Corrigé complet — Bac S 2011 Antilles-Guyane (ancien programme)

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

Ex 1	**Le luminol au service de la police scientifique** Ondes électromagnétiques et énergie du photon · Oxydoréduction · Titrage colorimétrique · Loi des gaz parfaits et tableau d'avancement · Suivi cinétique et temps de demi-réaction · Catalyse	6,5 pts	1 h 18	18 questions	p. 2
Ex 2	**Spécialité : Science appliquée...** Onde longitudinale · Ondes stationnaires · Mode fondamental et harmoniques · Hauteur d'un son · Spectre en fréquence · Gamme tempérée	4 pts	52 min	12 questions	p. 7
Ex 3	**Radars... et effet Doppler** Ondes mécaniques progressives · Célérité, retard et longueur d'onde · Écho sonore · Milieu dispersif · Effet Doppler · Mesure d'une vitesse	4 pts	52 min	14 questions	p. 10
Ex 4	**Pile au lithium et supercondensateur** Intensité et quantité d'électricité · Pile et réaction aux électrodes · Quotient de réaction et évolution spontanée · Constante de temps d'un circuit RC · Équation différentielle de la décharge d'un condensateur	5,5 pts	1 h 05	13 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.

Le luminol au service de la police scientifique

Bac S 2011 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1.1 À quel domaine, mécanique ou électromagnétique, une onde lumineuse appartient-elle ?

La lumière est une onde **électromagnétique**.

1.1.2 Concernant le milieu de propagation, en quoi ces deux types d'onde se différencient-ils ?

Une onde mécanique ne se propage que dans un milieu matériel (solide, liquide ou gaz).

Une onde électromagnétique n'a pas besoin de support matériel : elle se propage aussi dans le vide.

COMPRENDRE
C'est pourquoi la lumière du Soleil nous parvient à travers le vide spatial, alors qu'aucun son ne peut le traverser.

1.2.1 Quelle énergie un photon émis transporte-t-il lors de la désexcitation des ions aminophtalate ?

Données utiles $\lambda = 400$ nm ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}0 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

Énergie d'un photon de fréquence ν : $E = h\nu = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, avec $\lambda = 400 \times 10^{-9}$ m.

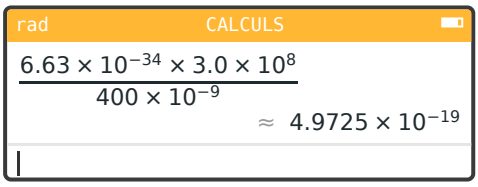
$$E = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}0 \times 10^{8}}{400 \times 10^{-9}}$$

$E = 5{,}0 \times 10^{-19}$ J

PIÈGE
Laisser λ en nanomètres donne un résultat faux d'un facteur 10^{9}. Convertir : $1\ \text{nm} = 10^{-9}$ m.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c, la donnée la moins précise. En électronvolts, cela fait environ 3,1 eV : l'ordre de grandeur habituel d'une transition électronique.

À LA CALCULATRICE



1.2.2 Cette valeur serait-elle plus élevée si la lumière émise était rouge ? Justifier.

Dans le visible, le rouge a une longueur d'onde plus grande que le bleu (environ 700 à 800 nm, contre 400 nm ici).

Or $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, avec h et c constantes : l'énergie est inversement proportionnelle à λ.

Non : $\lambda_{\text{rouge}} > \lambda_{\text{bleu}}$ donc $E_{\text{rouge}} < E_{\text{bleu}}$, le photon rouge transporte moins d'énergie.

MÉTHODE
Pour comparer sans calcul, écrire la relation littérale et dire quelles grandeurs sont constantes : le sens de variation suffit comme justification.

2.1 L'eau oxygénée joue le rôle de l'oxydant. Qu'appelle-t-on oxydant ?

Un oxydant est une espèce chimique susceptible de **gagner** un ou plusieurs électrons.

COMPRENDRE
En captant des électrons, l'oxydant est lui-même réduit. Ici, les électrons sont fournis par le luminol, qui joue le rôle du réducteur.

2.2.1 Écrire l'équation de la réaction support du dosage de l'eau oxygénée par les ions permanganate.

Données utiles couples $MnO_4^-(aq)$ / $Mn^{2+}(aq)$ et $O_2(aq)$ / $H_2O_2(aq)$

Demi-équations, dans le sens où elles se produisent :

$$MnO_4^-(aq) + 8\,H^+(aq) + 5\,e^- = Mn^{2+}(aq) + 4\,H_2O(l) \quad (\times 2)$$

$$H_2O_2(aq) = O_2(aq) + 2\,H^+(aq) + 2\,e^- \quad (\times 5)$$

Les 10 électrons échangés s'éliminent, et il reste $16 - 10 = 6$ ions H^+ à gauche. Toutes les espèces sont en solution aqueuse, l'eau est le solvant :

$$2\,MnO_4^- + 5\,H_2O_2 + 6\,H^+ \longrightarrow 2\,Mn^{2+} + 5\,O_2 + 8\,H_2O$$

PIÈGE
Dans ce dosage, l'eau oxygénée est le **réducteur** : elle est oxydée en O_2. Ne pas reprendre le rôle d'oxydant qu'elle a face au luminol.

MÉTHODE
Vérifier l'équation finale : plus aucun électron, les éléments conservés (ici 2 Mn, 16 H, 18 O de chaque côté) et la même charge des deux côtés ($+4$).

2.2.2 Rappeler la définition de l'équivalence. Comment l'équivalence est-elle repérée dans ce dosage ?

À l'équivalence, le réactif titrant et le réactif titré ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction de dosage : tous deux sont entièrement consommés. Le réactif limitant change à cet instant.

Les ions MnO_4^- sont violets ; toutes les autres espèces sont incolores. Avant l'équivalence, ils sont consommés dès qu'ils sont versés. Après, ils restent en solution.

L'équivalence est repérée par la **persistance d'une teinte rose-violet** dans le mélange, à la première goutte de permanganate en excès.

COMPRENDRE
Aucun indicateur coloré n'est nécessaire : le réactif titrant joue lui-même ce rôle. On parle de titrage colorimétrique.

2.2.3 En déduire la concentration C_R de la solution diluée S_R et vérifier que la concentration de l'eau oxygénée à 110 volumes est voisine de celle annoncée.

