Corrigé complet — Bac S 2008 Métropole (ancien programme)

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

Ex 1	**Spécialité : Vous avez dit WhaWha** Hauteur et timbre d'un son · Période et fréquence · Spectre en fréquence · Fondamental et harmoniques · Onde stationnaire sur une corde · Célérité d'une onde	4 pts	52 min	10 questions	p. 2
Ex 2	**Les couleurs du bleu de bromothymol** Titrage acido-basique · Équivalence · Constante d'acidité et pKA · Absorbance et spectrophotométrie · Diagramme de prédominance · Indicateur coloré	6,5 pts	1 h 18	20 questions	p. 5
Ex 3	**La Terre, une machine thermique** Diagramme (N, Z) · Radioactivité β^- et β^+ · Lois de conservation · Énergie libérée et équivalence masse-énergie · Loi de décroissance radioactive · Demi-vie	4 pts	52 min	11 questions	p. 10
Ex 4	**Un réveil en douceur** Bobine et établissement du courant · Constante de temps · Analyse dimensionnelle · Oscillations électriques amorties · Puissance électrique · Effet Joule	5,5 pts	1 h 05	19 questions	p. 15

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Spécialité : Vous avez dit WhaWha

Bac S 2008 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Quelle est la qualité physiologique commune aux deux sons enregistrés ? Nommer la grandeur physique associée.

Les deux instruments jouent la même note : les deux sons ont la même **hauteur**.

La grandeur physique associée est la fréquence du signal (celle de son fondamental), en hertz.

Qualité commune : la hauteur ; grandeur associée : la fréquence.

COMPRENDRE
Hauteur, timbre et harmoniques ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale. La lecture d'une période et le calcul d'une fréquence, eux, restent exigibles.

1.2 Mesurer cette grandeur en précisant la méthode utilisée. En tenant compte de l'imprécision de la mesure, en déduire la note jouée par les deux instruments.

Données utiles figures 9 et 10 ; tableau des fréquences des cordes à vide

On mesure la durée de plusieurs périodes sur la figure 9, puis on calcule $f = \dfrac{1}{T}$.

Entre le premier grand pic ($t \approx 4$ ms) et le cinquième ($t \approx 40$ ms), il y a 4 périodes : $4T \approx 36$ ms, donc $T = \dfrac{36}{4} = 9{,}0$ ms.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{9{,}0 \times 10^{-3}} = 1{,}1 \times 10^{2}\ \text{Hz}$$

Lecture à 1 ms près sur $4T$: f est comprise entre 108 Hz et 114 Hz. Seule la valeur 110,0 Hz du tableau convient.

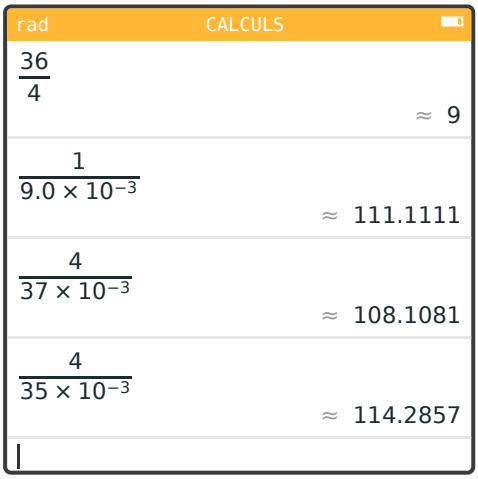
$f \approx 1{,}1 \times 10^{2}$ Hz : la note jouée est le la_1 (110,0 Hz).

PIÈGE
Prendre pour période l'écart entre deux pics voisins de hauteurs différentes. Le motif complet, qui se répète à l'identique, dure environ 9 ms.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, car la durée lue (36 ms) n'en a que deux. Cela suffit : les notes voisines (82,4 Hz et 146,8 Hz) sont très éloignées de la valeur trouvée.

MÉTHODE
Mesurer toujours le plus grand nombre possible de périodes entre deux points homologues (deux pics identiques), puis diviser : l'erreur de lecture est divisée d'autant.

À LA CALCULATRICE



1.3 Quelle qualité physiologique permet de distinguer ces deux sons ?

Les deux signaux ont la même période mais des formes différentes.

