$, où C_2 est la vergence de l'oculaire. Montrer que le grossissement G calculé à la question 3 correspond au grossissement commercial.

Données utiles $f'_2 = 0{,}20$ m ; $|\gamma_1| = 5$ (question 2 de la partie I) ; $d = 0{,}25$ m ; $G = 6{,}25$ (question 3 de la partie III)

Calcul littéral : $C_2 = \dfrac{1}{f'_2}$ et $|\gamma_1| = \dfrac{A_1B_1}{AB}$, donc

$$G_C = \frac{1}{f'_2} \times \frac{A_1B_1}{AB} \times d = \frac{A_1B_1/f'_2}{AB/d} = \frac{\alpha'}{\alpha} = G$$

Vérification numérique : $C_2 = \dfrac{1}{0{,}20} = 5{,}0\ \delta$, d'où $G_C = 5{,}0 \times 5 \times 0{,}25 = 6{,}25$.

$G_C = 6{,}25 = G$: le grossissement calculé est bien le grossissement commercial.

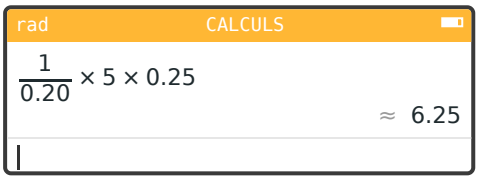
PIÈGE

La vergence est en dioptries (m^{-1}) : pour calculer $C_2 = 5{,}0\ \delta$, f'_2 doit être en mètres, et d aussi. Convertir une seule des deux longueurs fausse G_C d'un facteur 100.

COMPRENDRE

L'égalité tient parce que l'image finale est à l'infini et que l'angle de référence α est pris à $d = 25$ cm : ce sont les deux conditions qui définissent le grossissement commercial.

À LA CALCULATRICE



Chute d'une balle de ping-pong

Bac S 2003 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1 Faire correspondre chaque schéma d'élève à une des propositions d'Amélie. Justifier.

Le poids $\vec{P}$ et la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$ gardent la même valeur pendant toute la chute. Seule la force de frottement $\vec{F}$ change : nulle quand la balle est immobile, elle grandit avec la vitesse.

- Schéma de Benoît : pas de force $\vec{F}$, donc $v = 0$. C'est l'instant initial.
- Schéma d'Adrien : $\vec{F}$ est présente mais courte. C'est une date t quelconque.
- Schéma d'Amélie : $\vec{F}$ est la plus longue, la vitesse est donc plus grande. C'est un temps de chute plus grand.

Benoît : instant du lâcher ; Adrien : date t quelconque ; Amélie : temps de chute plus grand.

MÉTHODE
Pour classer des schémas de forces dans le temps, chercher la force qui varie. Ici seule $\vec{F}$ dépend de la vitesse : sa longueur indique l'ordre chronologique.

2 Calculer le rapport des forces entre le poids et la poussée d'Archimède. Conclure.

Données utiles $m = 2{,}3$ g ; $r = 1{,}9$ cm ; $\rho = 1{,}3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $V_s = \frac{4}{3}\pi r^3$

Poids : $P = m\,g$. Poussée d'Archimède (poids du volume d'air déplacé) : $\Pi = \rho\,V_s\,g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho\,g$.

$$\frac{P}{\Pi} = \frac{3\,m}{4\,\pi\,\rho\,r^3} = \frac{3 \times 2{,}3 \times 10^{-3}}{4 \times \pi \times 1{,}3 \times (1{,}9 \times 10^{-2})^3} = 62$$

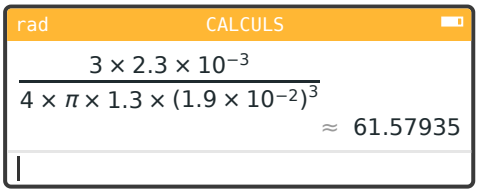
La poussée d'Archimède est 62 fois plus petite que le poids : on peut la négliger devant lui, comme l'annonce Benoît.

$\frac{P}{\Pi} = 62$: la poussée d'Archimède est négligeable devant le poids.

PIÈGE
Les unités : m en kilogramme ($2{,}3 \times 10^{-3}$ kg) et r en mètre ($1{,}9 \times 10^{-2}$ m), puisque ρ est en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Le rayon est au cube.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs : le rapport s'écrit 62. Dans le quotient, g se simplifie ; le résultat ne dépend pas de sa valeur.