Données utiles $C_0 = 0{,}50\ mol \cdot L^{-1}$; $V_E = 8{,}0\ mL$; $V_R = 10{,}0\ mL$; dilution au dixième ; valeur annoncée $C = 9{,}8\ mol \cdot L^{-1}$

À l'équivalence, d'après l'équation du dosage (2 MnO_4^- pour 5 H_2O_2) :

$$\frac{n(MnO_4^-)_{versé}}{2} = \frac{n(H_2O_2)_{initial}}{5} \quad \text{soit} \quad \frac{C_0\,V_E}{2} = \frac{C_R\,V_R}{5}$$

$$C_R = \frac{5\,C_0\,V_E}{2\,V_R} = \frac{5 \times 0{,}50 \times 8{,}0}{2 \times 10{,}0} = 1{,}0\ mol \cdot L^{-1}$$

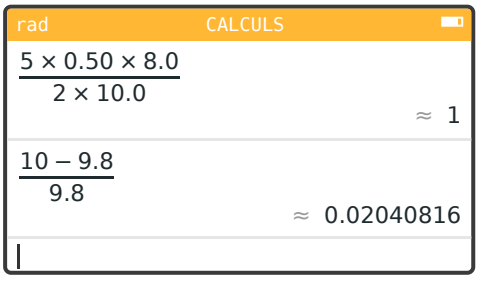
La solution commerciale a été diluée 10 fois : $C_{exp} = 10\,C_R = 10\ mol \cdot L^{-1}$.

$C_R = 1{,}0\ mol \cdot L^{-1}$ et $C_{exp} = 10\ mol \cdot L^{-1}$, voisine de la valeur annoncée $9{,}8\ mol \cdot L^{-1}$ (écart de 2 %).

PIÈGE
Écrire $C_0\,V_E = C_R\,V_R$ en oubliant les nombres stœchiométriques 2 et 5 : on trouverait $0{,}40\ mol \cdot L^{-1}$.

COMPRENDRE
Les deux volumes peuvent rester en mL, puisque seul leur rapport intervient. Le sujet note C_0 la concentration du permanganate : ne pas la confondre avec celle de l'eau oxygénée commerciale.

À LA CALCULATRICE



3.1.1 Exprimer P_0 en fonction de $n(\text{air})$, V_{gaz}, R et T.

Initialement, l'enceinte ne contient que de l'air, assimilé à un gaz parfait : $P_0\,V_{\text{gaz}} = n(\text{air})\,R\,T$.

$$P_0 = \frac{n(\text{air})\,R\,T}{V_{\text{gaz}}}$$

3.1.2 Exprimer P en fonction de $n(\text{air})$, $n(\text{N}_2)$, V_{gaz}, R et T.

À la date t, le gaz de l'enceinte contient l'air initial et le diazote formé : la quantité de matière totale de gaz est $n(\text{air}) + n(\text{N}_2)$.

$$P = \frac{\left(n(\text{air}) + n(\text{N}_2)\right) R\,T}{V_{\text{gaz}}}$$

COMPRENDRE
La loi des gaz parfaits ne dépend pas de la nature du gaz : seule compte la quantité de matière totale. Le volume V_{gaz} et la température ne changent pas.

3.1.3 En déduire l'expression de la surpression $P - P_0$.

$$P - P_0 = \frac{\left(n(\text{air}) + n(\text{N}_2)\right) R\,T}{V_{\text{gaz}}} - \frac{n(\text{air})\,R\,T}{V_{\text{gaz}}}$$

Les termes en $n(\text{air})$ s'éliminent :

$$P - P_0 = \frac{n(\text{N}_2)\,R\,T}{V_{\text{gaz}}}$$

COMPRENDRE
La surpression est proportionnelle à la quantité de diazote formé : mesurer la pression revient donc à suivre l'avancement de la réaction.

3.2 Compléter le tableau d'avancement simplifié du document 1 et déterminer la valeur de l'avancement maximal x_{max}.

Données utiles $n_1 = 5{,}6 \times 10^{-3}$ mol (luminol) ; $n_2 = 4{,}9 \times 10^{-3}$ mol (eau oxygénée) ; ions hydroxyde en excès

Tableau complété : voir le document 1 ci-dessous.

Si le luminol était limitant : $n_1 - 2\,x_{max} = 0$, soit $x_{max} = \dfrac{n_1}{2} = 2{,}8 \times 10^{-3}$ mol.

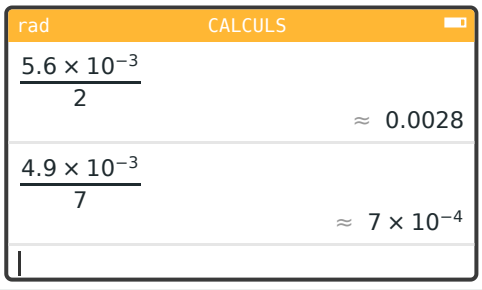
Si l'eau oxygénée était limitante : $n_2 - 7\,x_{max} = 0$, soit $x_{max} = \dfrac{n_2}{7} = 7{,}0 \times 10^{-4}$ mol.

La plus petite valeur est la bonne : l'eau oxygénée est le réactif limitant.

$$x_{max} = 7{,}0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

PIÈGE
Comparer directement n_1 et n_2 ne suffit pas : il faut diviser chaque quantité par son nombre stœchiométrique (2 et 7) avant de conclure.

À LA CALCULATRICE



	Avancement	2 $C_8H_7N_3O_2$(aq)	+ 7 H_2O_2(aq) + …	= 2 N_2(g) + …
État initial	0	$n_1 = 5{,}6 \times 10^{-3}$ mol	$n_2 = 4{,}9 \times 10^{-3}$ mol	0
État intermédiaire	x	$n_1 - 2x$	$n_2 - 7x$	$2x$
État final	x_{max}	$n_1 - 2x_{max}$	$n_2 - 7x_{max} = 0$	$2x_{max}$

3.2 · Document 1 complété (en orange, ce que l'on écrit)

3.3 Établir la relation entre l'avancement x de la réaction, la surpression $(P - P_0)$, V_{gaz}, R et T.