Les deux sons se distinguent par leur **timbre**.

COMPRENDRE
Le timbre dépend du nombre et de l'amplitude relative des harmoniques : deux instruments jouant la même note n'ont pas le même spectre.

2.1 Déterminer la valeur approchée de la fréquence f_1 du fondamental à partir de la figure 11. Vérifier la cohérence avec la donnée du texte.

Données utiles corde 6 à vide : mi_3, 329,6 Hz

Le fondamental est le pic de plus basse fréquence : sur la figure 11, $f_1 \approx 0{,}33$ kHz.

La corde 6 à vide donne le mi_3, de fréquence 329,6 Hz : la valeur lue est cohérente.

$f_1 \approx 0{,}33\ \text{kHz} = 3{,}3 \times 10^2$ Hz, en accord avec 329,6 Hz.

MÉTHODE

Pour affiner la lecture, repérer un pic qui tombe sur une graduation : le troisième pic est à 1,0 kHz, donc $f_1 = \dfrac{1{,}0}{3} \approx 0{,}33$ kHz.

2.2 Déterminer les valeurs approchées des fréquences f_2 et f_3 des harmoniques immédiatement supérieurs au fondamental.

Données utiles $f_1 \approx 0{,}33$ kHz (2.1)

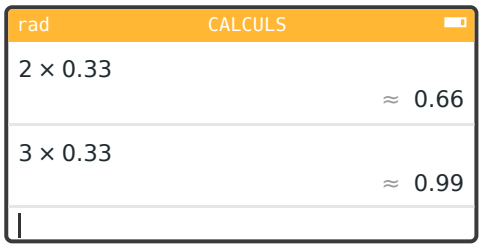
Les fréquences des harmoniques sont des multiples entiers de celle du fondamental : $f_n = n\,f_1$.

$f_2 = 2\,f_1 = 2 \times 0{,}33 = 0{,}66$ kHz

$f_3 = 3\,f_1 = 3 \times 0{,}33 = 0{,}99$ kHz

$f_2 \approx 0{,}66$ kHz et $f_3 \approx 0{,}99$ kHz

À LA CALCULATRICE



2.3 À partir de la condition $2L = k\lambda$, donner l'expression de la longueur d'onde λ du mode fondamental, puis la calculer.

Données utiles $L = 63{,}0$ cm

Le mode fondamental correspond à $k = 1$: $\lambda = 2L$.

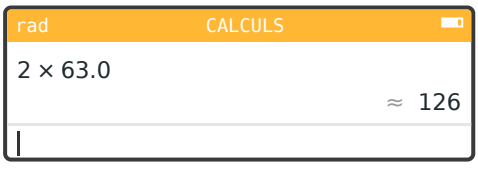
$\lambda = 2 \times 63{,}0 = 126$ cm

$\lambda = 2L = 126\ \text{cm} = 1{,}26$ m

COMPRENDRE

Dans le mode fondamental, la corde forme un seul fuseau entre ses deux extrémités fixes ; un fuseau a pour longueur une demi-longueur d'onde, d'où $L = \dfrac{\lambda}{2}$.

À LA CALCULATRICE



2.4 Écrire la relation entre la longueur d'onde λ, la célérité v et la fréquence f d'une onde sinusoïdale.

La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période $T = \dfrac{1}{f}$: $\lambda = v\,T$.

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

2.5 En déduire la célérité des ondes dans cette corde.

Données utiles $\lambda = 1{,}26$ m (2.3) ; $f_1 \approx 0{,}33$ kHz (2.1)

Pour le mode fondamental : $v = \lambda\,f_1$.

$$v = 1{,}26 \times 0{,}33 \times 10^3 = 4{,}2 \times 10^2\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

$v \approx 4{,}2 \times 10^2\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

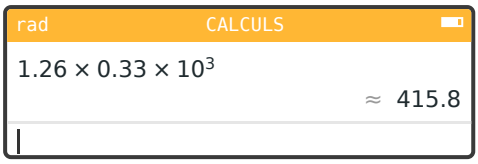
PIÈGE

Laisser λ en centimètres ou f_1 en kilohertz : il faut 1,26 m et 330 Hz pour obtenir des $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

COMPRENDRE

Avec la valeur du tableau, 329,6 Hz, on trouve $415\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. C'est la célérité de l'onde le long de la corde, pas celle du son dans l'air.

