Corrigé complet — Bac S 2012 Liban (ancien programme)

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

Ex 1	**Odeur fruitée et arôme synthétique** Estérification · Chauffage à reflux · Quotient de réaction et constante d'équilibre · Taux d'avancement final · Vitesse volumique et temps de demi-réaction	7 pts	1 h 31	23 questions	p. 2
Ex 2	**Le ludion** Poussée d'Archimède · Loi des gaz parfaits · Deuxième loi de Newton · Frottement fluide et vitesse limite · Méthode d'Euler	5 pts	1 h 05	13 questions	p. 8
Ex 3	**Une lampe "secouée"** Dipôle RC · Équation différentielle de décharge · Constante de temps · Énergie stockée dans un condensateur · Conversion d'énergie · Diode électroluminescente	4 pts	52 min	13 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Modulation et démodulation d'un son** Hauteur et timbre d'un son · Modulation d'amplitude · Taux de modulation · Circuit d'accord LC · Démodulation	4 pts	52 min	13 questions	p. 18

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.

Odeur fruitée et arôme synthétique

Bac S 2012 Liban (ancien programme) · Exercice 1 **7 points** **Durée conseillée 1 h 31**

1.1 Donner le nom de l'acide (A) dans la nomenclature officielle.

La chaîne carbonée la plus longue contient 4 atomes de carbone, dont celui du groupe carboxyle.

L'acide butyrique (A) s'appelle **acide butanoïque**.

1.2 À quelle famille de composés chimiques le butanoate d'isoamyle (E) appartient-il ?

Le nom en « -oate de … yle » et le groupe $-COO-$ formé entre l'acide et l'alcool l'indiquent.

(E) est un **ester**.

1.3 Écrire, avec les formules semi-développées, l'équation de la réaction de synthèse du butanoate d'isoamyle (E).

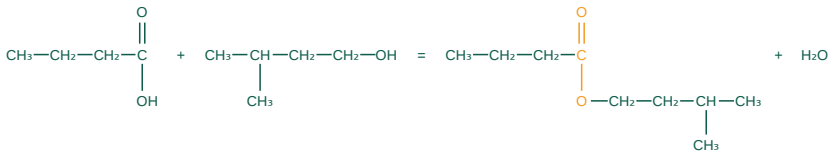
Acide carboxylique + alcool = ester + eau (voir la figure).

En ligne :

$$CH_3-CH_2-CH_2-COOH + CH_3-CH(CH_3)-CH_2-CH_2-OH$$
$$= CH_3-CH_2-CH_2-COO-CH_2-CH_2-CH(CH_3)-CH_3 + H_2O$$

acide butanoïque + alcool isoamylique = butanoate d'isoamyle + eau

MÉTHODE
Schéma général : $R-COOH + HO-R' = R-COO-R' + H_2O$. Ne pas oublier l'eau.



1.3 · Équation de l'estérification en formules semi-développées (groupe ester en orange)

1.4 Quelles sont les caractéristiques de cette transformation chimique ?

L'estérification est une transformation **lente** et **limitée** (elle conduit à un état d'équilibre).

COMPRENDRE
Limitée car l'hydrolyse de l'ester, réaction inverse, se produit en même temps.

2.1.1 Comment nomme-t-on ce type de montage ?

C'est un montage de **chauffage à reflux**.

2.1.2 Donner le nom des éléments (1) et (2) du montage.

(1) : **réfrigérant à boules** (à eau) ; (2) : **chauffe-ballon**.

2.1.3 Quels sont les deux intérêts d'un tel dispositif ?

Le chauffage élève la température du mélange : la transformation est plus rapide.

Les vapeurs se condensent dans le réfrigérant et retombent dans le ballon : on ne perd ni réactif ni produit.

Accélérer la réaction par le chauffage **sans perte de matière**.

2.2 Quel est le rôle de l'acide sulfurique ?

L'acide sulfurique est un **catalyseur** : il accélère la réaction sans modifier l'état d'équilibre final.

3.1.1 Écrire l'expression du quotient de réaction $Q_{r,i}$ dans l'état initial.

$$Q_{r,i} = \frac{[\mathrm{E}]_i \cdot [\mathrm{H_2O}]_i}{[\mathrm{A}]_i \cdot [\mathrm{B}]_i}$$

3.1.2 Justifier le sens d'évolution spontanée du système.

Initialement, il n'y a ni ester ni eau : $[\mathrm{E}]_i = [\mathrm{H_2O}]_i = 0$, donc $Q_{r,i} = 0$.

Critère d'évolution : $Q_{r,i} = 0 < K = 4{,}0$.

Le système évolue spontanément dans le **sens direct** (formation de l'ester).

3.1.3 Calculer les quantités de matière initiales $n(\mathrm{A})$ et $n(\mathrm{B})$. Le mélange initial est-il équimolaire ?

Données utiles $V_A = 11$ mL ; $\rho_A = 0{,}963\ \mathrm{g \cdot mL^{-1}}$; $V_B = 13$ mL ; $\rho_B = 0{,}813\ \mathrm{g \cdot mL^{-1}}$; $M_A = M_B = 88{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

$n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{\rho \cdot V}{M}$, avec ρ en $\mathrm{g \cdot mL^{-1}}$ et V en mL.

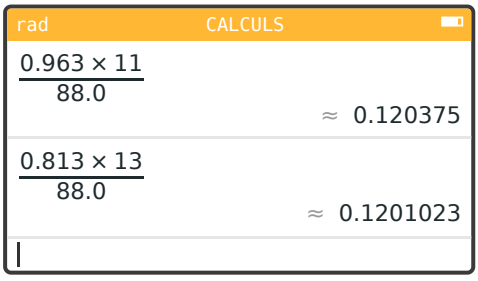
$$n(\mathrm{A}) = \frac{0{,}963 \times 11}{88{,}0} = 0{,}12\ \mathrm{mol} \qquad n(\mathrm{B}) = \frac{0{,}813 \times 13}{88{,}0} = 0{,}12\ \mathrm{mol}$$

$n(\mathrm{A}) = n(\mathrm{B}) = 0{,}12$ mol : le mélange est **équimolaire**.

PIÈGE
Avec ρ en $\mathrm{g \cdot mL^{-1}}$, le volume reste en mL.

COMPRENDRE
11 mL et 13 mL ont deux chiffres significatifs : on arrondit à 0,12 mol.

À LA CALCULATRICE



3.1.4 Compléter numériquement le tableau d'évolution de l'annexe 1.

Données utiles $n(\mathrm{A}) = n(\mathrm{B}) = 0{,}12$ mol (Q3.1.3)

Le produit manquant est l'eau. Les coefficients stœchiométriques valent tous 1.

Tableau complété ci-contre : $0{,}12 - x$ pour A et B, x pour E et pour l'eau.