D'après le tableau d'avancement, $n(\text{N}_2) = 2\,x$. La relation de la question 3.1.3 devient :

$$P - P_0 = \frac{2\,x\,R\,T}{V_{\text{gaz}}}$$

$$x = \frac{(P - P_0)\,V_{\text{gaz}}}{2\,R\,T}$$

3.4 On mesure, dans l'état final, une surpression de 1660 Pa. Retrouver la valeur x_{max} de l'avancement maximal.

Données utiles $P - P_0 = 1660$ Pa ; $V_{gaz} = 2{,}1$ L ; $R = 8{,}3$ SI ; $T = 300$ K

Dans l'état final, $x = x_{max}$. Avec $V_{gaz} = 2{,}1\ \text{L} = 2{,}1 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$:

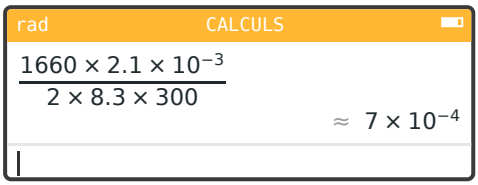
$$x_{max} = \frac{(P - P_0)\, V_{gaz}}{2\,R\,T} = \frac{1660 \times 2{,}1 \times 10^{-3}}{2 \times 8{,}3 \times 300}$$

$x_{max} = 7{,}0 \times 10^{-4}$ mol : on retrouve la valeur de la question 3.2.

PIÈGE
Dans la loi des gaz parfaits en unités SI, la pression est en pascals et le volume en **mètres cubes** : $1\ \text{L} = 10^{-3}\ \text{m}^3$. Avec 2,1 L, le résultat est mille fois trop grand.

COMPRENDRE
Le volume à utiliser est celui du gaz (2,1 L), pas celui du mélange liquide (350 mL).

À LA CALCULATRICE



3.5.1 Comment la vitesse volumique de réaction $v = \frac{1}{V}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ évolue-t-elle en fonction du temps ? Comment expliquer cette évolution ?

$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ est le coefficient directeur de la tangente à la courbe $x = f(t)$ à la date t, et V est constant : v est proportionnelle à cette pente.

La tangente est très inclinée à l'origine, puis de moins en moins, jusqu'à devenir horizontale lorsque x atteint x_{max}.

Explication : les réactifs sont consommés, leur concentration diminue au cours du temps. Or la concentration des réactifs est un facteur cinétique.

La vitesse volumique de réaction **diminue** au cours du temps, jusqu'à s'annuler, car la concentration des réactifs diminue.

COMPRENDRE
Le programme actuel raisonne plutôt avec la vitesse volumique de disparition d'un réactif ou d'apparition d'un produit, dérivée d'une concentration. La lecture graphique par la pente de la tangente est la même.

3.5.2 Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ et le déterminer approximativement à partir de la courbe $x = f(t)$.

Données utiles $x_{max} = 7{,}0 \times 10^{-4}$ mol (3.2) ; sur l'axe des abscisses, le repère $\tau = 2{,}0$ s

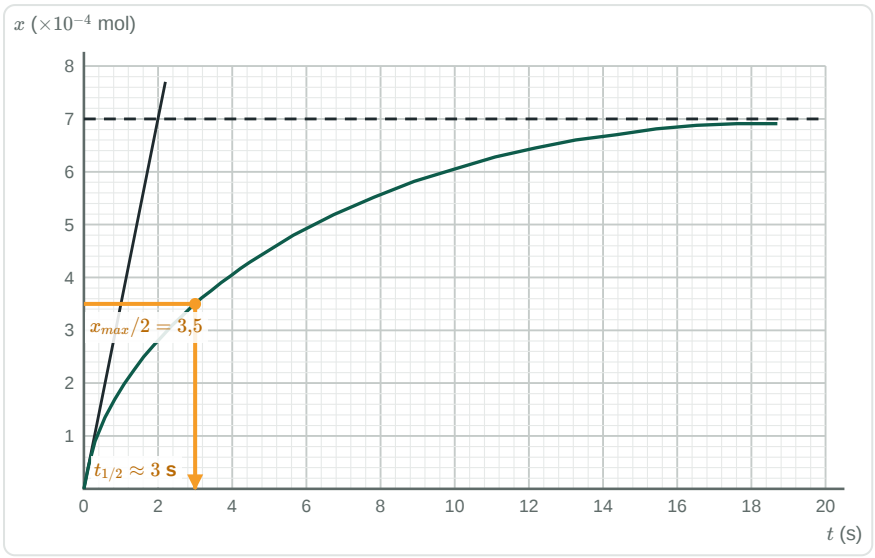
Le temps de demi-réaction est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale : $x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$. Ici $x_f = x_{max}$.

Sur le document 2 : on place $\frac{x_{max}}{2}$ à mi-hauteur entre l'axe des abscisses et le pointillé x_{max}, on trace l'horizontale jusqu'à la courbe, puis on descend à la verticale. L'abscisse lue vaut environ 1,5 fois la distance qui sépare l'origine du repère $\tau = 2{,}0$ s.

$t_{1/2} \approx 1{,}5 \times 2{,}0 \approx 3$ s

PIÈGE
Ne pas lire $t_{1/2}$ à la moitié de la durée totale de la réaction, ni le confondre avec $\tau = 2{,}0$ s, abscisse du point où la tangente à l'origine coupe le pointillé x_{max}.

MÉTHODE
Le seul repère de l'axe des temps est τ : mesurer à la règle la distance origine-τ et la distance origine-$t_{1/2}$, puis faire une proportion. Une lecture à 0,5 s près est acceptée.



3.5.2 · Document 2 complété : lecture de $t_{1/2}$ pour $x = x_{max}/2$

4.1 Les ions fer III jouent le rôle de catalyseur. Qu'est-ce qu'un catalyseur ?

Un catalyseur est une espèce chimique qui **augmente la vitesse** d'une réaction sans figurer dans son équation : il est régénéré en fin de transformation.

COMPRENDRE
Un catalyseur ne change pas l'état final : il permet seulement de l'atteindre plus vite. Ici, l'avancement maximal reste fixé par l'eau oxygénée.

4.2 Expliquer, en deux ou trois lignes, pourquoi cette transformation, dont la vitesse est accrue, est intéressante en criminologie.

Sans catalyseur, la réaction entre le luminol et l'eau oxygénée dure des mois : aucune lumière n'est visible. D'après le texte, l'hémoglobine du sang contient des ions fer III, qui catalysent cette réaction.

La lumière bleue n'apparaît donc, en quelques secondes, qu'aux endroits où il y a du sang : le mélange pulvérisé révèle des traces invisibles à l'œil nu, même lavées ou séchées, que l'on peut alors photographier.

Spécialité : Science appliquée...

Bac S 2011 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 L'onde est longitudinale. Donner une définition de ce type d'onde.

Une onde est **longitudinale** lorsque la perturbation se fait dans la même direction que la propagation de l'onde.

COMPRENDRE
Ici la tige se comprime et s'étire le long de son axe, et l'onde avance aussi le long de cet axe. Pour une onde transversale, les deux directions sont perpendiculaires.

