Corrigé complet — Bac S 2005 Inde (Pondichéry) (ancien programme)

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

Ex 1	**Propriétés de l'acide propanoïque** Dilution · Conductimétrie · Constante d'acidité · Estérification · Quotient de réaction · Déplacement d'équilibre	6,5 pts	1 h 18	14 questions	p. 2
Ex 2	**Etude d'un circuit RL** Bobine réelle · Loi d'additivité des tensions · Établissement du courant · Régime permanent · Constante de temps · Analyse dimensionnelle	4 pts	52 min	9 questions	p. 7
Ex 3	**Spécialité : Etude d'un son et de sa réception avec un récepteur radio** Son complexe et harmoniques · Ondes stationnaires sur une corde · Célérité d'une onde · Modulation d'amplitude · Circuit d'accord LC · Démodulation	4 pts	52 min	10 questions	p. 10
Ex 4	**Mouvement d'un palet** Vitesse et accélération par pointage · Deuxième loi de Newton · Plan incliné · Conservation de l'énergie mécanique · Poussée d'Archimède · Chute avec frottement fluide	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.

Propriétés de l'acide propanoïque

Bac S 2005 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Indiquer le protocole expérimental à suivre pour préparer la solution S à partir de S_0 avec le matériel disponible.

Données utiles S_0 : $n = 0{,}10$ mol dans $V_{S_0} = 500$ mL ; S : $C = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $V = 1{,}00$ L

Concentration de la solution mère : $C_0 = \dfrac{n}{V_{S_0}} = \dfrac{0{,}10}{0{,}500} = 0{,}20\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

.

Lors d'une dilution, la quantité de soluté prélevée se retrouve dans la solution fille : $C_0\,V_0 = C\,V$, donc

$$V_0 = \frac{C\,V}{C_0} = \frac{2{,}0 \times 10^{-3} \times 1{,}00}{0{,}20} = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{L}$$

Protocole :

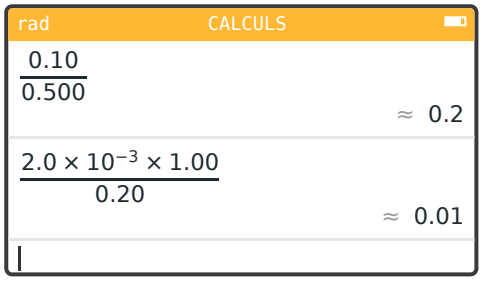
- verser un peu de S_0 dans un bécher, puis en prélever 10 mL avec la pipette jaugée de 10 mL munie de son système de pipetage ;
- introduire ce prélèvement dans la fiole jaugée de 1000 mL ;
- remplir aux trois quarts d'eau distillée, boucher, agiter ;
- compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, boucher, homogénéiser.

$V_0 = 10$ mL de S_0 (pipette jaugée de 10 mL) dans la fiole jaugée de 1000 mL

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : le résultat en garde autant que la donnée la moins précise, ici deux ($0{,}10$ mol ; $2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$).

MÉTHODE
Facteur de dilution : $F = \dfrac{C_0}{C} = 100$. Le volume de la fiole vaut F fois celui de la pipette : 1000 mL et 10 mL conviennent.

À LA CALCULATRICE

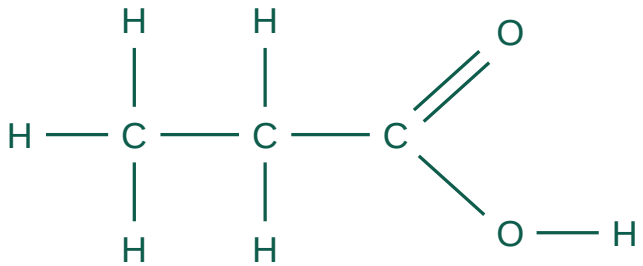


1.2 Écrire la formule développée de l'acide propanoïque.

L'acide propanoïque $C_3H_6O_2$ possède une chaîne de trois atomes de carbone, dont celui du groupe carboxyle $-COOH$. Toutes les liaisons sont représentées sur le schéma.

CH_3-CH_2-COOH, développée ci-dessous

PIÈGE
Laisser CH_3 ou OH groupés : c'est une formule semi-développée. Dans la formule développée, chaque liaison apparaît, y compris $O-H$ et la double liaison $C=O$.



1.2 · Formule développée de l'acide propanoïque

1.3 Écrire l'équation de la réaction entre l'acide propanoïque et l'eau.

L'acide AH cède un ion H^+ à l'eau, qui joue le rôle de base :

$$AH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

COMPRENDRE
La double flèche (signe « = » dans l'ancien programme) indique que la transformation est limitée : l'acide propanoïque est un acide faible.

1.4 Dresser le tableau d'avancement de la transformation de $2{,}0 \times 10^{-3}$ mol d'acide propanoïque dans $V = 1{,}00$ L de solution S, en notant $x_{éq}$ l'avancement à l'équilibre.

Données utiles $n_0 = 2{,}0 \times 10^{-3}$ mol

État	Av.	AH	H_2O	A^-	H_3O^+
initial	0	n_0	excès	0	0
en cours	x	$n_0 - x$	excès	x	x
équilibre	$x_{éq}$	$n_0 - x_{éq}$	excès	$x_{éq}$	$x_{éq}$

Quantités en mol, avec $n_0 = 2{,}0 \times 10^{-3}$ mol.

À l'équilibre : $n(A^-) = n(H_3O^+) = x_{éq}$ et $n(AH) = n_0 - x_{éq}$

COMPRENDRE
L'eau est le solvant : elle est en large excès et sa quantité n'intervient dans aucun calcul.

1.5 Établir la relation entre la conductivité σ, les conductivités molaires ioniques λ_1 et λ_2, le volume V et l'avancement $x_{éq}$.

Données utiles $\sigma = \lambda_1 [H_3O^+] + \lambda_2 [A^-]$

D'après le tableau (1.4), à l'équilibre : $[H_3O^+]_{éq} = [A^-]_{éq} = \dfrac{x_{éq}}{V}$.

En remplaçant dans l'expression de σ : $\sigma = \lambda_1 \dfrac{x_{éq}}{V} + \lambda_2 \dfrac{x_{éq}}{V}$

$$\sigma = (\lambda_1 + \lambda_2) \frac{x_{éq}}{V}$$

1.6 Déterminer la valeur de $x_{éq}$, puis en déduire les concentrations $[A^-]_{éq}$ et $[H_3O^+]_{éq}$.

Données utiles $\sigma = 6{,}20 \times 10^{-3}$ S · m^{-1} ; $\lambda_1 = 35{,}0 \times 10^{-3}$ S · m^2 · mol^{-1} ; $\lambda_2 = 3{,}58 \times 10^{-3}$ S · m^2 · mol^{-1} ; $V = 1{,}00$ L $= 1{,}00 \times 10^{-3}$ m^3

De la relation (1.5) : $x_{éq} = \dfrac{\sigma V}{\lambda_1 + \lambda_2}$, avec V en m^3.

$$x_{éq} = \frac{6{,}20 \times 10^{-3} \times 1{,}00 \times 10^{-3}}{35{,}0 \times 10^{-3} + 3{,}58 \times 10^{-3}} = 1{,}61 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

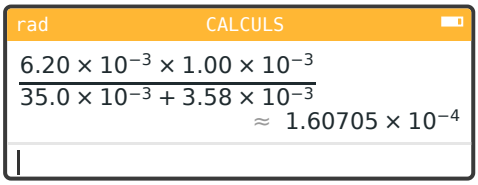
Dans $V = 1{,}00$ L : $[A^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq} = \dfrac{x_{éq}}{V} = \dfrac{1{,}61 \times 10^{-4}}{1{,}00}$

$x_{éq} = 1{,}61 \times 10^{-4}$ mol ; $[A^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq} = 1{,}61 \times 10^{-4}$ mol · L^{-1}

PIÈGE
Laisser $V = 1{,}00$ dans le calcul de $x_{éq}$: les λ sont en S · m^2 · mol^{-1}, il faut V en m^3. Sinon $x_{éq}$ est mille fois trop grand et dépasse n_0.