Équation de la réaction		A + B = E + H_2O			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0	0,12	0,12	0	0
État intermédiaire	x	0,12 − x	0,12 − x	x	x
État final	xéq	0,12 − xéq	0,12 − xéq	xéq	xéq

3.1.4 · Annexe 1 complétée (ce que l'élève écrit en orange)

3.2.1 À partir de l'expression de $Q_{r,éq}$ et de la valeur de K, montrer que $x_{éq} = 0{,}080$ mol.

Données utiles $K = 4{,}0$; tableau d'avancement (Q3.1.4)

À l'équilibre, $Q_{r,éq} = K$. Le volume V se simplifie :

$$K = \frac{\frac{x_{éq}}{V} \cdot \frac{x_{éq}}{V}}{\frac{0{,}12 - x_{éq}}{V} \cdot \frac{0{,}12 - x_{éq}}{V}} = \left(\frac{x_{éq}}{0{,}12 - x_{éq}}\right)^2 = 4{,}0$$

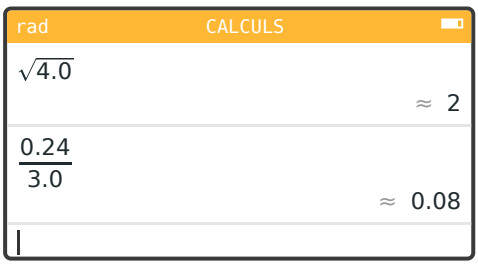
Toutes les quantités étant positives : $\frac{x_{éq}}{0{,}12 - x_{éq}} = \sqrt{4{,}0} = 2{,}0$

$x_{éq} = 2{,}0 \times (0{,}12 - x_{éq})$, soit $3{,}0\,x_{éq} = 0{,}24$

$x_{éq} = 0{,}080$ mol, la valeur annoncée.

MÉTHODE
La racine carrée évite le second degré. Sinon, $3{,}0\,x^2 - 0{,}96\,x + 0{,}0576 = 0$ a deux racines : 0,24 mol, supérieure à x_{max}, est rejetée.

À LA CALCULATRICE



3.2.2 Exprimer puis calculer le taux d'avancement final τ.

Données utiles $x_{éq} = 0{,}080$ mol (Q3.2.1) ; $n(\mathrm{A}) = n(\mathrm{B}) = 0{,}12$ mol (Q3.1.3)

Si la réaction était totale, A et B disparaîtraient ensemble : $x_{max} = 0{,}12$ mol.

$$\tau = \frac{x_{éq}}{x_{max}} = \frac{0{,}080}{0{,}12} = 0{,}67$$

$\tau = 0{,}67$, soit 67 %.

COMPRENDRE
Résultat classique : environ deux tiers d'ester pour un mélange équimolaire acide et alcool primaire.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.080}{0.12}$ ≈ 0.6666667

3.2.3 Quelle masse de butanoate d'isoamyle (E) peut-on espérer recueillir en fin de réaction ?

Données utiles $x_{éq} = 0{,}080$ mol (Q3.2.1) ; $M_E = 158{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

D'après le tableau, $n_E = x_{éq}$, donc $m_E = x_{éq} \cdot M_E$.

$m_E = 0{,}080 \times 158{,}0 = 13$ g

$m_E \approx 13$ g de butanoate d'isoamyle.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

0.080 × 158.0 ≈ 12.64

4.1 Donner la définition de la vitesse volumique de la réaction.

$v(t) = \frac{1}{V} \cdot \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$, avec V le volume (constant) du mélange réactionnel et x l'avancement.

COMPRENDRE
Unité usuelle : $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Ici $V = V_A + V_B = 24$ mL.

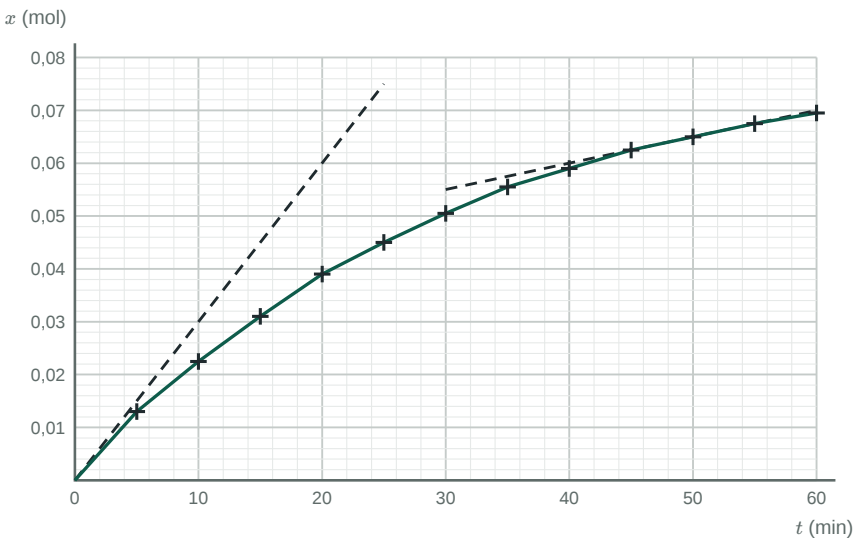
4.2 Comment la vitesse évolue-t-elle au cours de la transformation ? Justifier à partir du graphique.

V étant constant, $v(t)$ est proportionnelle à $\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$, coefficient directeur de la tangente à la courbe $x = f(t)$.

Les tangentes tracées sont de moins en moins inclinées au cours du temps.

La vitesse volumique **diminue** au cours de la transformation.

COMPRENDRE
La vitesse diminue parce que les concentrations des réactifs diminuent : la concentration est un facteur cinétique.



4.2 · Annexe 1 : tangentes à t = 0 et à t = 50 min

4.3 Peut-on considérer que la réaction est terminée au bout d'une heure ? Justifier.

Données utiles $x_{éq} = 0{,}080$ mol (Q3.2.1)

À $t = 60$ min, on lit $x \approx 0{,}070$ mol, inférieur à $x_{éq} = 0{,}080$ mol, et la courbe monte encore (tangente non horizontale).

Non, la transformation n'est pas terminée au bout d'une heure.

4.4 Définir puis déterminer graphiquement le temps de demi-réaction.

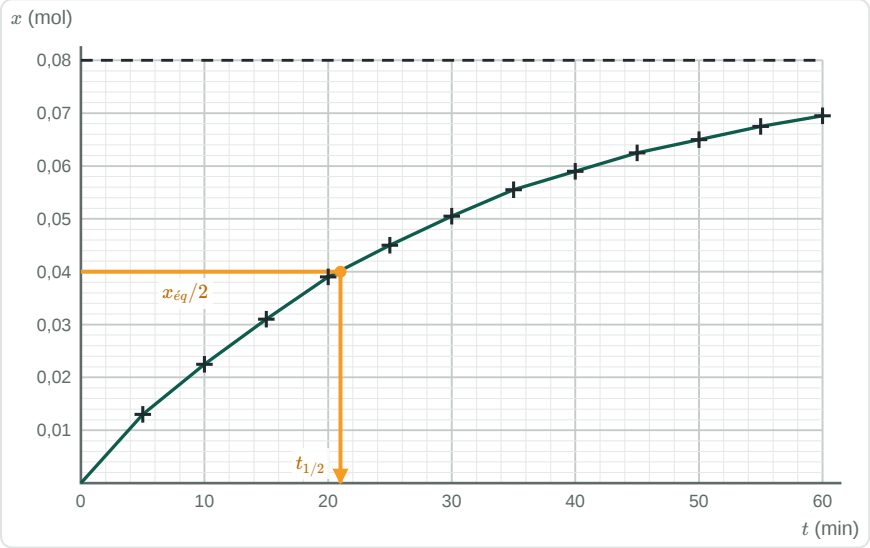
Données utiles $x_{éq} = 0{,}080$ mol (Q3.2.1)

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale : $x(t_{1/2}) = \dfrac{x_{éq}}{2} = 0{,}040$ mol.