1.1.2 Qu'appelle-t-on onde stationnaire ?

Une onde stationnaire naît de la superposition de deux ondes progressives périodiques de même fréquence qui se propagent en sens opposés : l'onde incidente et l'onde réfléchie aux extrémités de la tige.

La vibration ne se propage plus : certains points restent immobiles (nœuds), d'autres vibrent avec une amplitude maximale (ventres).

1.1.3 Quelle relation existe-t-il entre le mode fondamental et les autres harmoniques ?

Les fréquences des harmoniques sont des multiples entiers de la fréquence f_0 du mode fondamental.

Harmonique de rang n : $f = n \times f_0$, avec n entier ($n = 1$ pour le fondamental).

PIÈGE
Dans la partie 2, le sujet note f_n la fréquence de la tige numéro n : ce n'est pas un harmonique. Ne pas confondre les deux usages de l'indice.

COMPRENDRE
Harmoniques, hauteur et timbre d'un son ne figurent plus au programme actuel de la spécialité de Terminale.

1.1.4 Définir ce qu'on appelle nœud de vibration.

Un nœud de vibration est un point du milieu qui reste immobile à tout instant : l'amplitude de vibration y est nulle.

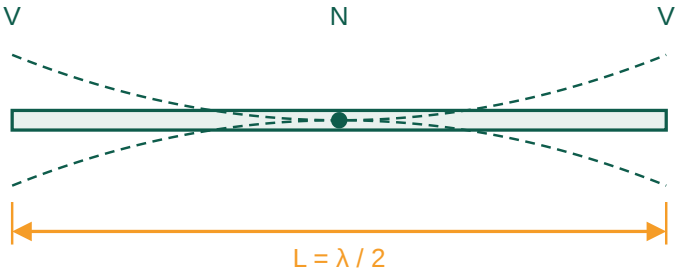
COMPRENDRE
Sur le schéma du sujet, le nœud N est au milieu de la tige, les ventres V aux deux extrémités libres. On peut donc tenir la tige par son milieu sans étouffer le son.

1.1.5 On note λ la longueur d'onde du son de fréquence f. Exprimer λ en fonction de la longueur L de la tige.

Deux ventres consécutifs sont distants de $\frac{\lambda}{2}$. Dans le mode fondamental, les deux ventres sont aux extrémités de la tige, donc $L = \frac{\lambda}{2}$.

$\lambda = 2L$ dans le mode fondamental (pour l'harmonique de rang n : $L = n\frac{\lambda}{2}$, soit $\lambda = \frac{2L}{n}$).

PIÈGE
Entre un ventre et le nœud voisin, la distance est $\frac{\lambda}{4}$, pas $\frac{\lambda}{2}$. Écrire $L = \lambda$ fait perdre le point et fausse toute la suite.



1.1.5 · Mode fondamental : un nœud au milieu, un ventre à chaque extrémité

1.2.1 Qu'appelle-t-on hauteur d'un son ?

La hauteur d'un son est la fréquence de son mode fondamental. Plus cette fréquence est élevée, plus le son est aigu.

1.2.2 La fréquence du mode fondamental est égale à 2093 Hz. Lequel des deux spectres en fréquence correspond au son émis, sachant qu'il s'agit d'un son pur ?

Un son pur est sinusoïdal : son spectre ne contient qu'un seul pic, à la fréquence du fondamental, sans autre harmonique.

Le spectre du son émis est celui de la **figure 1** (un seul pic à 2093 Hz).

COMPRENDRE
La figure 2 montre un second pic à 4186 Hz $= 2 \times 2093$ Hz : c'est l'harmonique de rang 2, signe d'un son complexe de même hauteur mais de timbre différent.

1.3.1 Vrai ou faux, en justifiant : des tiges de même matériau et de longueurs différentes donnent des notes différentes, la note étant plus grave quand la tige est plus longue.

Dans le mode fondamental, $\lambda = 2L$ (1.1.5) et $\lambda = \dfrac{v}{f_0}$, donc $f_0 = \dfrac{v}{2L}$.

Le matériau est le même, donc v est la même pour toutes les tiges : f_0 est inversement proportionnelle à L. Si L augmente, f_0 diminue et le son est plus grave.

Vrai : $f_0 = \dfrac{v}{2L}$ diminue quand L augmente.

MÉTHODE
Pour un « vrai ou faux » sur l'influence d'un paramètre : écrire la relation littérale, préciser ce qui reste constant, puis conclure sur le sens de variation.

1.3.2 Vrai ou faux, en justifiant : la tige en aluminium donne une note plus aiguë que la tige en laiton de même longueur.

Données utiles $v_{\text{Al}} \approx 4190\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $v_{\text{laiton}} \approx 3470\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

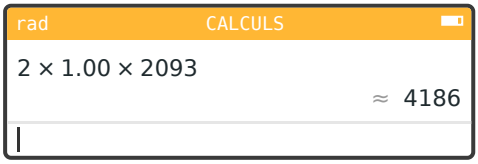
D'après $f_0 = \dfrac{v}{2L}$ (1.3.1), à longueur L égale, f_0 est proportionnelle à v .

Or $v_{\text{Al}} > v_{\text{laiton}}$, donc $f_{0,\text{Al}} > f_{0,\text{laiton}}$: le son de la tige en aluminium a la fréquence la plus élevée.

Vrai : la tige en aluminium donne la note la plus aiguë.

COMPRENDRE
Vérification avec $L = 1{,}00$ m : $v = 2Lf_0 = 4186\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour $f_0 = 2093$ Hz, valeur cohérente avec la vitesse du son dans l'aluminium donnée par le sujet.

À LA CALCULATRICE



2.1 Rappeler la relation qui existe entre la longueur L d'une tige, la vitesse v de propagation de l'onde dans la tige et la fréquence f du son émis.

On a $\lambda = \dfrac{v}{f}$ et, dans le mode fondamental, $\lambda = 2L$ (1.1.5).

$f = \dfrac{v}{2L}$, soit $v = 2\,L\,f$.

2.2 Montrer que la longueur L_1 de la tige n°1 s'écrit $L_1 = \dfrac{L_0}{2^{1/12}}$.

Données utiles $f_1 = 2^{1/12}\,f_0$

Les deux tiges sont faites du même matériau : v est la même. D'après 2.1 :

$$v = 2\,L_0\,f_0 = 2\,L_1\,f_1 \quad \text{donc} \quad L_1 = L_0 \times \frac{f_0}{f_1}$$

Avec $f_1 = 2^{1/12}\,f_0$: $\dfrac{f_0}{f_1} = \dfrac{1}{2^{1/12}}$.