COMPRENDRE
$x_{éq}$ est très inférieur à $x_{max} = n_0 = 2{,}0 \times 10^{-3}$ mol : seuls 8 % environ des molécules d'acide ont réagi avec l'eau.

À LA CALCULATRICE



1.7 Quelle est la concentration $[AH]_{éq}$ de l'acide propanoïque à l'équilibre ?

Données utiles $n_0 = 2{,}0 \times 10^{-3}$ mol ; $x_{éq} = 1{,}61 \times 10^{-4}$ mol (1.6) ; $V = 1{,}00$ L

D'après le tableau (1.4) : $[AH]_{éq} = \dfrac{n_0 - x_{éq}}{V}$

$$[AH]_{éq} = \frac{2{,}0 \times 10^{-3} - 1{,}61 \times 10^{-4}}{1{,}00} = 1{,}84 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$[AH]_{éq} \approx 1{,}8 \times 10^{-3}$ mol · L^{-1}

COMPRENDRE
Dans une soustraction, c'est la position du dernier chiffre qui compte : n_0 est connu à $0{,}1 \times 10^{-3}$ mol près, d'où deux chiffres au résultat. On garde $1{,}84 \times 10^{-3}$ pour le calcul suivant.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2.0 \times 10^{-3} - 1.61 \times 10^{-4}}{1.00} \approx 0.001839$$

1.8 Rappeler l'expression de la constante d'acidité K_a du couple acide propanoïque / ion propanoate, la calculer, puis en déduire le $\mathrm{p}K_a$.

Données utiles $[\mathrm{A}^-]_{éq} = [\mathrm{H_3O^+}]_{éq} = 1{,}61 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ (1.6) ; $[\mathrm{AH}]_{éq} = 1{,}84 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ (1.7)

K_a est la constante d'équilibre de la réaction de l'acide avec l'eau, les concentrations étant en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$:

$$K_a = \frac{[\mathrm{A}^-]_{éq}\,[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}}{[\mathrm{AH}]_{éq}} = \frac{(1{,}61 \times 10^{-4})^2}{1{,}84 \times 10^{-3}} = 1{,}4 \times 10^{-5}$$

$$\mathrm{p}K_a = -\log K_a = -\log(1{,}41 \times 10^{-5}) = 4{,}85$$

$K_a = 1{,}4 \times 10^{-5}$ et $\mathrm{p}K_a \approx 4{,}9$

PIÈGE
Utiliser les concentrations en $\mathrm{mol \cdot m^{-3}}$: K_a serait mille fois trop grand. L'eau, solvant, ne figure pas dans l'expression.

COMPRENDRE
K_a est sans unité et ne dépend que de la température : une autre dilution donnerait un autre $x_{éq}$, mais le même K_a.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{(1.61 \times 10^{-4})^2}{1.84 \times 10^{-3}} \approx 1.40875 \times 10^{-5}$$

$$-\log(1.41 \times 10^{-5}) \approx 4.850781$$

2.1 Comment s'appelle la réaction entre l'acide propanoïque et le butan-1-ol ? Écrire son équation.

Un acide carboxylique réagit avec un alcool pour donner un ester et de l'eau : c'est une **estérification**.

Estérification : $\mathrm{C_3H_6O_2 + C_4H_{10}O \rightleftharpoons C_7H_{14}O_2 + H_2O}$

MÉTHODE
Vérifier la conservation des atomes : 7 C, 16 H et 3 O de chaque côté. La formule brute de l'ester s'obtient en retirant $\mathrm{H_2O}$ à la somme des deux réactifs.

2.2 Donner le nom des produits formés et leur formule semi-développée.

- L'eau : $\mathrm{H_2O}$, soit $\mathrm{H-O-H}$.
- L'ester : le **propanoate de butyle**. Le groupe $\mathrm{-OH}$ de l'acide est remplacé par le groupe $\mathrm{-O-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3}$ issu de l'alcool, le carbone fonctionnel gardant sa double liaison $\mathrm{C=O}$.

Eau $\mathrm{H_2O}$ et propanoate de butyle
$\mathrm{CH_3-CH_2-COO-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3}$

MÉTHODE
Nom d'un ester : la chaîne qui porte $\mathrm{C=O}$ vient de l'acide et donne « propanoate » ; la chaîne liée à l'oxygène vient de l'alcool et donne « de butyle ».

2.3 Dresser le tableau d'avancement de la transformation, puis en déduire l'expression du quotient de réaction Q_r en fonction de l'avancement x à la date t.

Données utiles $n_0 = 0{,}20$ mol d'acide et $0{,}20$ mol d'alcool

État	Av.	$C_3H_6O_2$	$C_4H_{10}O$	$C_7H_{14}O_2$	H_2O
initial	0	n_0	n_0	0	0
date t	x	$n_0 - x$	$n_0 - x$	x	x
équilibre	$x_{éq}$	$n_0 - x_{éq}$	$n_0 - x_{éq}$	$x_{éq}$	$x_{éq}$

Quantités en mol, avec $n_0 = 0{,}20$ mol. En notant V le volume du mélange :

$$Q_r = \frac{[C_7H_{14}O_2]\,[H_2O]}{[C_3H_6O_2]\,[C_4H_{10}O]} = \frac{\frac{x}{V} \times \frac{x}{V}}{\frac{n_0 - x}{V} \times \frac{n_0 - x}{V}}$$

$$\boxed{Q_r = \frac{x^2}{(n_0 - x)^2}}$$

COMPRENDRE
Ici l'eau n'est pas le solvant : c'est un produit comme l'ester, elle figure donc dans Q_r. Le volume V se simplifie, il est inutile de le connaître.

2.4 Calculer l'avancement à l'équilibre $x_{éq}$ sachant que $K = 4{,}0$.

Données utiles $K = 4{,}0$; $n_0 = 0{,}20$ mol ; Q_r (2.3)

À l'équilibre, $Q_{r,éq} = K$: $\dfrac{x_{éq}^2}{(n_0 - x_{éq})^2} = K$.