Sur le graphique, l'ordonnée 0,040 mol correspond à l'abscisse :

$t_{1/2} \approx 21$ min

PIÈGE
Prendre la moitié de la dernière valeur du graphique (0,070 mol) : la valeur finale est $x_{éq} = 0{,}080$ mol, la réaction n'étant pas terminée à 60 min.



4.4 · Annexe 1 : lecture du temps de demi-réaction

5.1 Pour chaque proposition (a : augmenter la température ; b : éliminer par distillation fractionnée l'espèce de plus basse température d'ébullition), indiquer si elle augmente le rendement.

Données utiles températures d'ébullition : A 162 °C ; B 132 °C ; E 178 °C ; eau 100 °C

a- **Non.** La température est un facteur cinétique : l'équilibre est atteint plus vite, mais K ne dépend pratiquement pas de la température pour une estérification. L'avancement final, donc le rendement, reste le même.

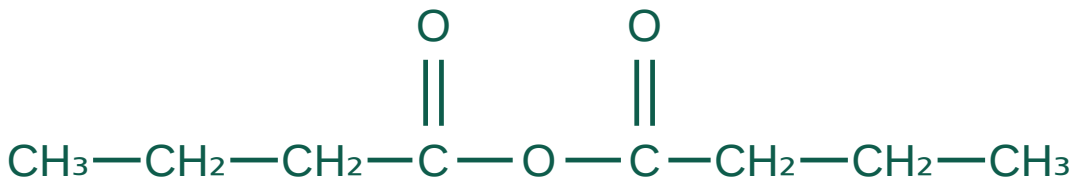
b- **Oui.** L'espèce de plus basse température d'ébullition est l'eau (100 °C), un produit. En l'éliminant au fur et à mesure, Q_r reste inférieur à K : l'hydrolyse ne peut plus se faire et le système évolue dans le sens direct jusqu'à épuisement des réactifs.

Seule la proposition **b** augmente le rendement.

MÉTHODE
Pour déplacer un équilibre vers les produits : mettre un réactif en excès ou éliminer un produit au fur et à mesure qu'il se forme.

5.2.1 Donner la formule semi-développée de l'anhydride butanoïque.

$CH_3-CH_2-CH_2-CO-O-CO-CH_2-CH_2-CH_3$ (deux groupes $C=O$ reliés par un même atome d'oxygène)



5.2.1 · Anhydride butanoïque

5.2.2 Nommer le produit qui se forme en plus du butanoate d'isoamyle lors de cette nouvelle synthèse.

Anhydride butanoïque + alcool isoamylique $\rightarrow$ butanoate d'isoamyle + acide butanoïque.

Il se forme de l'**acide butanoïque** (et non de l'eau).

5.2.3 Donner les caractéristiques de cette réaction.

La réaction de l'anhydride avec l'alcool est **totale** et **plus rapide** que l'estérification par l'acide.

COMPRENDRE
Aucune eau formée, donc pas d'hydrolyse de l'ester.

Le ludion

Bac S 2012 Liban (ancien programme) · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1.1 Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur le ludion en équilibre.

Système {ludion}, dans le référentiel du laboratoire. Il subit :

- son poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas ;
- la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$ exercée par l'eau, verticale, vers le haut.

Deux forces : le poids $\vec{P}$ et la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$.

PIÈGE
Ajouter une force de frottement : à l'équilibre le ludion est immobile, l'eau n'exerce aucun frottement.

1.1.2 Exprimer la valeur des différentes forces en fonction de m_L, ρ_{eau}, V_L et g.

Poids : $P = m_L\, g$.

Poussée d'Archimède : elle est égale au poids du volume d'eau déplacé, ici V_L (ludion totalement immergé) : $\Pi = \rho_{eau}\, V_L\, g$.

$P = m_L\, g$ et $\Pi = \rho_{eau}\, V_L\, g$

COMPRENDRE
Dans Π, la masse volumique est celle du fluide déplacé (l'eau), pas celle du ludion.

1.1.3 Établir l'expression littérale du volume d'air V_{A1} à l'équilibre en fonction de m_L, ρ_{eau} et V_B.

Le ludion est immobile : d'après le principe d'inertie, $\vec{P} + \vec{\Pi} = \vec{0}$, donc $P = \Pi$.

$$m_L\, g = \rho_{eau}\,(V_B + V_{A1})\, g \quad \Rightarrow \quad V_B + V_{A1} = \frac{m_L}{\rho_{eau}}$$

$$V_{A1} = \frac{m_L}{\rho_{eau}} - V_B$$

MÉTHODE
Pour un équilibre : système, référentiel, principe d'inertie (somme vectorielle nulle), puis égalité des normes des deux forces opposées.

1.1.4 Calculer la valeur du volume d'air V_{A1}.

Données utiles $m_L = 6{,}8$ g ; $V_B = 1{,}8$ cm^3 ; $\rho_{eau} = 1000$ kg · m^{-3}

En unités SI : $m_L = 6{,}8 \times 10^{-3}$ kg et $V_B = 1{,}8 \times 10^{-6}$ m^3.

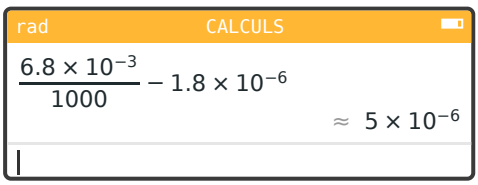
$$V_{A1} = \frac{6{,}8 \times 10^{-3}}{1000} - 1{,}8 \times 10^{-6} = 5{,}0 \times 10^{-6}\ \text{m}^3$$

$V_{A1} = 5{,}0 \times 10^{-6}$ m^3 $= 5{,}0$ cm^3

PIÈGE
Garder m_L en grammes avec ρ_{eau} en kg · m^{-3} : le résultat est faux d'un facteur 1000.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme m_L et V_B. Plus rapide : $\rho_{eau} = 1{,}0$ g · cm^{-3}, donc $V_L = 6{,}8$ cm^3.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 L'air étant un gaz parfait, indiquer l'évolution du volume d'air du ludion après compression de la membrane.