À LA CALCULATRICE



3 Retrouver l'équation (1) trouvée par Adrien. Indiquer l'axe de projection utilisé.

Système {balle}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Forces : le poids $\vec{P}$ (vertical, vers le bas) et la force de frottement $\vec{F}$ (verticale, vers le haut) ; la poussée d'Archimède est négligée (question 2).

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

On projette sur un axe vertical orienté vers le bas, dans le sens du mouvement : $P_z = +m\,g$, $F_z = -F$ et $a_z = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$.

$m\,\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = m\,g - F$, sur un axe vertical orienté vers le bas.

PIÈGE
Oublier de préciser le sens de l'axe. Avec un axe orienté vers le haut, les signes de l'équation (1) seraient inversés.

4 Identifier sur le document 1 les deux courbes représentées. Justifier.

La balle est lâchée sans vitesse initiale : $v(0) = 0$. Seule la courbe 2 passe par l'origine, puis elle croît vers une valeur limite.

À $t = 0$, $F = 0$ donc l'équation (1) donne $a(0) = g = 9{,}8\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$: c'est l'ordonnée à l'origine de la courbe 1, qui décroît ensuite vers zéro.

Courbe 1 : accélération $a(t)$; courbe 2 : vitesse $v(t)$.

5 Déterminer, à partir du document 1, la vitesse limite v_{lim} de la balle. En déduire la valeur expérimentale de k. Retrouver l'équation (2).

Données utiles $m = 2{,}3\ \mathrm{g}$; $g = 9{,}8\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$; $F = k\,v^2$

Sur la courbe 2, la vitesse ne varie plus à partir de $t \approx 2$ s : $v_{lim} = 8{,}0\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Quand la vitesse limite est atteinte, $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$. L'équation (1) devient $m\,g - k\,v_{lim}^2 = 0$, d'où

$$k = \frac{m\,g}{v_{lim}^2} = \frac{2{,}3\times10^{-3}\times 9{,}8}{8{,}0^2} = 3{,}5\times10^{-4}\ \mathrm{kg\cdot m^{-1}}$$

En divisant l'équation (1) par m, avec $F = k\,v^2$: $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = g - \dfrac{k}{m}\,v^2$.

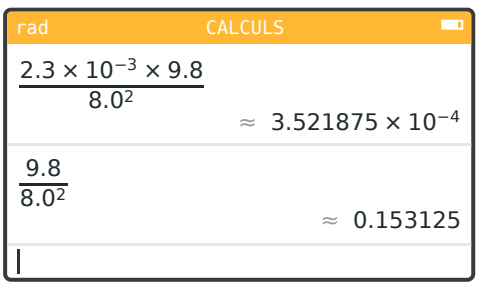
Or $\dfrac{k}{m} = \dfrac{g}{v_{lim}^2} = \dfrac{9{,}8}{8{,}0^2} = 0{,}15\ \mathrm{m^{-1}}$.

$v_{lim} = 8{,}0\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$; $k = 3{,}5\times10^{-4}\ \mathrm{kg\cdot m^{-1}}$; $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 9{,}8 - 0{,}15\,v^2$

PIÈGE
Unité de k : $F = k\,v^2$ donne des $\mathrm{N\cdot s^2\cdot m^{-2}}$, soit des $\mathrm{kg\cdot m^{-1}}$. Un résultat sans unité est incomplet.

COMPRENDRE
À la vitesse limite, le frottement compense exactement le poids : la somme des forces est nulle et le mouvement devient rectiligne uniforme.

À LA CALCULATRICE



6 Calculer la valeur théorique $k_t = 0{,}22\,\pi\,\rho\,r^2$. Comparer k et k_t et conclure.

Données utiles $\rho = 1{,}3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $r = 1{,}9$ cm ; $k = 3{,}5\times10^{-4}\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ (Q5)

$$k_t = 0{,}22\times\pi\times1{,}3\times(1{,}9\times10^{-2})^2 = 3{,}2\times10^{-4}\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$$

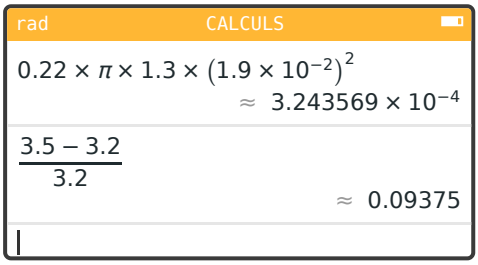
Écart relatif : $\dfrac{k-k_t}{k_t} = \dfrac{3{,}5-3{,}2}{3{,}2} \approx 9\ \%$.