Comme $x_{éq}$ et $n_0 - x_{éq}$ sont positifs, on prend la racine carrée :

$$\frac{x_{éq}}{n_0 - x_{éq}} = \sqrt{K}$$

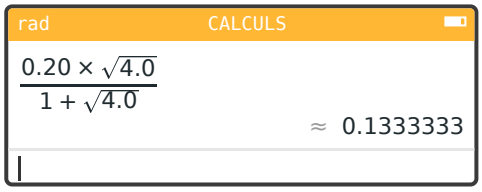
d'où $x_{éq} = \sqrt{K}\,(n_0 - x_{éq})$, soit $x_{éq}\,(1 + \sqrt{K}) = n_0\,\sqrt{K}$:

$$x_{éq} = \frac{n_0\,\sqrt{K}}{1 + \sqrt{K}} = \frac{0{,}20 \times \sqrt{4{,}0}}{1 + \sqrt{4{,}0}} = 0{,}13 \text{ mol}$$

$$\boxed{x_{éq} = 0{,}13 \text{ mol}}$$

MÉTHODE
Quand Q_r est un carré parfait, prendre la racine des deux membres évite une équation du second degré. La racine négative est écartée car elle donnerait $x_{éq} > n_0$.

À LA CALCULATRICE



2.5 En déduire le taux d'avancement final τ de la réaction.

Données utiles $x_{éq} = \dfrac{n_0\,\sqrt{K}}{1 + \sqrt{K}}$ (2.4) ; $n_0 = 0{,}20$ mol

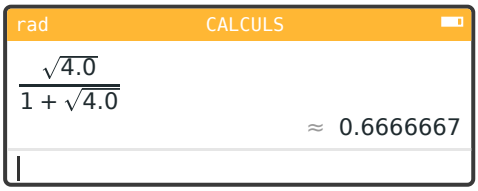
Si la transformation était totale, les deux réactifs seraient entièrement consommés : $x_{max} = n_0 = 0{,}20$ mol.

$$\tau = \frac{x_{éq}}{x_{max}} = \frac{\sqrt{K}}{1 + \sqrt{K}} = \frac{\sqrt{4{,}0}}{1 + \sqrt{4{,}0}} = 0{,}67$$

$$\boxed{\tau = 0{,}67\text{, soit } 67\ \% \text{ : la transformation est limitée}}$$

PIÈGE
Diviser la valeur arrondie $0{,}13$ par $0{,}20$ donne $0{,}65$: l'arrondi intermédiaire fausse le deuxième chiffre. Garder l'expression littérale ou la valeur non arrondie $0{,}133$.

À LA CALCULATRICE



2.6 Parmi les quatre propositions des élèves pour augmenter le taux d'avancement, choisir en justifiant celle qui est correcte, puis indiquer le montage à réaliser.

Données utiles températures d'ébullition : eau $100{,}0\ ^\circ\text{C}$; butan-1-ol $117{,}5\ ^\circ\text{C}$; acide $141{,}0\ ^\circ\text{C}$; ester $146{,}0\ ^\circ\text{C}$

- Propositions 1 et 4 : la température est un facteur cinétique. Chauffer, à reflux ou non, permet d'atteindre plus vite l'équilibre, sans changer τ (pour une estérification, K ne dépend pratiquement pas de la température).
- Proposition 2 : un catalyseur accélère la réaction mais ne modifie pas l'état d'équilibre.
- Proposition 3 : en retirant l'eau au fur et à mesure, Q_r reste inférieur à K ; le système évolue donc dans le sens direct et τ augmente.

L'eau est l'espèce la plus volatile du mélange ($100{,}0\ ^\circ\text{C}$) : une distillation fractionnée l'élimine en premier. C'est le montage n°2 (colonne, thermomètre en tête, réfrigérant incliné). Le montage n°1 est un simple chauffage, le n°3 un chauffage à reflux.

Proposition 3 (éliminer l'eau par distillation), réalisée avec le montage n°2

PIÈGE
Choisir le reflux : le réfrigérant vertical renvoie toutes les vapeurs dans le ballon, l'eau y reste et le taux d'avancement ne change pas.

COMPRENDRE
Vitesse et rendement sont deux questions distinctes : température et catalyseur jouent sur la durée, alors que l'élimination d'un produit ou l'excès d'un réactif jouent sur l'état final.

Etude d'un circuit RL

Bac S 2005 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Sans ordinateur ni interface d'acquisition, quel type d'appareil permet de visualiser le phénomène étudié ?

Le phénomène est transitoire et ne se produit qu'une fois : les tensions n'évoluent que pendant une quinzaine de millisecondes après la fermeture de K.

Il faut un **oscilloscope à mémoire** (numérique), qui enregistre les deux tensions en un seul passage.

PIÈGE
Répondre « un voltmètre » : il n'affiche qu'une valeur, bien trop lentement. Un oscilloscope sans mémoire ne convient pas non plus, la trace disparaît en quelques millisecondes.

1.2 Donner l'expression de u_{AB} en fonction de i et de $\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$.

u_{AB} est la tension aux bornes de la bobine, d'inductance L et de résistance r. Le courant la traverse de A vers B et la flèche de u_{AB} pointe vers A : convention récepteur.

$$u_{AB} = r\,i + L\,\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$$

PIÈGE
Oublier le terme $r\,i$: la bobine est réelle, sa résistance $r = 10{,}0\ \Omega$ est donnée dans l'énoncé et sert dans toute la suite.

COMPRENDRE
La bobine et le circuit RL ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale, où seul le circuit RC est étudié. Le raisonnement (loi des mailles, constante de temps) reste le même.

1.3 Donner l'expression de u_{BC} en fonction de i.

u_{BC} est la tension aux bornes du conducteur ohmique, traversé de B vers C par le courant, la flèche pointant vers B (convention récepteur). Loi d'Ohm :

$$u_{BC} = R\,i$$

1.4 Associer les courbes 1 et 2 aux tensions u_{AB} et u_{BC}. Justifier.

Données utiles $E = 6{,}00$ V ; $u_{AB} = r\,i + L\,\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ (1.2) ; $u_{BC} = R\,i$ (1.3)

La bobine s'oppose à l'établissement du courant : l'intensité ne peut pas subir de saut. À $t = 0$, $i = 0$, puis i augmente jusqu'à une valeur constante.

- $u_{BC} = R\,i$ est proportionnelle à i : elle part de 0 V et croît jusqu'à un palier. C'est la courbe 1.
- Additivité des tensions : $u_{AB} = E - u_{BC}$. À $t = 0$, $u_{AB} = E = 6{,}00$ V, puis u_{AB} décroît. C'est la courbe 2, qui part bien de 6 V.

Courbe 1 : u_{BC} (conducteur ohmique) ; courbe 2 : u_{AB} (bobine).

COMPRENDRE
La courbe 2 ne tend pas vers zéro : en régime permanent $\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$ mais il reste $u_{AB} = r\,I_0$, à cause de la résistance de la bobine.

MÉTHODE
Pour identifier une courbe, regarder deux instants : $t = 0$ (ici $i = 0$) et le régime permanent (i constante). Ces deux valeurs suffisent presque toujours à trancher.

2.1 Appliquer la loi d'additivité des tensions pour établir l'expression de l'intensité I_0 en régime permanent, puis calculer sa valeur.