Pour l'air du ballon : $P\,V_A = n\,R\,T$. Le ballon est fermé (n constant) et $T = 298$ K est constante, donc $P\,V_A = n\,R\,T$ = constante.

La compression augmente la pression P de l'air enfermé.

P augmente et $P\,V_A$ reste constant : le volume d'air V_A **diminue**.

COMPRENDRE
Produit constant : si la pression double, le volume est divisé par deux (loi de Boyle-Mariotte).

1.2.2 Justifier que le ludion entame alors un mouvement vertical vers le bas.

V_B est constant et V_A diminue, donc $V_L = V_B + V_A$ diminue. La poussée $\Pi = \rho_{eau}\, V_L\, g$ diminue, alors que le poids $P = m_L\, g$ ne change pas (la masse d'air est la même).

On a donc $\Pi < P$: la somme des forces est verticale, vers le bas, et le ludion, initialement immobile, part vers le bas.

Π devient inférieure à P : la résultante est dirigée vers le bas, le ludion descend.

PIÈGE
Dire que le ludion « devient plus lourd » : sa masse ne varie pas, c'est la poussée d'Archimède qui diminue.

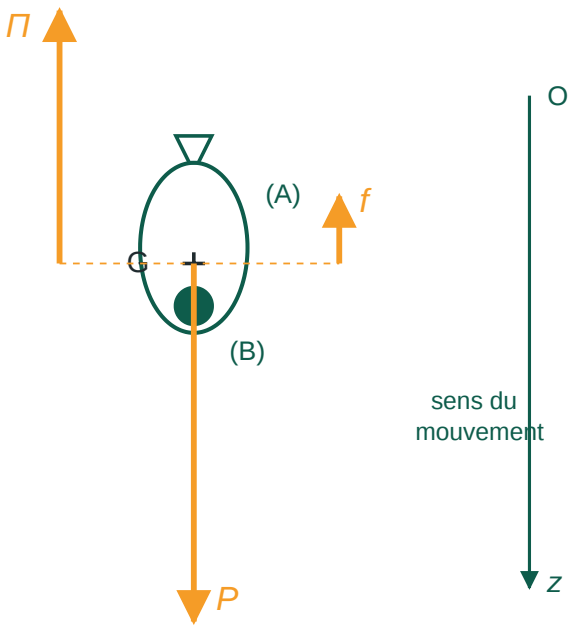
2.1 Représenter sur un schéma cohérent, sans souci d'échelle, les forces qui s'exercent sur le ludion en mouvement.

Le ludion descend : il subit son poids $\vec{P}$ (vers le bas), la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$ (vers le haut) et la force de frottement $\vec{f} = -k\,\vec{v}$, opposée à la vitesse, donc vers le haut.

Pendant la phase accélérée, $P > \Pi + f$: la flèche de $\vec{P}$ est la plus longue.

Schéma : $\vec{P}$ vers le bas, $\vec{\Pi}$ et $\vec{f}$ vers le haut, avec $P > \Pi + f$.

PIÈGE
Orienter $\vec{f}$ vers le bas, ou dessiner trois flèches de même longueur : le schéma ne serait plus cohérent avec un mouvement accéléré vers le bas.



2.1 · Forces sur le ludion pendant la descente (sans échelle)

2.2 En appliquant la deuxième loi de Newton dans le référentiel du laboratoire, établir l'équation différentielle du mouvement.

Système {ludion} de masse m_L constante ; référentiel du laboratoire supposé galiléen.

Deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{\Pi} + \vec{f} = m_L \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$.

Projection sur l'axe Oz vertical vers le bas, avec $\vec{v} = v\,\vec{k}$ ($v > 0$ à la descente) :

$$m_L\, g - \rho_{eau}\,(V_{A2} + V_B)\, g - k\, v = m_L \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

$$\boxed{\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} + \frac{k}{m_L} v = g\left(1 - \frac{\rho_{eau}\,(V_{A2} + V_B)}{m_L}\right)}$$

PIÈGE
Les signes de la projection : axe vers le bas, donc $P_z = +P$, $\Pi_z = -\Pi$ et $f_z = -k\,v$.

2.3 Montrer que l'équation est de la forme $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} + A\,v = B$, donner B en fonction de m_L, ρ_{eau}, V_B et V_{A2}, vérifier que $B = 0{,}29$ SI et préciser son unité.

Données utiles $m_L = 6{,}8 \times 10^{-3}$ kg ; $V_B = 1{,}8 \times 10^{-6}$ m^3 ; $V_{A2} = 4{,}8 \times 10^{-6}$ m^3 ; $g = 9{,}8$ m · s^{-2} ; $k = 1{,}6 \times 10^{-2}$ kg · s^{-1}

Par identification avec l'équation de la question 2.2 :

$$A = \frac{k}{m_L} \qquad B = g\left(1 - \frac{\rho_{eau}\,(V_{A2} + V_B)}{m_L}\right)$$

$$B = 9{,}8 \times \left(1 - \frac{1000 \times 6{,}6 \times 10^{-6}}{6{,}8 \times 10^{-3}}\right) = 0{,}29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

B a la dimension de $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$, une accélération (le facteur entre parenthèses est sans unité).

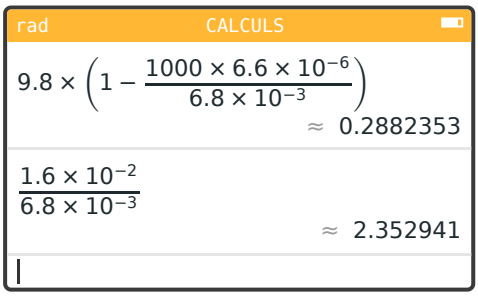
Vérification de A : $A = \dfrac{1{,}6 \times 10^{-2}}{6{,}8 \times 10^{-3}} = 2{,}4$ s^{-1}.

$\boxed{B = 0{,}29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}$, valeur attendue 0,29 SI

PIÈGE
Oublier d'ajouter V_B à V_{A2} : la poussée porte sur tout le volume du ludion, $6{,}6$ cm^3.

COMPRENDRE
B est l'accélération initiale ($v = 0$) : c'est bien la première valeur de a du tableau, $0{,}29$ m · s^{-2}.

À LA CALCULATRICE



2.4.1 Quelle est la valeur du pas d'itération Δt choisi ?

Les dates du tableau augmentent de $0{,}10$ s d'une ligne à la suivante.