À LA CALCULATRICE



2.6 Le guitariste bloque la corde sur une frette. Quel est l'effet produit sur le son ? Justifier, la célérité des ondes le long de la corde étant constante.

Bloquer la corde sur une frette réduit la longueur L de la partie qui vibre, donc $\lambda = 2L$ diminue.

Or $f_1 = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{v}{2L}$ avec v constante : si L diminue, f_1 augmente.

La fréquence du fondamental augmente : le son est plus haut (plus aigu).

COMPRENDRE
f_1 est inversement proportionnelle à L : une corde bloquée en son milieu vibre à une fréquence double, soit une octave au-dessus.

3 En comparant les spectres des figures 11, 12 et 13, préciser les effets de la pédale wha-wha sur les propriétés physiologiques du son.

Sur les trois spectres, le fondamental reste à la même fréquence, $f_1 \approx 0{,}33$ kHz : la hauteur du son n'est pas modifiée.

- Position 1 (figure 12) : les trois premiers pics sont renforcés ; les harmoniques au-delà de 1 kHz ont presque disparu.
- Position 2 (figure 13) : des harmoniques élevés, jusqu'à 4 kHz environ, apparaissent ou sont renforcés.

La pédale ne modifie pas la hauteur du son ; elle modifie son **timbre** (plus sourd en position 1, plus riche en aigus en position 2).

MÉTHODE
Comparer deux spectres en deux temps : la position du premier pic renseigne sur la hauteur, le nombre et les amplitudes relatives des autres pics sur le timbre.

Les couleurs du bleu de bromothymol

Bac S 2008 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

Les ions hydroxyde de la solution S réagissent avec les ions oxonium de l'acide chlorhydrique :

$$HO^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \longrightarrow 2\,H_2O\,(l)$$

PIÈGE
Les ions Na^+ et Cl^- sont spectateurs : ils ne figurent pas dans l'équation.

1.2 Identifier les couples acide/base mis en jeu dans cette réaction.

L'ion H_3O^+ cède un ion H^+ : il est l'acide du couple H_3O^+ / H_2O.
L'ion HO^- capte un ion H^+ : il est la base du couple H_2O / HO^-.

Couples : $H_3O^+\,(aq)$ / $H_2O\,(l)$ et $H_2O\,(l)$ / $HO^-\,(aq)$

COMPRENDRE
Un couple s'écrit toujours acide/base. L'eau est la base du premier couple et l'acide du second : c'est une espèce amphotère.

1.3 Définir l'équivalence d'un titrage.

À l'équivalence, le réactif titré et le réactif titrant ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction support : ils sont tous deux entièrement consommés.

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, le réactif titrant versé est limitant ; après, c'est le réactif titré. L'équivalence est donc aussi le moment où le réactif limitant change.

1.4 Déterminer la concentration molaire C_B d'hydroxyde de sodium de la solution S.

Données utiles $V_S = 10{,}0$ mL ; $C_A = 1{,}00 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; $V_E = 12{,}3$ mL

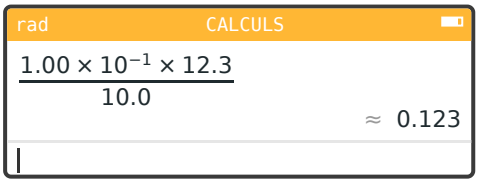
À l'équivalence, d'après l'équation (1 pour 1) : $n(HO^-)_{\text{initial}} = n(H_3O^+)_{\text{versé}}$, soit $C_B\,V_S = C_A\,V_E$.

$$C_B = \frac{C_A\,V_E}{V_S} = \frac{1{,}00 \times 10^{-1} \times 12{,}3}{10{,}0}$$

$$C_B = 1{,}23 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

COMPRENDRE
Les trois données ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. Les deux volumes peuvent rester en mL puisque leur rapport est sans unité.

À LA CALCULATRICE



2.1 Écrire l'équation de la réaction de l'acide HIn avec l'eau.