Données utiles $E = 6{,}00$ V ; $R = 200\ \Omega$; $r = 10{,}0\ \Omega$

Additivité des tensions, K fermé : $E = u_{AB} + u_{BC}$, soit

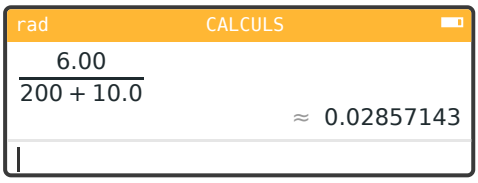
$$E = r\,i + L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + R\,i$$

En régime permanent, $i = I_0$ est constante, donc $\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$: $E = (R + r)\,I_0$.

$$I_0 = \frac{E}{R+r} = \frac{6{,}00}{200 + 10{,}0}$$

$I_0 = 2{,}86 \times 10^{-2}$ A, soit 28,6 mA

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Diviser par R seul. Les deux résistances sont en série : c'est $R + r$ qui limite le courant.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme E, R et r. En régime permanent, la bobine se comporte comme un simple conducteur ohmique de résistance r.

2.2 Exploiter l'une des courbes pour retrouver cette valeur de I_0.

Données utiles $R = 200\ \Omega$; courbe 1 : u_{BC} (1.4)

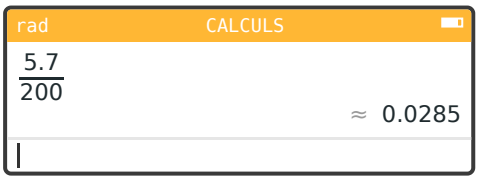
Sur la courbe 1, la tension u_{BC} atteint un palier : on lit $u_{BC} = 5{,}7$ V en régime permanent.

Comme $u_{BC} = R\,I_0$:

$$I_0 = \frac{u_{BC}}{R} = \frac{5{,}7}{200}$$

$I_0 = 2{,}9 \times 10^{-2}$ A, en accord avec la valeur calculée ($2{,}86 \times 10^{-2}$ A).

À LA CALCULATRICE



COMPRENDRE
La lecture graphique ne donne que deux chiffres significatifs, le résultat aussi. La courbe 2 convient également ($I_0 = u_{AB}/r$ avec $u_{AB} \approx 0{,}3$ V), mais cette lecture est bien moins précise.

3.1 Exploiter l'une des deux courbes pour déterminer la constante de temps τ du montage, en explicitant la méthode.

Données utiles courbe 1 : palier $u_{BC} = 5{,}7$ V (2.2)

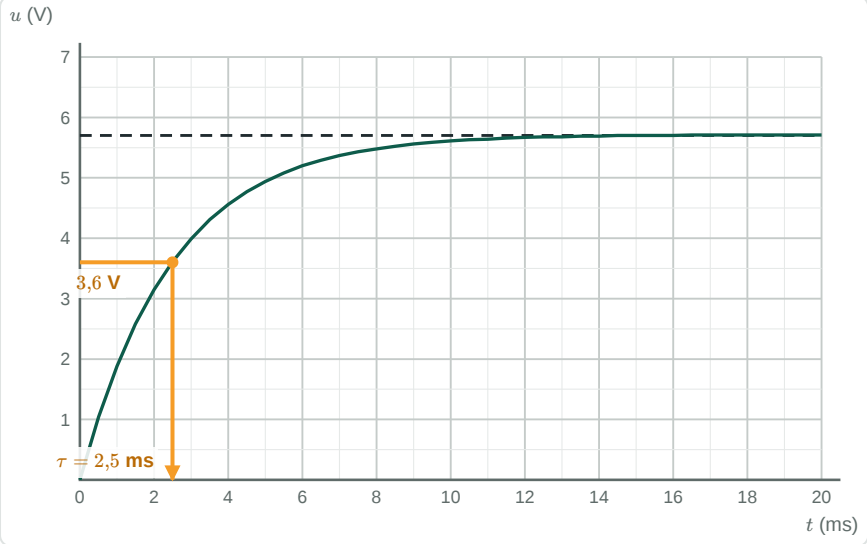
À $t = \tau$, la tension u_{BC} a atteint 63 % de sa valeur finale.

Sur la courbe 1 : $0{,}63 \times 5{,}7 = 3{,}6$ V. On repère le point de la courbe d'ordonnée 3,6 V et on lit son abscisse.

$\tau = 2{,}5$ ms

PIÈGE
Prendre 63 % de $E = 6{,}00$ V au lieu de 63 % du palier réellement atteint. Sur la courbe 2, la tension a perdu 63 % de sa variation totale (de 6 V à 0,3 V), pas 63 % de 6 V.

MÉTHODE
Autre méthode : tracer la tangente à l'origine et l'asymptote horizontale (5,7 V). Elles se coupent au point d'abscisse τ. On retrouve 2,5 ms.



À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
0.63 × 5.7
≈ 3.591

3.1 · Courbe 1 (u_{BC}) : asymptote à 5,7 V et lecture de τ à 63 % de cette valeur

3.2 Rappeler l'expression de la constante de temps τ en fonction des grandeurs caractéristiques du circuit et montrer qu'elle est homogène à un temps.

La résistance totale du circuit est $R+r$: $\tau = \dfrac{L}{R+r}$.

Loi d'Ohm, $u = Ri$: une résistance est une tension divisée par une intensité, $[R] = \dfrac{[U]}{[I]}$.

Pour une bobine, $u = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$, donc $L = \dfrac{u}{\mathrm{d}i/\mathrm{d}t}$: $[L] = \dfrac{[U]\,[T]}{[I]}$.

$$[\tau] = \frac{[L]}{[R]} = \frac{[U]\,[T]}{[I]} \times \frac{[I]}{[U]} = [T]$$

$\tau = \dfrac{L}{R+r}$ a la dimension d'un temps.

PIÈGE
Écrire $\tau = \dfrac{L}{R}$ en oubliant r, ou confondre avec le circuit RC, où $\tau = RC$ est un produit.

MÉTHODE
Pour une analyse dimensionnelle, partir de relations simples contenant la grandeur ($u = Ri$, $u = L\,\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$) et tout exprimer avec $[U]$, $[I]$, $[T]$; une dérivée par rapport au temps divise par $[T]$.

3.3 À partir de la valeur de τ mesurée, calculer l'inductance L de la bobine.

Données utiles $\tau = 2{,}5$ ms (3.1) ; $R = 200\ \Omega$; $r = 10{,}0\ \Omega$

$\tau = \dfrac{L}{R+r}$ donc $L = \tau\,(R+r)$.

$$L = 2{,}5 \times 10^{-3} \times (200 + 10{,}0)$$

$L = 0{,}53$ H

PIÈGE
Laisser τ en millisecondes : on obtiendrait 525 H, valeur absurde pour une bobine de lycée.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, comme τ, lue sur le graphique. L'inductance s'exprime en henry (H).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
2.5 × 10⁻³ × (200 + 10.0)
≈ 0.525

Spécialité : Etude d'un son et de sa réception avec un récepteur radio

Bac S 2005 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Le son produit par la corde est-il complexe ? Justifier.

La tension enregistrée est périodique, mais sa forme n'est pas celle d'une sinusoïde : sur une période, on observe deux maximums de hauteurs différentes.

Le son est **complexe** : il contient un fondamental et des harmoniques.

COMPRENDRE
Un son pur donne une tension sinusoïdale. Les notions d'harmonique, de hauteur et de timbre faisaient partie de l'ancien programme ; elles ne sont plus exigibles dans la spécialité actuelle.