$\boxed{\Delta t = 0{,}10 \text{ s}}$

2.4.2 Déterminer a_4 et v_5 en détaillant les calculs.

Données utiles $A = 2{,}4\ \text{s}^{-1}$; $B = 0{,}29\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $v_4 = 0{,}08\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\Delta t = 0{,}10$ s (Q 2.4.1)

L'équation différentielle donne $a = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = B - A\,v$, d'où :

$a_4 = B - A\,v_4 = 0{,}29 - 2{,}4 \times 0{,}08 = 0{,}098\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} \approx 0{,}10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

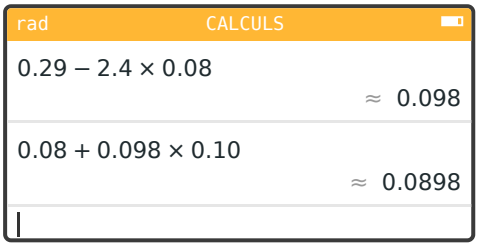
Méthode d'Euler : $a_4 \approx \dfrac{v_5 - v_4}{\Delta t}$, donc $v_5 = v_4 + a_4\,\Delta t$:

$v_5 = 0{,}08 + 0{,}098 \times 0{,}10 = 0{,}09\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

$a_4 \approx 0{,}10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et $v_5 \approx 0{,}09\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

MÉTHODE
Euler : l'équation différentielle donne a_n à partir de v_n, puis $v_{n+1} = v_n + a_n\,\Delta t$. On contrôle sur la ligne suivante : $0{,}09 + 0{,}07 \times 0{,}10 \approx 0{,}10$.

À LA CALCULATRICE



2.4.3 Sans conclure sur la validité du modèle de frottement, quel serait l'intérêt de diminuer le pas d'itération ?

La méthode d'Euler remplace la dérivée par un taux de variation sur Δt : c'est une approximation, d'autant meilleure que Δt est petit.

Avec un pas plus petit, la courbe calculée se rapproche de la solution exacte de l'équation différentielle (au prix d'un plus grand nombre de calculs).

Diminuer Δt rend la résolution numérique plus précise.

COMPRENDRE
Un pas plus fin rapproche la courbe de la solution du modèle, pas forcément de l'expérience : l'écart restant mesurerait alors les défauts du modèle $f = k\,v$.

2.4.4 Déterminer l'expression de la vitesse limite en fonction de A et B, puis sa valeur, et vérifier l'accord avec l'expérience.

Données utiles $A = 2{,}4\ \text{s}^{-1}$; $B = 0{,}29\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

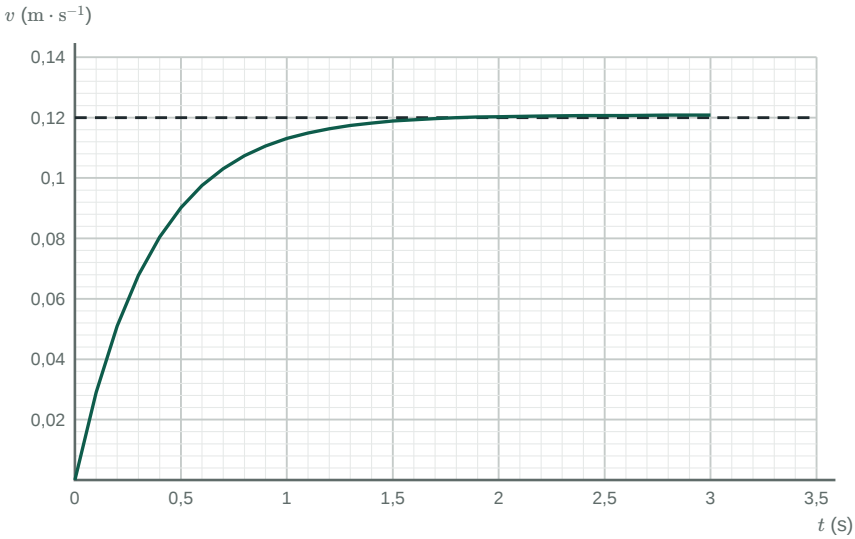
À la vitesse limite, $v = v_{lim}$ est constante, donc $\dfrac{\text{d}v}{\text{d}t} = 0$ et $A\,v_{lim} = B$:

$$v_{lim} = \frac{B}{A} = \frac{0{,}29}{2{,}4} = 0{,}12\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Sur la figure 4, la courbe expérimentale tend vers un palier à $0{,}12\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: accord avec le modèle.

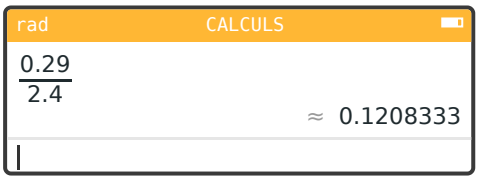
$v_{lim} = \dfrac{B}{A} = 0{,}12\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, en accord avec le palier expérimental

PIÈGE
Annoncer la vitesse limite sans la comparer au graphique : la seconde partie de la question rapporte aussi des points.



2.4.4 · Vitesse calculée par la méthode d'Euler ($\Delta t = 0{,}10$ s) et vitesse limite

À LA CALCULATRICE



Une lampe "secouée"

Bac S 2012 Liban (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Établir l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$ pendant la décharge et montrer qu'elle s'écrit $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \dfrac{1}{\tau}u_C = 0$ avec $\tau = RC$.

Loi d'additivité des tensions dans la maille : $u_C + u_R = 0$.

Loi d'Ohm (convention récepteur) : $u_R = R\,i$.

Avec l'orientation du schéma, i arrive sur l'armature portant la charge $q = C\,u_C$: $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ (C constante).

D'où $u_C + RC\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$, puis en divisant par RC :

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau}\,u_C = 0 \text{ avec } \tau = RC$$

PIÈGE

Le signe de $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ dépend de l'orientation choisie sur le schéma. Ici i est négatif pendant la décharge : le courant réel circule en sens inverse de la flèche.

1.2 Vérifier par une analyse dimensionnelle que τ est homogène à un temps.

Loi d'Ohm : $u = R\,i$ donc $[R] = \dfrac{[U]}{[I]}$.

$q = C\,u$ et $q = i\,\Delta t$ donc $[C] = \dfrac{[I]\,[T]}{[U]}$.

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

$[\tau] = [T]$: $\tau = RC$ est homogène à un temps.

MÉTHODE

Pour une analyse dimensionnelle, partir de relations simples connues ($u = Ri$, $q = Cu$, $q = i\,\Delta t$) et exprimer chaque grandeur en fonction de $[U]$, $[I]$ et $[T]$.

1.3 Montrer que $u_C(t) = U_0\,e^{-t/\tau}$ est solution de l'équation différentielle précédente.

U_0 et τ sont constants : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{U_0}{\tau}\,e^{-t/\tau}$.

On remplace dans l'équation :

$$-\frac{U_0}{\tau}\,e^{-t/\tau} + \frac{1}{\tau}\,U_0\,e^{-t/\tau} = 0$$

L'égalité est vérifiée pour tout t. De plus $u_C(0) = U_0$, ce qui correspond à la condition initiale.

$u_C(t) = U_0\,e^{-t/\tau}$ est solution.

PIÈGE

Oublier le facteur $-\dfrac{1}{\tau}$ en dérivant : $\left(e^{-t/\tau}\right)' = -\dfrac{1}{\tau}\,e^{-t/\tau}$.