$L_1 = \dfrac{L_0}{2^{1/12}}$, ce qui est la relation attendue.

MÉTHODE
Quand une grandeur est commune à deux situations (ici v), écrire la relation dans chaque cas et les égaler : le produit $L \times f$ est constant d'une tige à l'autre.

2.3 En s'aidant du tableau, quelle serait la fréquence de la tige la plus courte ? Retrouve-t-on la valeur donnée pour la définition de l'octave ?

Données utiles $f_n = 2^{n/12}\,f_0$; $L_n = \dfrac{L_0}{2^{n/12}}$; $f_0 = 2093$ Hz ; tableau : $2^{12/12} = 2{,}00$

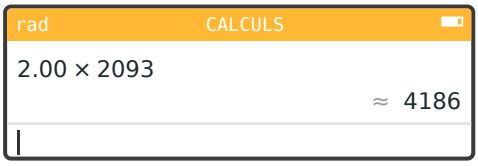
L_n est la plus petite quand $2^{n/12}$ est le plus grand, donc pour $n = 12$: la tige la plus courte est la tige n°12.

$$f_{12} = 2^{12/12}\,f_0 = 2{,}00 \times 2093 = 4186 \text{ Hz}$$

$f_{12} = 4186$ Hz $= 2f_0$: on retrouve la définition de l'octave et la valeur de la figure 3.

COMPRENDRE
$2^{12/12} = 2$ est une valeur exacte : on garde les quatre chiffres de f_0. La tige n°12 mesure $L_{12} = 0{,}50 \times L_0 = 0{,}50$ m : diviser la longueur par deux fait monter d'une octave.

À LA CALCULATRICE



Radars... et effet Doppler

Bac S 2011 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Vrai ou faux, en justifiant : une onde sonore est une onde transversale.

Lors du passage du son, les couches d'air sont comprimées puis dilatées : elles se déplacent parallèlement à la direction de propagation. L'onde sonore est donc longitudinale.

Faux : l'onde sonore est longitudinale.

COMPRENDRE
Transversale : la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation (corde, surface de l'eau). Longitudinale : elle lui est parallèle (son, ressort comprimé).

1.2 Vrai ou faux, en justifiant : une onde mécanique se propage dans un milieu matériel avec transport de matière.

Une onde mécanique a bien besoin d'un milieu matériel, mais chaque point du milieu ne fait qu'osciller autour de sa position d'équilibre, qu'il retrouve après le passage de l'onde. L'onde transporte de l'énergie, pas de la matière.

Faux : propagation sans transport de matière.

PIÈGE
La première moitié de la phrase est juste, la seconde est fausse. Une affirmation partiellement fausse est fausse : il faut dire précisément ce qui ne va pas.

1.3 Vrai ou faux, en justifiant : la longueur d'onde est indépendante du milieu de propagation.

$\lambda = \dfrac{c}{f}$. La fréquence f est imposée par la source, mais la célérité c dépend du milieu (le son est plus rapide dans l'eau que dans l'air). La longueur d'onde dépend donc du milieu.

Faux : c'est la fréquence qui ne dépend pas du milieu.

1.4 Vrai ou faux, en justifiant : un point M situé à 51,0 m de S reproduit le mouvement de la source avec un retard $\Delta t = 1{,}5$ s.

Données utiles $SM = 51{,}0$ m ; $c = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

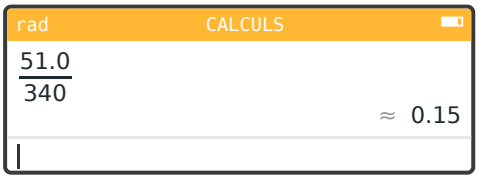
Le retard est la durée mise par l'onde pour aller de S à M :

$$\Delta t = \frac{SM}{c} = \frac{51{,}0}{340} = 0{,}150\ \text{s}$$

Faux : $\Delta t = 0{,}150$ s, dix fois moins que $1{,}5$ s.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : le résultat s'écrit $0{,}150$ s, même si la calculatrice affiche 0,15.

À LA CALCULATRICE



1.5 Vrai ou faux, en justifiant : le front d'onde a parcouru $d = 40{,}0$ m à la date $t = 3T$.

Données utiles $f = 680$ Hz ; $c = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

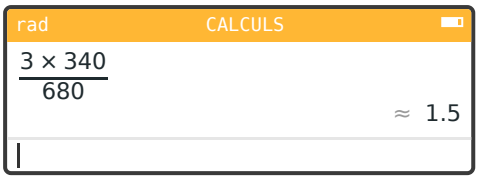
Pendant une période T, l'onde avance d'une longueur d'onde λ. À la date $t = 3T$, le front d'onde a parcouru :

$$d = 3\lambda = \frac{3c}{f} = \frac{3 \times 340}{680} = 1{,}50\ \text{m}$$

Faux : $d = 1{,}50$ m et non $40{,}0$ m.

MÉTHODE
Double périodicité : une durée nT correspond à une distance $n\lambda$. Sur la figure 1, à $t = 4T$, on compte bien quatre cercles espacés de λ.

À LA CALCULATRICE



1.6 Vrai ou faux, en justifiant : deux points distants de $d' = 55{,}0$ m dans la même direction de propagation vibrent en phase.

Données utiles $f = 680$ Hz ; $c = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

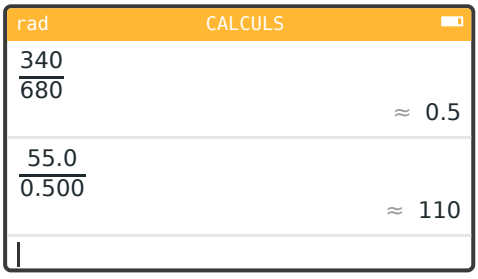
Deux points d'une même direction de propagation vibrent en phase si leur distance est un multiple entier de la longueur d'onde : $d' = n\lambda$.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340}{680} = 0{,}500\ \text{m} \qquad \frac{d'}{\lambda} = \frac{55{,}0}{0{,}500} = 110$$

Vrai : $d' = 110\,\lambda$, avec 110 entier.

PIÈGE
Si le quotient avait été un demi-entier (110,5 par exemple), les deux points auraient vibré en opposition de phase.

À LA CALCULATRICE



1.7 Vrai ou faux, en justifiant : l'onde se réfléchit sur un obstacle situé à $d'' = 680$ m de la source ; l'écho revient à la source 2,0 s après l'émission.