1.2 Déterminer la fréquence f_1 du son fondamental, puis la fréquence f_3 de l'harmonique de rang 3.

Données utiles oscillogramme 1 ; balayage : 1 ms/div

Le motif se répète tous les 4,0 divisions ; pour plus de précision, deux périodes occupent 8,0 divisions :

$2\,T_1 = 8{,}0 \times 1 = 8{,}0$ ms, donc $T_1 = 4{,}0$ ms $= 4{,}0 \times 10^{-3}$ s.

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{4{,}0 \times 10^{-3}} = 2{,}5 \times 10^{2}\ \text{Hz}$$

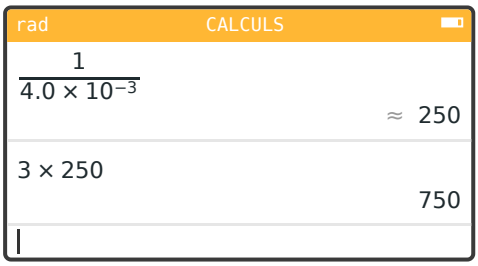
L'harmonique de rang n a pour fréquence $f_n = n\,f_1$: $f_3 = 3 \times 2{,}5 \times 10^2 = 7{,}5 \times 10^2$ Hz.

$f_1 = 2{,}5 \times 10^2$ Hz et $f_3 = 7{,}5 \times 10^2$ Hz

PIÈGE
Prendre pour période l'écart entre deux maximums voisins (2 divisions). La période est la durée du plus petit motif complet : un grand maximum puis un petit.

COMPRENDRE
La lecture sur l'écran se fait au dixième de division : deux chiffres significatifs pour T_1, donc pour f_1 et f_3.

À LA CALCULATRICE



1.3 Représenter l'état vibratoire de la corde entre A et B pour le fondamental, puis pour l'harmonique de rang 3.

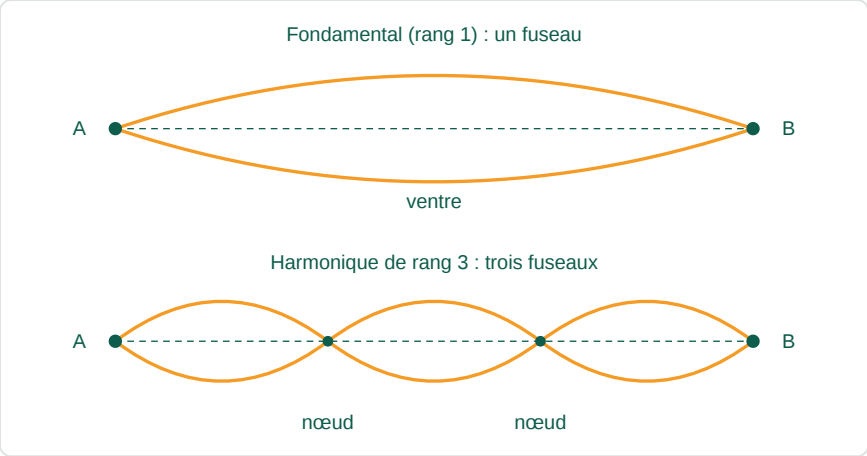
La corde est fixée en A et en B : ces deux points sont des nœuds de vibration.

Fondamental : la corde vibre en un seul fuseau, avec un ventre au milieu de AB.

Harmonique de rang 3 : la corde vibre en trois fuseaux de même longueur $\frac{AB}{3}$, séparés par deux nœuds intermédiaires.

Fondamental : 1 fuseau ; harmonique de rang 3 : 3 fuseaux (schéma ci-dessous).

COMPRENDRE
Le courant alternatif dans la corde placée entre les pôles de l'aimant crée une force de Laplace alternative. La corde n'entre en résonance que si la fréquence du générateur vaut f_1, $2f_1$, $3f_1$…



1.3 · Aspect de la corde : fondamental (en haut), harmonique de rang 3 (en bas)

1.4 Donner la relation entre la longueur d'onde λ, la longueur AB et le rang n de l'harmonique.

Un fuseau a pour longueur une demi-longueur d'onde, et la corde en contient n pour l'harmonique de rang n.

$$AB = n\,\frac{\lambda}{2}, \text{ avec } n \text{ entier non nul}$$

PIÈGE
Écrire $AB = n\,\lambda$: deux nœuds consécutifs sont distants de $\frac{\lambda}{2}$, pas de λ.

1.5 En déduire la célérité V des ondes le long de la corde.

Données utiles $AB = 0{,}90\ \text{m}$; $f_1 = 2{,}5 \times 10^2\ \text{Hz}$ (1.2)

Pour le fondamental, $n = 1$: $AB = \frac{\lambda_1}{2}$, soit $\lambda_1 = 2\,AB$.

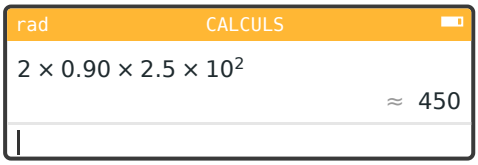
Or $\lambda_1 = \frac{V}{f_1}$, donc $V = \lambda_1\, f_1 = 2\,AB\, f_1$.

$$V = 2 \times 0{,}90 \times 2{,}5 \times 10^2 = 4{,}5 \times 10^2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$V = 4{,}5 \times 10^2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

MÉTHODE
Toujours associer le rang et sa fréquence : $n = 3$ avec f_3 donne $V = \frac{2\,AB}{3}\,f_3$, soit la même valeur. La célérité ne dépend pas du mode de vibration.

À LA CALCULATRICE



2.1 À l'aide du zoom de la tension modulée u_m, déterminer la fréquence f de la porteuse.

Données utiles 2e graphe de l'annexe ; échelle de temps : 0,2 ms/div

Les oscillations rapides sont celles de la porteuse. On compte 10 périodes sur 5,0 divisions :

$10\,T = 5{,}0 \times 0{,}2 = 1{,}0\ \text{ms}$, donc $T = 0{,}10\ \text{ms} = 1{,}0 \times 10^{-4}\ \text{s}$.

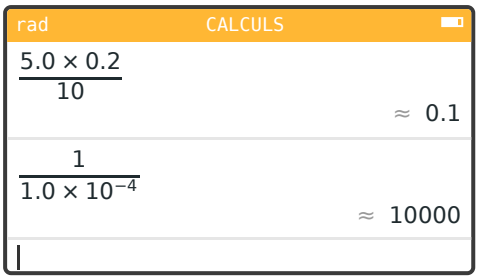
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1{,}0 \times 10^{-4}} = 1{,}0 \times 10^4\ \text{Hz}$$

$$f = 1{,}0 \times 10^4\ \text{Hz} = 10\ \text{kHz}$$

COMPRENDRE
La modulation d'amplitude relève de l'ancien programme : elle n'est plus étudiée dans la spécialité actuelle.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes puis diviser réduit l'incertitude de lecture. On vérifie que f est très supérieure à $f_1 = 250\ \text{Hz}$, condition d'une bonne modulation.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 Quel est le rôle du module 1 (filtre passe-bande ou circuit d'accord) ?

L'antenne reçoit en même temps les ondes de tous les émetteurs environnants. Le circuit bobine-condensateur ne laisse subsister que les signaux dont la fréquence est voisine de sa fréquence propre f_0.