1.4 En déduire qu'une durée d'environ 5τ permet une décharge quasi complète du condensateur.

Données utiles $U_0 = 3{,}6$ V

$u_C(5\tau) = U_0\,e^{-5\tau/\tau} = U_0\,e^{-5}$

$u_C(5\tau) = 6{,}7 \times 10^{-3}\,U_0 = 6{,}7 \times 10^{-3} \times 3{,}6 = 2{,}4 \times 10^{-2}$ V

La tension ne vaut plus que 0,7 % environ de sa valeur initiale.

À $t = 5\tau$, $u_C \approx 0{,}7\,\%$ de U_0 : la décharge est quasi complète.

COMPRENDRE

Mathématiquement u_C n'atteint jamais 0 ; on convient qu'au-delà de 5τ (moins de 1 % de U_0) le régime transitoire est terminé.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

e^{-5}

$\approx$ 0.006737947

$3.6 \times e^{-5}$

$\approx$ 0.02425661

1.5 La durée de décharge vaut vingt minutes : déterminer la résistance R à associer au condensateur de capacité $C = 1{,}0$ F.

Données utiles $5\tau = 20$ min ; $C = 1{,}0$ F

$5\tau = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}$, donc $\tau = 240$ s.

$\tau = RC$ donc $R = \dfrac{\tau}{C} = \dfrac{20 \times 60}{5 \times 1{,}0}$

$R = 2{,}4 \times 10^2\ \Omega$

PIÈGE
Convertir les minutes en secondes avant le calcul, et ne pas oublier de diviser par 5 : $RC = \tau$, pas 5τ.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $C = 1{,}0$ F : on écrit $2{,}4 \times 10^2\ \Omega$ plutôt que 240 Ω.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{20 \times 60}{5 \times 1.0}$

$\approx$ 240

2.1 Choisir la proposition qui décrit le mieux la conversion d'énergie lors du « secouement » de la lampe.

On agite la lampe (mouvement : énergie mécanique) et elle produit de l'électricité stockée dans le condensateur.

Proposition c) : conversion d'énergie mécanique en énergie électrique.

COMPRENDRE
Aucune réaction chimique n'intervient : il n'y a pas de pile, ce qui élimine b) et d).

2.2 Rappeler l'expression de l'énergie $E(t)$ emmagasinée dans le condensateur en fonction de $u_C(t)$ et C.

$E(t) = \dfrac{1}{2} C\, u_C(t)^2$

2.3 Calculer l'énergie E_{max} emmagasinée à la fin de la charge, puis vérifier qu'elle ne dépasse pas les performances annoncées par le constructeur.

Données utiles $C = 1{,}0$ F ; $U_0 = 3{,}6$ V ; énergie maximale annoncée : 12 J

$E_{max} = \dfrac{1}{2} C\, U_0^2 = \dfrac{1}{2} \times 1{,}0 \times 3{,}6^2 = 6{,}5$ J

$6{,}5 \text{ J} < 12 \text{ J}$: les performances du constructeur sont respectées.

$E_{max} = 6{,}5$ J, inférieure aux 12 J annoncés.

PIÈGE
Oublier le carré sur U_0 ou le facteur $\frac{1}{2}$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times 1.0 \times 3.6^2$

$\approx$ 6.48

2.4 Vérifier par un calcul que la lampe ne pourra pas fonctionner sans être « secouée » après plusieurs semaines sans utilisation.

Données utiles $E_{max} = 6{,}48$ J (Q2.3) ; perte : 8 mJ par heure

Durée au bout de laquelle toute l'énergie est perdue :

$$\Delta t = \frac{E_{max}}{8 \times 10^{-3}} = \frac{6{,}48}{8 \times 10^{-3}} = 8{,}1 \times 10^2 \text{ h}$$

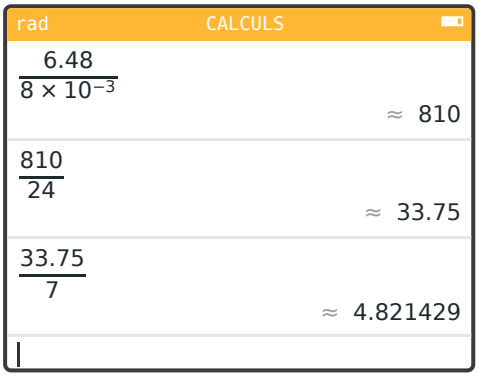
Soit $\frac{810}{24} \approx 34$ jours, environ 5 semaines.

Au bout de 5 semaines environ, le condensateur est déchargé : la lampe doit être secouée de nouveau.

$\Delta t = 8{,}1 \times 10^2$ h ≈ 5 semaines

COMPRENDRE
La DEL s'éteint dès que u_C descend à 3,0 V (partie 3), soit $E = 4{,}5$ J. L'énergie utile (≈ 2 J) est donc perdue en une dizaine de jours seulement : la conclusion est renforcée.

À LA CALCULATRICE



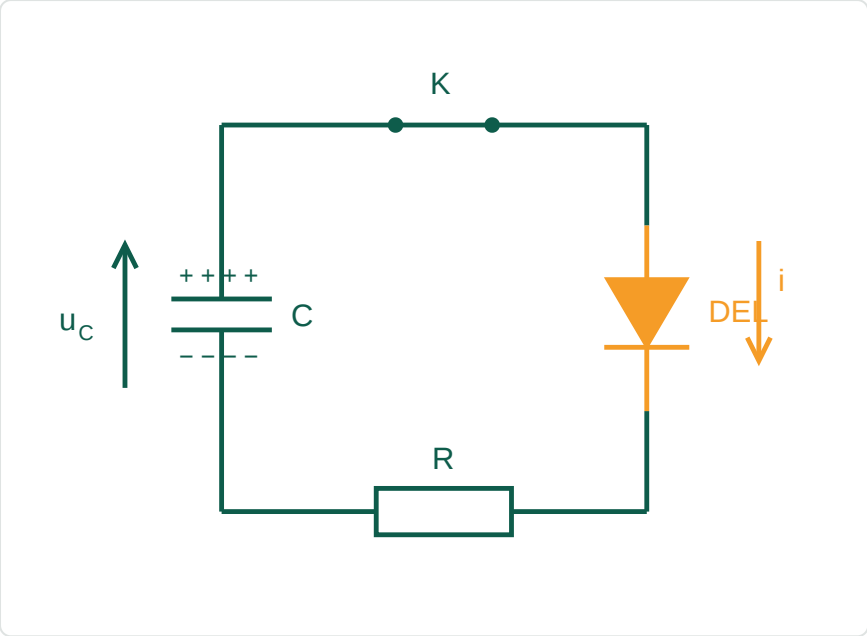
3.1 Sur la figure 1 de l'annexe 2, ajouter en série avec R une DEL qui laisse passer le courant lors de la décharge.

Pendant la décharge, le courant réel sort de l'armature positive (en haut), passe par K puis descend dans la branche de droite.

La DEL est placée dans la branche de droite, sens passant vers le bas : triangle pointant vers le bas, barre du côté de R.

DEL en série, sens passant de l'armature positive vers R (voir le schéma).