Les deux valeurs sont du même ordre de grandeur et diffèrent de moins de 10 %, alors que v_{lim} est lue sur un graphique. La valeur expérimentale de k est compatible avec l'expression théorique.

$k_t = 3{,}2\times10^{-4}\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$, proche de $k = 3{,}5\times10^{-4}\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ (écart d'environ 9 %).

MÉTHODE
« Comparer » deux valeurs demande un chiffre : calculer l'écart relatif, puis le juger au regard de la précision des mesures.

À LA CALCULATRICE



7.a Évaluer le temps caractéristique de l'évolution du système. Le choix du pas d'itération vous semble-t-il satisfaisant ? Justifier.

Données utiles $\Delta t = 0{,}05$ s ; $v_{lim} = 8{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Q5)

On trace la tangente à l'origine de la courbe $v(t)$ et l'asymptote horizontale $v = v_{lim}$. Elles se coupent à la date $t = \tau$: on lit $\tau \approx 0{,}8$ s.

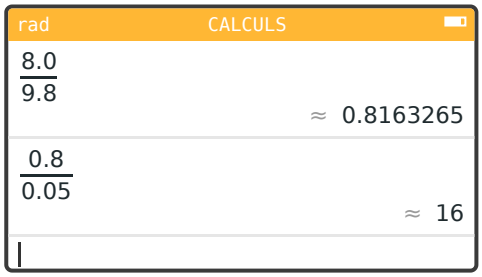
Vérification : la pente de la tangente à l'origine vaut $a(0) = g$, donc $\tau = \dfrac{v_{lim}}{g} = \dfrac{8{,}0}{9{,}8} = 0{,}82$ s.

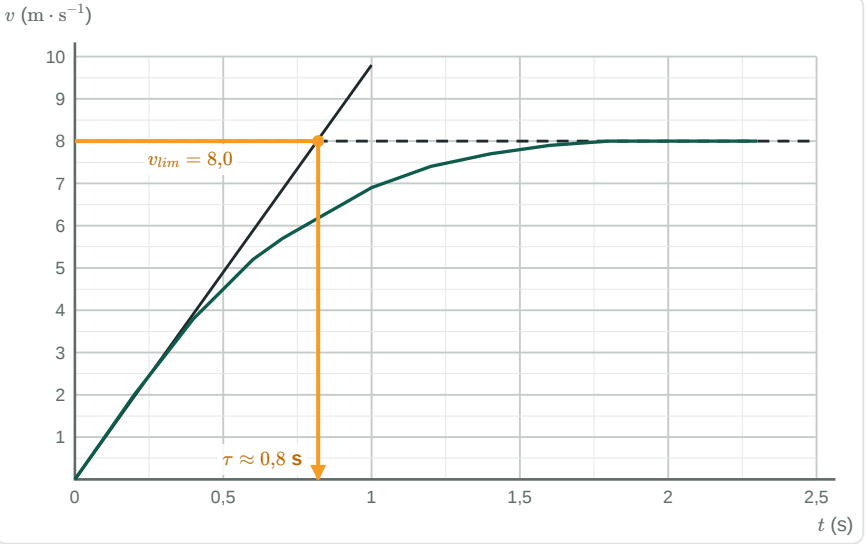
Le pas $\Delta t = 0{,}05$ s est environ 16 fois plus petit que τ : la vitesse varie peu pendant un pas, le choix paraît satisfaisant.

$\tau \approx 0{,}8$ s ; $\Delta t = 0{,}05$ s $\approx \dfrac{\tau}{16}$: pas petit devant τ, choix satisfaisant.

MÉTHODE
Le pas d'une méthode d'Euler se juge par rapport au temps caractéristique : il doit être petit devant τ, en général au moins dix fois plus petit.

À LA CALCULATRICE





7.a · Document 1, courbe 2 : tangente à l'origine et asymptote $v = v_{lim}$

7.b Compléter les trois cases vides du tableau donné en annexe. Justifier.

Données utiles équation (2) ; $\Delta t = 0{,}05$ s ; $v_1 = 0{,}49\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $v_3 = 1{,}4610227\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Accélération à une date t_n : $a_n = 9{,}8 - 0{,}15\,v_n^2$. Vitesse à la date suivante : $v_{n+1} = v_n + a_n\,\Delta t$.