Le module 1 **sélectionne** l'émetteur voulu : il ne garde que la tension modulée dont la porteuse a la fréquence f .

2.2.2 Quel est l'intérêt de pouvoir faire varier la capacité C ?

La fréquence propre du circuit vérifie $LC\,(2\pi f_0)^2 = 1$, soit $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$: elle dépend de C.

Régler C permet d'ajuster f_0 sur la fréquence de la porteuse à capter, donc de choisir l'émetteur reçu.

COMPRENDRE
C'est ce que l'on fait en tournant le bouton de recherche des stations d'un poste de radio. La bobine et le circuit LC ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

2.2.3 À quelle valeur doit-on fixer C si $L = 1{,}00\ \text{mH}$?

Données utiles $LC\,(2\pi f_0)^2 = 1$; $L = 1{,}00 \times 10^{-3}$ H ; $f = 1{,}0 \times 10^4$ Hz (2.1)

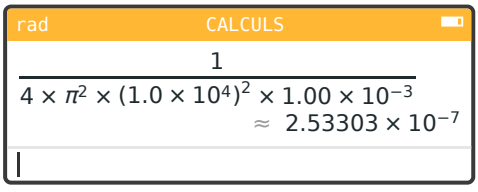
Le circuit est accordé si $f_0 = f$. De la relation donnée :

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} = \frac{1}{4\pi^2 \times (1{,}0 \times 10^4)^2 \times 1{,}00 \times 10^{-3}} = 2{,}5 \times 10^{-7}\ \text{F}$$

$C = 2{,}5 \times 10^{-7}\ \text{F} = 0{,}25\ \mu\text{F}$

PIÈGE
Laisser L en millihenrys, ou oublier d'élever $2\pi f$ au carré. La fréquence à utiliser est celle de la porteuse (10 kHz), pas celle du son (250 Hz).

À LA CALCULATRICE



2.3 Attribuer les graphes G1, G2 et G3 aux tensions u_{AM}, u_{BM} et u_{CM} en justifiant brièvement.

u_{AM}, en sortie du circuit d'accord, est la tension modulée captée : oscillations rapides de la porteuse dont l'amplitude varie comme le son. C'est G3.

u_{BM}, après la diode et l'ensemble condensateur-résistance (détecteur d'enveloppe), ne garde que l'enveloppe supérieure : une tension de basse fréquence, toujours positive, décalée au-dessus de l'axe central. C'est G2.

u_{CM}, après le condensateur en série du module 3, a perdu sa composante continue : la tension est centrée sur l'axe central et reproduit le signal sonore. C'est G1.

u_{AM} : G3 ; u_{BM} : G2 ; u_{CM} : G1

COMPRENDRE
Sur G1, on retrouve la forme et la période (4 ms, soit 2 divisions à 2 ms/div) de l'oscillogramme 1 : le son a bien été restitué.

MÉTHODE
Deux critères suffisent : la présence ou non de la porteuse (oscillations serrées), puis la position par rapport à l'axe central, qui repère la tension nulle.

Mouvement d'un palet

Bac S 2005 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 En exploitant la figure 3, déterminer les vitesses V_{G2} et V_{G4} du palet aux points G_2 et G_4.

Données utiles $\tau = 20{,}0$ ms ; figure 3 à l'échelle 1

La vitesse en un point est assimilée à la vitesse moyenne entre les deux positions qui l'encadrent.

Sur la figure 3 (échelle 1), on mesure à la règle $G_1G_3 = 4{,}7$ cm et $G_3G_5 = 6{,}3$ cm.

$$V_{G2} = \frac{G_1G_3}{2\tau} = \frac{4{,}7 \times 10^{-2}}{2 \times 20{,}0 \times 10^{-3}} = 1{,}2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

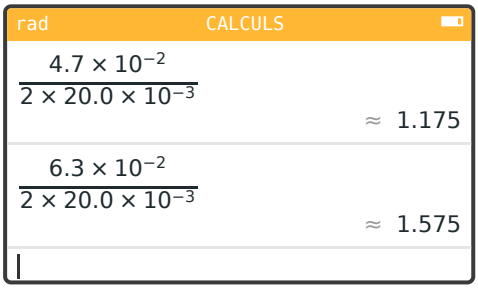
$$V_{G4} = \frac{G_3G_5}{2\tau} = \frac{6{,}3 \times 10^{-2}}{2 \times 20{,}0 \times 10^{-3}} = 1{,}6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$V_{G2} = 1{,}2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $V_{G4} = 1{,}6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Diviser par τ au lieu de 2τ : entre G_1 et G_3 il s'écoule deux intervalles de temps. Penser aussi à convertir les centimètres en mètres.

COMPRENDRE
Une longueur lue à la règle est connue au millimètre : deux chiffres significatifs, donc deux pour les vitesses. Sur un sujet réimprimé à une autre échelle, les longueurs mesurées diffèrent ; la méthode reste la même.

À LA CALCULATRICE



1.2 Exprimer le vecteur accélération $\vec{a}_{G3}$ au point G_3 en fonction de $\vec{V}_{G4}$, $\vec{V}_{G2}$ et τ. En déduire la valeur a_{G3}.

Données utiles $V_{G2} = 1{,}2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $V_{G4} = 1{,}6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.1) ; $\tau = 20{,}0$ ms

$$\vec{a}_{G3} = \frac{\Delta\vec{V}}{\Delta t} = \frac{\vec{V}_{G4} - \vec{V}_{G2}}{2\tau}$$

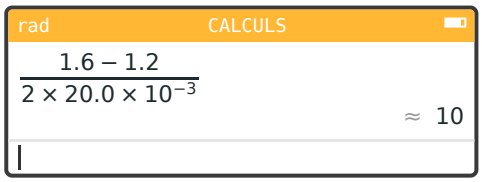
Le mouvement est rectiligne : les deux vecteurs vitesse ont la direction et le sens de l'axe $x'x$. La valeur de l'accélération est donc

$$a_{G3} = \frac{V_{G4} - V_{G2}}{2\tau} = \frac{1{,}6 - 1{,}2}{2 \times 20{,}0 \times 10^{-3}}$$

$a_{G3} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, vecteur dirigé selon $x'x$, vers le haut de la gouttière.

COMPRENDRE
Une différence de deux valeurs proches est peu précise : ce résultat n'est qu'un ordre de grandeur fiable, à écrire sans décimale.