Données utiles $d'' = 680$ m ; $c = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

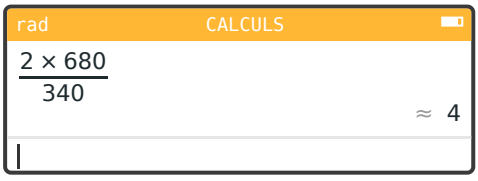
Pour revenir à la source, l'onde fait l'aller puis le retour : elle parcourt $2d''$.

$$\Delta t = \frac{2d''}{c} = \frac{2 \times 680}{340} = 4{,}00\ \text{s}$$

Faux : l'écho revient au bout de $4{,}00$ s.

PIÈGE
2,0 s est la durée de l'aller seul. Oublier le retour est l'erreur classique des questions d'écho (sonar, télémètre, échographie).

À LA CALCULATRICE



2.1 Donner la définition d'un milieu dispersif. L'air est-il un milieu dispersif pour les ondes sonores ?

Un milieu est dispersif si la célérité d'une onde qui s'y propage dépend de sa fréquence.

Dans l'air, tous les sons audibles, graves ou aigus, se propagent à la même célérité.

L'air n'est pas un milieu dispersif pour les ondes sonores.

COMPRENDRE
Si l'air était dispersif, les sons aigus et graves d'un orchestre n'arriveraient pas en même temps au fond de la salle : la musique serait déformée.

2.2.1 Rappeler la relation générale liant la vitesse de propagation, la longueur d'onde et la fréquence.

$\lambda = \dfrac{c}{f}$, soit $c = \lambda \times f$, avec c en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$, λ en m et f en Hz.

2.2.2 En déduire que la relation (1) $\lambda' = \lambda - v\,T$ permet d'écrire $f' = f\,\dfrac{c}{c-v}$.

L'onde perçue se propage toujours dans l'air à la célérité c : $\lambda' = \dfrac{c}{f'}$.

De plus $\lambda = \dfrac{c}{f}$ et $T = \dfrac{1}{f}$.

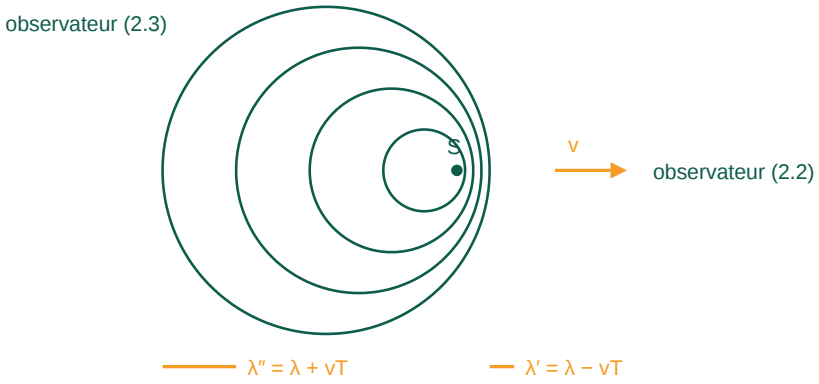
La relation (1) devient :

$$\frac{c}{f'} = \frac{c}{f} - \frac{v}{f} = \frac{c-v}{f}$$

En inversant puis en multipliant par c :

$$f' = f\,\frac{c}{c-v}$$

PIÈGE
La célérité du son ne change pas quand la source bouge : elle ne dépend que du milieu. C'est λ qui est modifiée, donc f'.



2.2.2 · Source en mouvement vers la droite : fronts d'onde resserrés à l'avant, écartés à l'arrière

2.2.3 Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? Justifier.

Comme $0 < v < c$, on a $0 < c - v < c$, donc $\dfrac{c}{c-v} > 1$ et $f' > f$.

La fréquence perçue est plus élevée : le son est **plus aigu** quand le véhicule se rapproche.

2.3.1 Le véhicule s'éloigne de l'observateur à la même vitesse v. Donner, sans démonstration, les expressions de λ'' et de f'' en fonction de f, v et c.

Pendant une période, la source recule de $v\,T$ par rapport à l'observateur : les fronts d'onde sont plus espacés, $\lambda'' = \lambda + v\,T$.

$$\lambda'' = \frac{c+v}{f} \quad \text{et} \quad f'' = f\,\frac{c}{c+v}$$

MÉTHODE
Il suffit de remplacer v par $-v$ dans les relations de la question 2.2. Penser à exprimer λ et T avec c et f, comme l'énoncé le demande.

2.3.2 Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? Justifier.

$c+v > c$, donc $\dfrac{c}{c+v} < 1$ et $f'' < f$.

La fréquence perçue est plus faible : le son est **plus grave** quand le véhicule s'éloigne.

COMPRENDRE
C'est ce qu'on entend au passage d'une ambulance : la sirène est aiguë à l'approche, puis devient brusquement plus grave dès que le véhicule est passé.

2.4 Exprimer, puis estimer en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (valeurs arrondies à l'entier), la vitesse du véhicule qui se rapproche de l'observateur, celui-ci percevant un son de fréquence f'.

Données utiles $f' = 716$ Hz ; $f = 680$ Hz ; $c = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Le véhicule se rapproche : $f' = f\,\dfrac{c}{c-v}$, donc $f'\,(c-v) = f\,c$, soit $f'\,v = c\,(f'-f)$.

$$v = \frac{c\,(f'-f)}{f'} = \frac{340\times(716-680)}{716} \approx 17\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

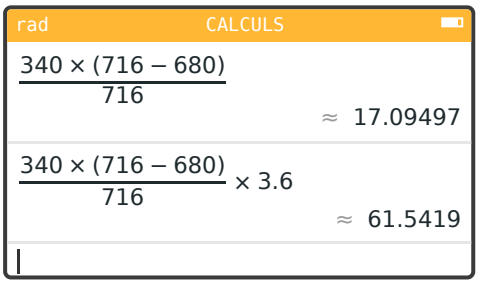
Conversion : $v = 17{,}09 \times 3{,}6 = 61{,}5\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$

$$v = \frac{c\,(f'-f)}{f'} \approx 17\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 62\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$$

PIÈGE
Convertir la valeur déjà arrondie ($17 \times 3{,}6 = 61{,}2$) donne 61 au lieu de 62. On garde la valeur complète dans la calculatrice et on arrondit seulement à la fin.

MÉTHODE
De $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ vers $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: multiplier par 3,6. Un écart de fréquence de seulement 36 Hz suffit à mesurer la vitesse : c'est le principe du radar routier.