Case a_1 ($t = 0{,}05$ s) : $a_1 = 9{,}8 - 0{,}15 \times 0{,}49^2 = 9{,}76\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Case v_2 ($t = 0{,}1$ s) : $v_2 = v_1 + a_1\,\Delta t = 0{,}49 + 9{,}76 \times 0{,}05 = 0{,}98\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

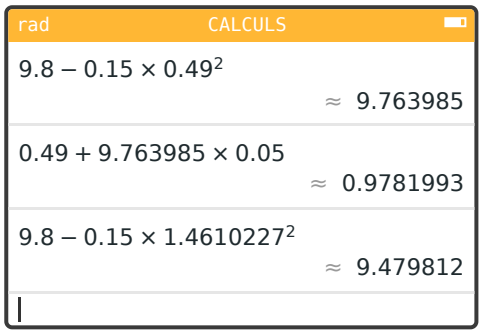
Case a_3 ($t = 0{,}15$ s) : $a_3 = 9{,}8 - 0{,}15 \times 1{,}4610227^2 = 9{,}48\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

$a_1 = 9{,}76\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $v_2 = 0{,}98\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $a_3 = 9{,}48\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

PIÈGE
Calculer v_2 avec l'accélération a_2 : c'est l'accélération de la ligne précédente, a_1, qui sert à passer de v_1 à v_2.

COMPRENDRE
Contrôle : avec $v_2 = 0{,}978$, on retrouve $a_2 = 9{,}8 - 0{,}15\,v_2^2 = 9{,}656$, la valeur imprimée dans le tableau.

À LA CALCULATRICE



Temps	Vitesse	Accélération
t (s)	v (m/s)	dv/dt (m/s²)
0	0	9,8
0,05	0,49	9,763985
0,1	0,97819925	9,65646893
0,15	1,4610227	9,47981190
0,2	1,93501329	9,23835853
0,25	2,39693122	8,93820811

7.b · Annexe complétée : les trois cases effacées sont en orange

7.c Justifier très brièvement l'exclamation d'Amélie à propos de la précision des résultats des calculs d'Adrien.

Les données ($g = 9{,}8$; coefficient $0{,}15$; $v_{lim} = 8{,}0$) n'ont que deux chiffres significatifs, et la méthode d'Euler est elle-même une approximation. Les huit ou neuf chiffres affichés par le tableur n'ont donc aucune signification physique.

Un résultat ne peut pas être plus précis que les données : deux ou trois chiffres significatifs suffisent.

8.a Comparer les valeurs expérimentales (courbes 1 et 2) et les valeurs calculées avec la méthode d'Euler (courbes 3 et 4).

Vitesse : les courbes 2 (expérience) et 3 (Euler) sont presque confondues, avec la même vitesse limite ; l'écart reste faible, visible surtout autour de $t = 1$ s.

Accélération : les courbes 1 (expérience) et 4 (Euler) ont la même allure et la même valeur initiale, mais elles s'écartent davantage. Pour $t > 1{,}5$ s, l'accélération calculée n'est pas encore nulle alors que l'accélération mesurée l'est pratiquement.

Bon accord pour la vitesse ; accord moins bon pour l'accélération, surtout en fin de chute.

8.b Avant de conclure sur la validité du modèle utilisé pour la force de frottement, que faut-il modifier dans le calcul numérique ?

L'écart observé peut venir de la méthode de calcul et non du modèle : la méthode d'Euler suppose l'accélération constante pendant chaque pas. Il faut refaire le calcul avec un pas Δt plus petit (donc davantage de lignes) et vérifier si les courbes calculées se rapprochent des courbes expérimentales.

Diminuer le pas d'itération Δt.

COMPRENDRE
Si l'écart persiste avec un pas beaucoup plus petit, c'est le modèle $F = k\,v^2$ lui-même qui est en cause, et non le calcul numérique.

8.c Quel autre modèle pourrait-on proposer pour la force de frottement ? Expliquer brièvement ce qui serait modifié dans l'équation (2).

On peut proposer une force de frottement proportionnelle à la vitesse : $F = k'\,v$.

L'équation (1) donne alors $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = g - \dfrac{k'}{m}\,v$: le terme en v^2 est remplacé par un terme en v, avec un coefficient différent.

Ce coefficient se déduit encore de la vitesse limite : $\dfrac{k'}{m} = \dfrac{g}{v_{lim}} = \dfrac{9{,}8}{8{,}0} = 1{,}2\ \mathrm{s}^{-1}$.

$F = k'\,v$ et $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 9{,}8 - 1{,}2\,v$

À LA CALCULATRICE