À LA CALCULATRICE



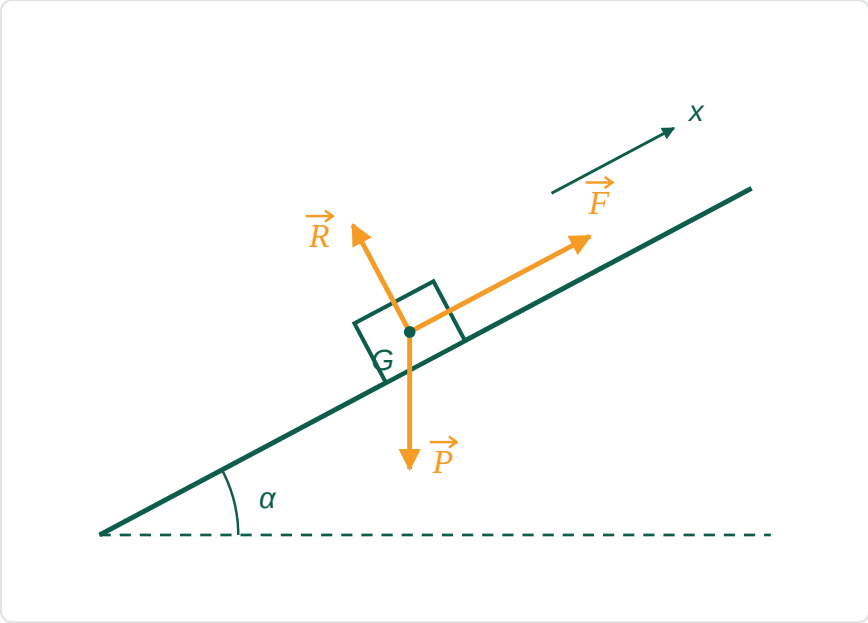
1.3 Faire l'inventaire des forces qui s'appliquent au palet pendant la propulsion et les représenter sur un schéma.

Système {palet}, étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Les frottements sont négligés. Trois forces :

- le poids $\vec{P}$: vertical, vers le bas, appliqué en G ;
- la réaction $\vec{R}$ de la gouttière : perpendiculaire à la gouttière (pas de frottement), vers le haut ;
- la force $\vec{F}$ exercée par le ressort par l'intermédiaire de la butée B' : parallèle à la gouttière, dans le sens du mouvement.

Trois forces : $\vec{P}$, $\vec{R}$ et $\vec{F}$ (voir schéma).

PIÈGE
Tracer $\vec{R}$ verticale. Sans frottement, la réaction du support est perpendiculaire au support, donc inclinée de α par rapport à la verticale.



1.3 · Forces sur le palet pendant la propulsion (sans souci d'échelle exacte)

1.4 En projetant la seconde loi de Newton sur l'axe $x'x$, exprimer la valeur F de la force de rappel du ressort en fonction de m, g, a_G et α.

Seconde loi de Newton appliquée au palet, de masse constante : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\,\vec{a}_G$.

Projection sur l'axe $x'x$, orienté vers le haut de la gouttière :

- $\vec{F}$ est selon l'axe : $F_x = F$;
- $\vec{R}$ est perpendiculaire à l'axe : $R_x = 0$;
- $\vec{P}$ fait l'angle α avec la perpendiculaire à la gouttière : $P_x = -m\,g\sin\alpha$;
- le mouvement se fait le long de l'axe : $a_x = a_G$.

D'où $F - m\,g\sin\alpha = m\,a_G$.

$$\boxed{F = m\,(a_G + g\sin\alpha)}$$

MÉTHODE
Sur un plan incliné d'angle α, le poids se décompose en $m\,g\sin\alpha$ le long de la pente (vers le bas) et $m\,g\cos\alpha$ perpendiculairement. Vérification : si $\alpha = 0$, la composante selon la pente s'annule.

1.5 À partir du résultat de 1.2 et des mesures, calculer la valeur de F au point G_3.

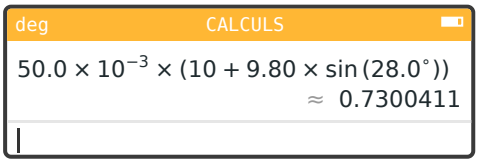
Données utiles $m = 50{,}0$ g ; $g = 9{,}80\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $\alpha = 28{,}0^\circ$; $a_{G3} = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ (1.2)

$$F = m\,(a_{G3} + g\sin\alpha) = 50{,}0\times10^{-3}\times(10 + 9{,}80\times\sin 28{,}0^\circ)$$

$$\boxed{F = 0{,}73\ \text{N}}$$

PIÈGE
Laisser la masse en grammes, ou la calculatrice en radians. Le résultat est limité à deux chiffres significatifs par l'accélération mesurée.

À LA CALCULATRICE



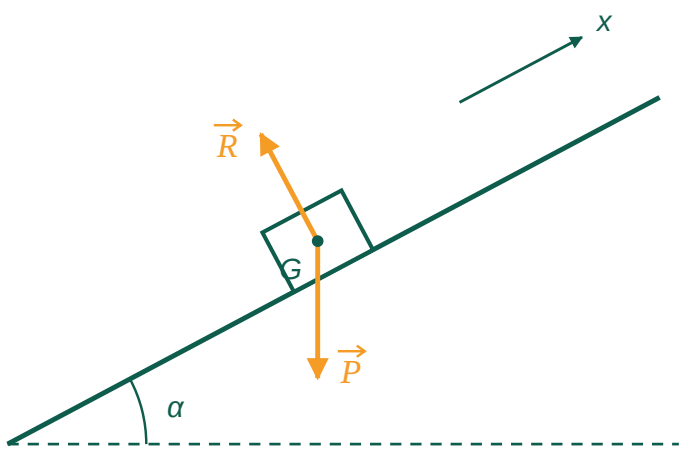
2.1 Faire l'inventaire des forces qui s'appliquent au palet sur le trajet DF et les représenter sur un schéma.

Après D, le ressort n'agit plus sur le palet et les frottements sont négligés. Il reste deux forces :

- le poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas ;
- la réaction $\vec{R}$ de la gouttière, perpendiculaire à la gouttière.

Deux forces : $\vec{P}$ et $\vec{R}$ (voir schéma).

PIÈGE
Ajouter une force « de lancement » dirigée vers F. Le palet monte grâce à la vitesse acquise en D ; aucune force ne le pousse plus vers le haut.



2.1 · Forces sur le palet entre D et F

2.2 Donner l'expression de l'énergie mécanique $E_M(D)$ du palet au point D.

$E_M(D) = E_C(D) + E_{PP}(D)$, avec $E_{PP}(D) = 0$ puisque D est le niveau de référence.

$$E_M(D) = \frac{1}{2} m V_D^2$$

2.3 Donner l'expression de l'énergie mécanique $E_M(F)$ du palet au point F en fonction de m, g, α et de la distance DF.

En F le palet s'arrête : $V_F = 0$, donc $E_C(F) = 0$.

L'altitude de F au-dessus de D est $z_F = DF \sin\alpha$, donc $E_{PP}(F) = m\,g\,z_F$.

$$E_M(F) = m\,g\,DF\,\sin\alpha$$

PIÈGE
Écrire $E_{PP}(F) = m\,g\,DF$. L'énergie potentielle dépend de l'altitude gagnée, pas de la distance parcourue sur la pente.

2.4 Montrer que l'énergie mécanique du palet se conserve sur le trajet DF. En déduire la valeur de la distance DF.

Données utiles $V_D = 2{,}00\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $g = 9{,}80\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $\alpha = 28{,}0^\circ$

Théorème de l'énergie cinétique entre D et F : $E_C(F) - E_C(D) = W_{DF}(\vec{P}) + W_{DF}(\vec{R})$.

- $\vec{R}$ est perpendiculaire au déplacement : $W_{DF}(\vec{R}) = 0$.
- $W_{DF}(\vec{P}) = m\,g\,(z_D - z_F) = -\,m\,g\,DF\sin\alpha$.