À LA CALCULATRICE



Pile au lithium et supercondensateur

Bac S 2011 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1.1 Après avoir donné les expressions littérales, déterminer l'intensité du courant nécessaire à la recharge si elle durait $\Delta t = 20$ s.

Données utiles $Q = 4{,}32\ \text{kC} = 4{,}32 \times 10^3\ \text{C}$; $\Delta t = 20\ \text{s}$

Pour un courant d'intensité constante I, la quantité d'électricité transportée pendant Δt est $Q = I\,\Delta t$, donc

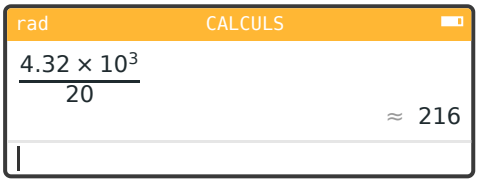
$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{4{,}32 \times 10^3}{20} = 216\ \text{A}$$

$I \approx 2{,}2 \times 10^2$ A

PIÈGE
Laisser Q en kilocoulombs : on trouverait 0,22 A, mille fois trop peu. Q en coulombs, Δt en secondes, I en ampères.

COMPRENDRE
Le résultat garde deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($\Delta t = 20$ s). On conserve 216 A pour d'éventuels calculs intermédiaires.

À LA CALCULATRICE



1.1.2 Les intensités usuellement utilisées au laboratoire permettraient-elles une recharge aussi courte ?

Données utiles $I \approx 2{,}2 \times 10^2$ A (1.1.1)

Au laboratoire, les intensités vont de quelques milliampères à quelques ampères au plus. La valeur trouvée est au moins cent fois plus grande.

Non : les intensités du laboratoire ne permettent pas une recharge en 20 s.

COMPRENDRE
À intensité cent fois plus faible, la durée est cent fois plus longue : avec 2 A il faudrait 2 160 s, soit 36 min.

1.2.1 L'ion lithium du couple $\text{Li}^+(\text{aq})/\text{Li}(\text{aq})$ constitue la borne positive. Écrire l'équation de la réaction à cette électrode et nommer l'électrode.

Lors de la décharge, les électrons arrivent par le circuit extérieur à la borne positive : ils y sont consommés par l'oxydant du couple.

$$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^- = \text{Li}(\text{aq})$$

C'est un gain d'électrons, donc une réduction.

$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^- = \text{Li}(\text{aq})$: l'électrode positive, siège d'une réduction, est la **cathode**.

PIÈGE
Écrire l'oxydation $\text{Li} = \text{Li}^+ + \text{e}^-$: l'énoncé dit que c'est l'ion Li^+, donc l'oxydant, qui réagit à la borne positive.

MÉTHODE
Dans une pile, les électrons vont de la borne $-$ à la borne $+$ par l'extérieur. Borne $+$: réduction, cathode. Borne $-$: oxydation, anode.

1.2.2 La transformation dans la pile est-elle spontanée ou forcée ? Pendant le fonctionnement, le quotient de réaction est-il supérieur ou inférieur à la constante d'équilibre ?

En décharge, l'accumulateur fonctionne en générateur, comme une pile : il fournit de l'énergie électrique sans apport extérieur. La transformation est donc spontanée.

Un système évolue spontanément dans le sens direct tant que $Q_r < K$: Q_r augmente et se rapproche de K.

Transformation **spontanée** ; pendant le fonctionnement $Q_r < K$.

COMPRENDRE
Quand $Q_r = K$, l'équilibre est atteint : plus de courant, la pile est usée. La recharge, elle, est une transformation forcée, imposée par un générateur extérieur.

1.2.3 Pour une décharge totale de l'accumulateur, calculer la quantité d'ions Li^+ consommée.

Données utiles $Q = 4{,}32 \times 10^3$ C ; $1\ F = 96\,500$ C (charge d'une mole d'électrons)

La quantité d'électricité débitée est portée par les électrons échangés : $Q = n(\mathrm{e}^-)\,F$.

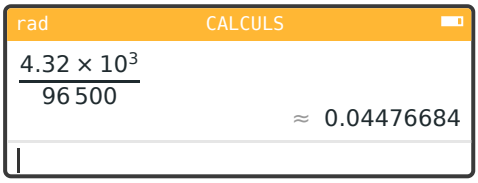
D'après la demi-équation $\mathrm{Li}^+ + \mathrm{e}^- = \mathrm{Li}$, un ion lithium est consommé par électron reçu : $n(\mathrm{Li}^+) = n(\mathrm{e}^-)$.

$$n(\mathrm{Li}^+) = \frac{Q}{F} = \frac{4{,}32 \times 10^3}{96\,500}$$

$\boxed{n(\mathrm{Li}^+) = 4{,}48 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}}$

COMPRENDRE
La masse molaire M_{Li} donnée ne sert pas ici : la question demande une quantité de matière, pas une masse. Une donnée peut être inutile.

À LA CALCULATRICE



2.1 Rappeler l'expression de la constante de temps τ d'un circuit RC et montrer, par analyse dimensionnelle, que τ est homogène à un temps.

$\tau = R\,C$

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

Pour un condensateur, $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$: $[I] = [C]\,\dfrac{[U]}{[T]}$, donc $[C] = \dfrac{[I]\,[T]}{[U]}$.

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

$\boxed{\tau = R\,C \text{ a la dimension d'un temps : } [\tau] = [T].}$

MÉTHODE
Pour chaque grandeur, partir d'une relation connue qui la relie à des tensions, des intensités et des durées, puis simplifier le produit. On peut aussi utiliser $q = C\,u$ et $q = i\,t$.

2.2 Le condensateur est totalement chargé après $\Delta t = 5\,\tau$. En déduire τ puis la capacité C. Cette valeur est-elle fréquente au laboratoire ?

Données utiles $\Delta t = 6$ min ; $R = 1{,}0\ \Omega$

$\Delta t = 6 \times 60 = 360$ s

$$\tau = \frac{\Delta t}{5} = \frac{360}{5} = 72\ \mathrm{s}$$

$$\tau = R\,C \quad \text{donc} \quad C = \frac{\tau}{R} = \frac{72}{1{,}0} = 72\ \mathrm{F}$$

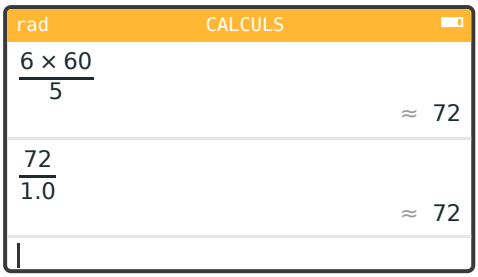
Au laboratoire, les capacités vont du nanofarad au millifarad : 72 F est au moins dix mille fois plus grand.