PIÈGE
Le sens passant se lit de la pointe du triangle vers la barre. Une DEL montée à l'envers bloque le courant : aucune décharge.



3.1 · Annexe 2, figure 1 complétée : la DEL (en orange) dans la branche de droite

3.2 Pourquoi le condensateur ne peut-il pas se décharger complètement ?

Données utiles $U_{seuil} = 3{,}0$ V

La DEL ne conduit que si la tension à ses bornes atteint $U_{seuil} = 3{,}0$ V. Au cours de la décharge, u_C diminue ; quand u_C descend à 3,0 V, la tension disponible pour la diode devient inférieure au seuil : le courant s'annule.

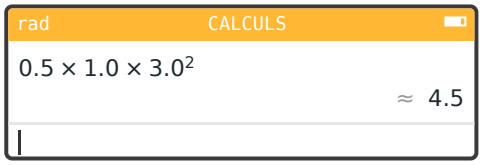
Le condensateur cesse de se décharger alors qu'il reste une tension d'environ 3,0 V à ses bornes.

Le courant s'arrête dès que $u_C \leq U_{seuil} = 3{,}0$ V : la décharge s'interrompt avant $u_C = 0$.

COMPRENDRE

L'énergie restante, $\frac{1}{2} C U_{seuil}^2 = 4{,}5$ J, ne peut plus allumer la DEL : c'est l'essentiel des 6,5 J stockés.

À LA CALCULATRICE



3.3 La présence de la DEL modifie-t-elle la durée nécessaire pour que u_C passe de 3,6 V à 3,0 V ? Justifier.

Oui. La DEL, de résistance r, est en série avec R : la résistance totale du circuit devient $R + r$, et une partie de la tension u_C est prise par le seuil de la diode.

La constante de temps devient $\tau' = (R + r)\, C > \tau = RC$: le courant est plus faible et la décharge plus lente.

Oui : la durée de passage entre 3,6 V et 3,0 V est plus longue, car $\tau' = (R + r)\, C > RC$.

COMPRENDRE

Avec le seuil, la loi des mailles donne $u_C = U_{seuil} + (R + r)\, i$: u_C tend vers 3,0 V sans l'atteindre, ce qui allonge encore cette durée.

3.4 Choisir la ou les solutions permettant la décharge complète du condensateur, avec un argument : inverser la diode, augmenter R, court-circuiter le condensateur, court-circuiter la diode.

Court-circuiter le condensateur : un fil relie directement ses deux armatures, la décharge se fait à travers ce fil sans passer par la diode, jusqu'à $u_C = 0$.

Court-circuiter la diode : on retrouve le circuit RC de la partie 1, sans tension de seuil, et u_C tend vers 0.

Les deux autres solutions ne conviennent pas : une diode inversée bloque tout courant, et augmenter R ralentit la décharge sans supprimer le seuil de 3,0 V.

Solutions retenues : court-circuiter le condensateur ou court-circuiter la diode.

MÉTHODE

Pour un choix parmi des propositions, justifier aussi brièvement le rejet des autres : c'est souvent là que se joue la totalité des points.

Spécialité : Modulation et démodulation d'un son

Bac S 2012 Liban (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Classer dans l'ordre les phénomènes a, b, c et d, de l'émission à la perception de la note.

d : la corde pincée vibre ; a : elle fait vibrer l'air contenu dans la caisse de résonance ; b : cette vibration se propage dans l'air jusqu'à l'oreille ; c : elle met en mouvement le tympan.

Ordre : d → a → b → c

COMPRENDRE
La corde est l'excitateur, la caisse de résonance le résonateur qui transmet la vibration à l'air et amplifie le son.

1.2.1 Parmi les sons 1, 2 et 3, lesquels comportent des harmoniques ?

Le signal du son 3 est sinusoïdal : c'est un son pur, sans harmoniques.

Les signaux des sons 1 et 2 sont périodiques mais non sinusoïdaux : ce sont des sons complexes.

Sons 1 et 2 : ils possèdent des harmoniques.

COMPRENDRE
Harmoniques, hauteur et timbre ne figurent plus dans le programme actuel de spécialité.

1.2.2 À quelle grandeur est associée la hauteur d'un son ? Calculer sa valeur commune aux trois sons.

La hauteur d'un son est associée à sa **fréquence** (celle du fondamental).

Sur le son 1, deux périodes séparent les maxima de $t = 0$ et $t = 15$ ms : $2T = 15$ ms, donc $T = 7{,}5$ ms.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{7{,}5 \times 10^{-3}} = 1{,}3 \times 10^{2} \text{ Hz}$$

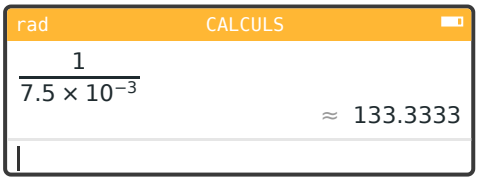
$f = 1{,}3 \times 10^{2}$ Hz

PIÈGE
Sur les sons 1 et 2, prendre l'écart entre deux bosses voisines pour la période : le motif complet dure 7,5 ms.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la lecture $T = 7{,}5$ ms.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes d'un coup, entre deux motifs identiques bien repérables, puis diviser : l'erreur de lecture est divisée d'autant.

À LA CALCULATRICE



1.2.3 Les sons 1 et 2 ont-ils le même timbre ? Justifier.

Les sons 1 et 2 ont la même période mais leurs signaux n'ont pas la même forme : ils ne contiennent pas les mêmes harmoniques avec les mêmes amplitudes.

Les sons 1 et 2 n'ont pas le même timbre.

COMPRENDRE
Le timbre dépend de la forme du signal, c'est-à-dire de la composition en harmoniques, pas de la fréquence.

2.1.1 Attribuer aux signaux a, b et c l'un des adjectifs : modulé, modulant, porteur.

a : tension issue du microphone, à basse fréquence, qui contient l'information : **signal modulant**.

b : tension sinusoïdale de haute fréquence : **signal porteur**.

c : tension en sortie du dispositif X, envoyée vers l'antenne : **signal modulé**.

a : modulant ; b : porteur ; c : modulé

COMPRENDRE
La tension continue U_0 ajoutée au signal modulant évite la surmodulation.

2.1.2 Comment nomme-t-on le dispositif X ?

X reçoit deux tensions et délivre une tension proportionnelle à leur produit.

X est un **multiplieur**.

2.2.1 Expliquer pourquoi le signal modulé est en accord avec l'utilisation du son 3 comme tension modulante.

L'enveloppe de $s(t)$ est sinusoïdale, de période 7,5 ms (maxima à $t = 0$; 7,5 ; 15 ms), comme le son 3, qui est sinusoïdal de même période.

L'enveloppe de $s(t)$ reproduit la forme du son 3 : c'est bien lui la tension modulante.

COMPRENDRE
En modulation d'amplitude, l'amplitude de la porteuse varie comme la tension modulante : l'information se lit dans l'enveloppe.