Donc $0 - \frac{1}{2}\,m\,V_D^2 = -\,m\,g\,DF\sin\alpha$, soit $\frac{1}{2}\,m\,V_D^2 = m\,g\,DF\sin\alpha$: on retrouve $E_M(D) = E_M(F)$, l'énergie mécanique se conserve.

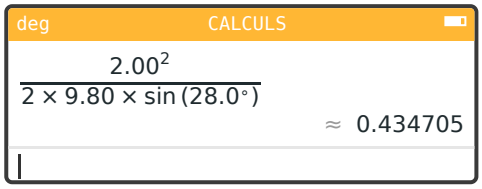
On en déduit :

$$DF = \frac{V_D^2}{2\,g\sin\alpha} = \frac{2{,}00^2}{2\times 9{,}80\times\sin 28{,}0^\circ}$$

$E_M(D) = E_M(F)$ et $DF = 0{,}435$ m

COMPRENDRE
La seule force qui travaille est le poids, force conservative : c'est la raison de la conservation. La masse se simplifie, la distance parcourue ne dépend donc pas du palet utilisé.

À LA CALCULATRICE



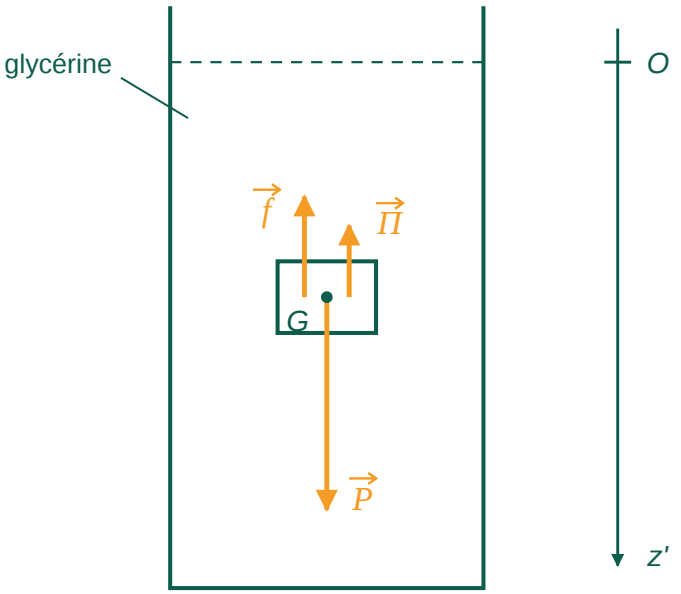
3.1 Faire l'inventaire des forces qui s'appliquent sur le palet pendant sa chute dans la glycérine et les représenter sur un schéma.

Trois forces, toutes verticales :

- le poids $\vec{P}$, vers le bas ;
- la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$ exercée par la glycérine, vers le haut ;
- la force de frottement fluide $\vec{f}$, opposée à la vitesse, donc vers le haut puisque le palet descend.

Trois forces : $\vec{P}$ vers le bas, $\vec{\Pi}$ et $\vec{f}$ vers le haut (voir schéma).

PIÈGE
Oublier la poussée d'Archimède. Dans un liquide elle n'est pas négligeable, et la question 3.2 la réclame à travers ρ et V_{0l}.



3.1 · Forces sur le palet dans la glycérine (points d'application décalés pour la lisibilité)

3.2 En appliquant la seconde loi de Newton, montrer que le mouvement du centre d'inertie du palet obéit à une équation du type $\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = A - B\,V$. Donner les expressions de A et B en fonction des données, de ρ et de V_{0l}.

Seconde loi de Newton appliquée au palet dans le référentiel terrestre : $\vec{P} + \vec{\Pi} + \vec{f} = m\,\vec{a}_G$.

La poussée d'Archimède a pour valeur le poids du volume de glycérine déplacé : $\Pi = \rho\,V_{0l}\,g$.

Projection sur l'axe vertical Oz' orienté vers le bas, avec $a = \frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t}$:

$$m\,g - \rho\,V_{0l}\,g - k\,V = m\,\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t}$$

En divisant par m :

$$\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = g\left(1 - \frac{\rho\,V_{0l}}{m}\right) - \frac{k}{m}\,V$$

$$\boxed{A = g\left(1 - \frac{\rho\,V_{0l}}{m}\right) \text{ et } B = \frac{k}{m}}$$

PIÈGE

Utiliser la masse volumique de l'acier dans la poussée d'Archimède. C'est celle du fluide déplacé, la glycérine, multipliée par le volume du palet.

COMPRENDRE

A est l'accélération au départ, quand la vitesse est nulle. Elle est inférieure à g à cause de la poussée d'Archimède.

3.3 En utilisant le graphe $V = f(t)$, calculer numériquement les valeurs de A et B en justifiant la démarche.

Le volume du palet n'est pas donné : on détermine A et B sur le graphe.

Valeur de A. À $t = 0$, $V = 0$, donc $\left(\dfrac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t}\right)_{t=0} = A$: A est le coefficient directeur de la tangente à la courbe à l'origine. Cette tangente passe par l'origine et par le point $(0{,}015\ \text{s} ; 0{,}12\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1})$:

$$A = \frac{0{,}12 - 0}{0{,}015 - 0} = 8{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Valeur de B. Au-delà de $0{,}08$ s environ, la vitesse est constante : $V_{lim} = 0{,}12\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Alors $\dfrac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = 0$, soit $A - B\,V_{lim} = 0$:

$$B = \frac{A}{V_{lim}} = \frac{8{,}0}{0{,}12} = 67\ \text{s}^{-1}$$

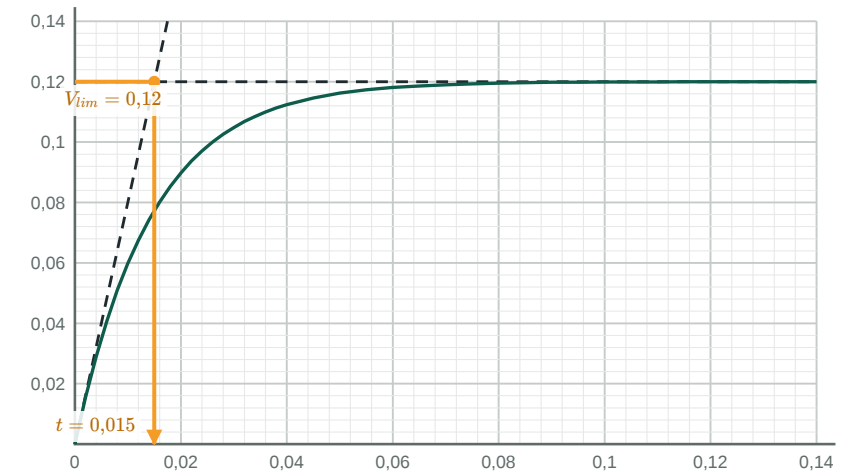
$A = 8{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et $B = 67\ \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE

Le tracé d'une tangente à la main est peu précis : toute valeur de A entre 8 et 9 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ est recevable, avec la valeur de B qui en découle. A reste bien inférieur à g, comme prévu en 3.2.

MÉTHODE

La tangente à l'origine coupe l'asymptote $V = V_{lim}$ à la date $t = 1/B$, temps caractéristique du régime transitoire. Lire cette date donne directement B.



3.3 · Graphe du sujet : tangente à l'origine et asymptote

À LA CALCULATRICE