$\boxed{\tau = 72\ \mathrm{s} \text{ et } C = 72\ \mathrm{F} \text{ : une capacité jamais rencontrée au laboratoire.}}$

PIÈGE
Laisser Δt en minutes : $\tau = 1{,}2$ donnerait $C = 1{,}2$ F, valeur fausse. La seconde est l'unité qui s'accorde avec l'ohm et le farad.

COMPRENDRE
La durée « 6 min » n'a qu'un chiffre significatif : en toute rigueur $\tau \approx 7 \times 10^1$ s et $C \approx 7 \times 10^1$ F. L'ordre de grandeur, plusieurs dizaines de farads, justifie le nom de supercondensateur.

À LA CALCULATRICE



2.3 Rappeler la relation qui lie l'intensité $i(t)$ à la dérivée de la charge $q(t)$ par rapport au temps.

Avec l'orientation du schéma, le courant i arrive sur l'armature qui porte la charge q (convention récepteur) :

$$i(t) = \frac{\mathrm{d}q(t)}{\mathrm{d}t}$$

COMPRENDRE
L'intensité est un débit de charge. Si la flèche de i arrive sur l'armature de charge q, un courant positif fait augmenter q ; avec l'orientation inverse, on aurait $i = -\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$.

2.4 En appliquant la loi des tensions au circuit, établir l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C(t)$.

Interrupteur en position 2 : la maille ne contient que le conducteur ohmique et le condensateur, reliés par un fil.

Loi des mailles : $u_R + u_C = 0$.

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

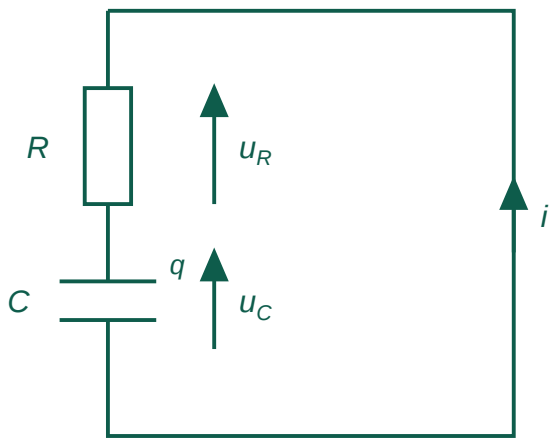
Condensateur : $q = C\,u_C$, donc $i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ car C est constante.

En remplaçant : $R\,C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + u_C = 0$

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{R\,C}\,u_C = 0$$

PIÈGE
Écrire $u_R + u_C = E$: c'est l'équation de la charge. En position 2, le générateur n'est plus dans la maille.

MÉTHODE
Toujours trois étapes : loi des mailles, loi d'Ohm, relation $i = C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$. On élimine i et u_R pour ne garder que u_C.



2.4 · Circuit de décharge (interrupteur en position 2), orienté comme dans le sujet

2.5.1 La solution est de la forme $u_C(t) = A\,\mathrm{e}^{-t/\beta}$. Déterminer l'expression de β.

$\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{A}{\beta}\,\mathrm{e}^{-t/\beta}$. En reportant dans l'équation différentielle :

$$-\frac{RC}{\beta}\,A\,\mathrm{e}^{-t/\beta} + A\,\mathrm{e}^{-t/\beta} = 0 \quad \text{soit} \quad A\,\mathrm{e}^{-t/\beta}\left(1 - \frac{RC}{\beta}\right) = 0$$

Cette égalité doit être vraie à chaque instant, et $A\,\mathrm{e}^{-t/\beta} \neq 0$: il faut $1 - \dfrac{RC}{\beta} = 0$.

$\boxed{\beta = RC}$

COMPRENDRE
β n'est autre que la constante de temps τ de la question 2.1 : elle fixe la rapidité de la décharge.

2.5.2 Déterminer l'expression de A.

Données utiles à $t = 0$, le condensateur est chargé sous la tension E

Condition initiale : $u_C(0) = E$.

Or $u_C(0) = A\,\mathrm{e}^0 = A$.

$\boxed{A = E}$

MÉTHODE
La constante placée devant l'exponentielle se trouve toujours avec la condition initiale ; celle de l'exposant, en reportant la solution dans l'équation différentielle.

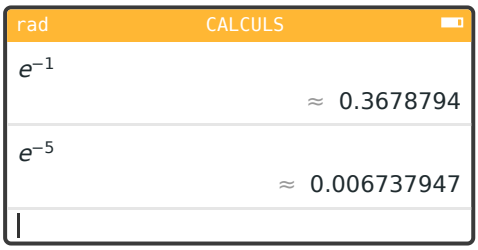
2.5.3 Donner l'expression finale de $u_C(t)$.

Données utiles $\beta = RC$ (2.5.1) ; $A = E$ (2.5.2)

$\boxed{u_C(t) = E\,\mathrm{e}^{-t/(RC)}}$

COMPRENDRE
La tension part de $E = 2{,}5$ V et décroît vers zéro : il reste $37\,\%$ de E à $t = \tau$ et moins de $1\,\%$ à $t = 5\,\tau$.

À LA CALCULATRICE



2.6 Donner l'expression littérale de $i(t)$ en fonction de E, R et C. Quel est le sens réel du courant pendant la décharge ?

Données utiles $u_C(t) = E\,\mathrm{e}^{-t/(RC)}$ (2.5.3)

$$i(t) = C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = C \times \left(-\frac{E}{RC}\right)\mathrm{e}^{-t/(RC)} = -\frac{E}{R}\,\mathrm{e}^{-t/(RC)}$$

E et R sont positifs et l'exponentielle aussi : $i(t) < 0$ à chaque instant.

$\boxed{i(t) = -\dfrac{E}{R}\,\mathrm{e}^{-t/(RC)}}$: le courant réel circule dans le sens **opposé** à la flèche du schéma.

PIÈGE
Oublier le signe moins en dérivant l'exponentielle : on conclurait à tort que le courant suit le sens de la flèche.

COMPRENDRE
Le condensateur joue le rôle de générateur : le courant sort de son armature positive et traverse le conducteur ohmique. Sa charge q diminue, ce qui impose bien $\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} < 0$.

MÉTHODE
Vérification rapide par la loi des mailles : $i = \dfrac{u_R}{R} = -\dfrac{u_C}{R}$, ce qui redonne la même expression sans dériver.