2.2.2 Déterminer la fréquence F de la porteuse.

Sur la deuxième figure (zoom de 0 à 5 ms), on compte 15 périodes de la porteuse entre $t = 0$ et $t = 1{,}5$ ms : $15\,T_P = 1{,}5$ ms.

$$T_P = \frac{1{,}5}{15} = 0{,}10 \text{ ms} = 1{,}0 \times 10^{-4} \text{ s}$$

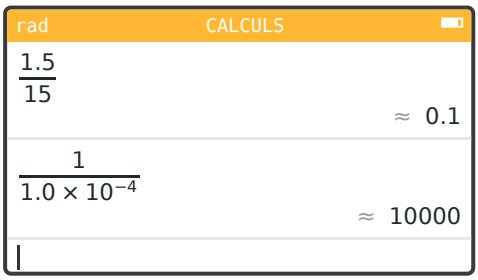
$$F = \frac{1}{T_P} = \frac{1}{1{,}0 \times 10^{-4}} = 1{,}0 \times 10^{4} \text{ Hz}$$

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

COMPRENDRE
On vérifie que $F \gg f$: 10 kHz contre 0,13 kHz (Q1.2.2), condition d'une bonne modulation.

MÉTHODE
Utiliser la figure dilatée et compter un grand nombre d'oscillations sur une durée lue sur un trait de la grille.

À LA CALCULATRICE



2.2.3 Déterminer le taux de modulation $m = \dfrac{s_{max} - s_{min}}{s_{max} + s_{min}}$ à l'aide de l'une des courbes.

Données utiles première figure du 2.2 (enveloppe de $s(t)$)

Sur la première figure, l'enveloppe supérieure varie entre $s_{max} = 6{,}0$ V (à $t = 7{,}5$ ms) et $s_{min} = 2{,}0$ V (à $t = 3{,}75$ ms).

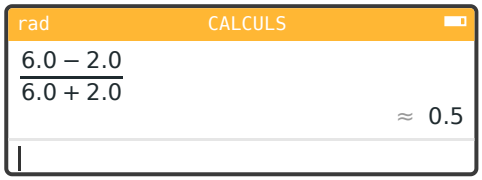
$$m = \frac{s_{max} - s_{min}}{s_{max} + s_{min}} = \frac{6{,}0 - 2{,}0}{6{,}0 + 2{,}0} = 0{,}50$$

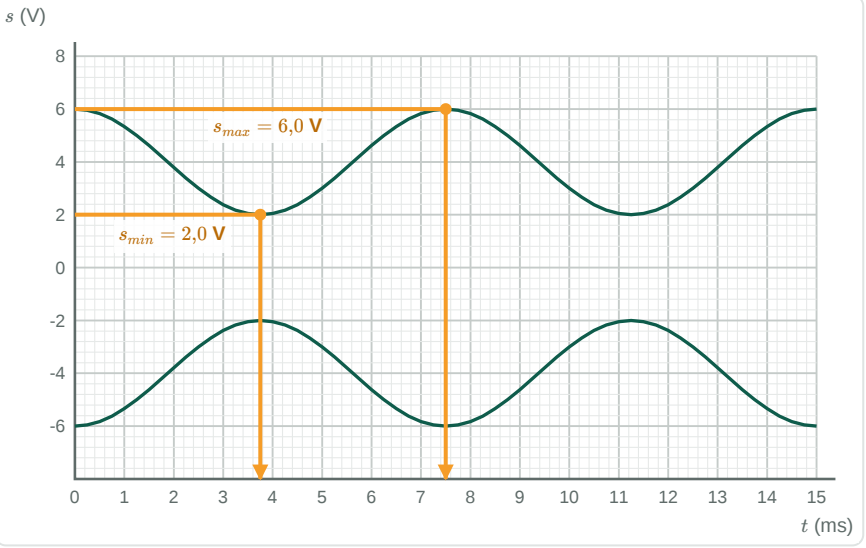
$\boxed{m = 0{,}50}$

PIÈGE
Prendre $s_{min} = -6{,}0$ V : s_{min} est le minimum de l'enveloppe supérieure, une valeur positive.

COMPRENDRE
$m < 1$: la modulation est de bonne qualité, l'enveloppe ne s'annule jamais.

À LA CALCULATRICE





2.2.3 · Enveloppe du signal modulé $s(t)$ (première figure du 2.2), avec les lectures de s_{max} et s_{min}

2.3 Comment nomme-t-on le phénomène observé sur $s'(t)$?

L'enveloppe de $s'(t)$ n'a plus la forme du signal modulant : les deux enveloppes se croisent, l'amplitude passe par zéro vers 3,75 ms et 11,25 ms.

Il s'agit d'une **surmodulation** ($m > 1$).

COMPRENDRE
Avec une surmodulation, la détection d'enveloppe ne restitue plus le son : il est déformé à la réception.

3.1.1 Quelle doit être la fréquence propre f_0 du circuit d'accord pour une bonne réception ?

Le circuit LC doit sélectionner le signal émis, donc entrer en résonance à la fréquence de la porteuse.

$\boxed{f_0 = F = 1{,}0 \times 10^4 \text{ Hz}}$

3.1.2 Avec une bobine d'inductance $L = 2{,}0$ mH, quelle doit être la capacité C_0 du condensateur ?

Données utiles $L = 2{,}0$ mH ; $F = 1{,}0 \times 10^4$ Hz (Q2.2.2)

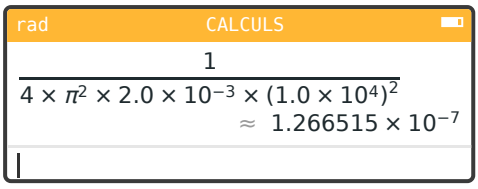
Fréquence propre du circuit LC : $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{L\,C_0}}$, d'où, avec $f_0 = F$:

$$C_0 = \frac{1}{4\pi^2\,L\,F^2} = \frac{1}{4\pi^2 \times 2{,}0 \times 10^{-3} \times (1{,}0 \times 10^4)^2} = 1{,}3 \times 10^{-7}\text{ F}$$

$\boxed{C_0 = 1{,}3 \times 10^{-7}\text{ F} = 0{,}13\ \mu\text{F}}$

PIÈGE
Oublier d'élever au carré en isolant C_0, ou laisser L en millihenrys.

À LA CALCULATRICE



3.2 Pour chacun des modules 1 et 2, donner le nom et le rôle dans la démodulation de $s(t)$.

Module 1 (diode, R_1 et C_1 en parallèle) : **détecteur d'enveloppe**. Il élimine la porteuse et restitue l'enveloppe : le signal modulant augmenté de U_0.

Module 2 (C_2 en série, R_2 en dérivation) : **filtre passe-haut**. Il élimine la composante continue U_0.

Module 1 : détecteur d'enveloppe ; module 2 : filtre passe-haut qui supprime U_0.

COMPRENDRE

La diode supprime les alternances négatives ; pour suivre l'enveloppe sans suivre la porteuse, il faut $T_P \ll R_1C_1 < T$ (période du son).