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

$$HIn\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons In^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

COMPRENDRE
La transformation est limitée : les deux formes HIn et In^- coexistent en solution, d'où la double flèche (le signe « = » dans l'ancien programme).

2.2 Rappeler la définition de la constante d'acidité K_A du couple $\mathrm{HIn} / \mathrm{In}^-$ et donner son expression.

La constante d'acidité K_A est la constante d'équilibre associée à l'équation de la réaction de l'acide du couple avec l'eau. Elle ne dépend que de la température.

$$K_A = \frac{[\mathrm{In}^-]_{\text{éq}} \times [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{HIn}]_{\text{éq}}}$$

PIÈGE
L'eau, solvant, n'apparaît pas dans l'expression. Les concentrations sont celles de l'état d'équilibre.

COMPRENDRE
K_A est sans unité : chaque concentration, exprimée en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, est en réalité divisée par $c^\circ = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

3.1 (3.1.1) Pour quelle longueur d'onde l'absorbance de la forme basique In^- est-elle maximale ?

Sur la figure 1, le sommet de la courbe de In^- ($A \approx 1{,}15$) se situe un peu après la graduation 600 nm.

$\lambda_{\max} \approx 610$ nm

COMPRENDRE
La lecture se fait à une dizaine de nanomètres près : toute valeur comprise entre 605 et 615 nm est acceptable.

3.1.2 Quelle est la couleur de la lumière absorbée correspondante ?

Sur la figure 2, 610 nm se place entre l'orangé (600 nm) et le rouge (750 nm), tout près de l'orangé.

La lumière absorbée est orangée.

3.1.3 En déduire la couleur donnée par la forme basique In^- en solution aqueuse.

La couleur perçue est diamétralement opposée à la couleur absorbée : en face de l'orangé, l'étoile indique le bleu.

La forme basique In^- donne une coloration bleue.

MÉTHODE
Vérifier avec la forme acide : HIn absorbe surtout vers 430 nm (violet-bleu), la couleur opposée est le jaune, comme l'annonce l'énoncé.

3.2 À quelle longueur d'onde λ_0 régler le spectrophotomètre pour que l'absorbance de la forme acide soit quasiment nulle et celle de la forme basique maximale ?

Au maximum d'absorption de In^-, vers 610 nm, la courbe de HIn est confondue avec l'axe des abscisses : son absorbance est quasiment nulle.

$\lambda_0 \approx 610$ nm

COMPRENDRE
À cette longueur d'onde, l'appareil ne « voit » que la forme basique et la sensibilité de la mesure est la meilleure.

3.3.1 Calculer la quantité de matière n_{BBT} de bleu de bromothymol apporté dans chaque solution.

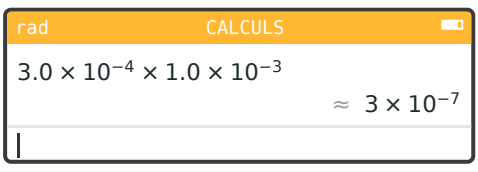
Données utiles $V_0 = 1{,}0$ mL ; $c_0 = 3{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

$$n_{\mathrm{BBT}} = c_0\, V_0 = 3{,}0 \times 10^{-4} \times 1{,}0 \times 10^{-3}$$

$n_{\mathrm{BBT}} = 3{,}0 \times 10^{-7}$ mol

PIÈGE
Le volume V_0 doit être converti en litres : $1{,}0\ \mathrm{mL} = 1{,}0 \times 10^{-3}$ L.

À LA CALCULATRICE



3.3.2 Montrer que la concentration molaire c en bleu de bromothymol apporté dans chaque solution vaut $2{,}7 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $n_{\text{BBT}} = 3{,}0 \times 10^{-7}$ mol (3.3.1) ; $V = 10{,}0$ mL ; $V_0 = 1{,}0$ mL

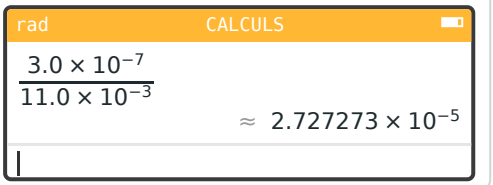
Le volume de chaque solution est $V + V_0 = 11{,}0$ mL.

$$c = \frac{n_{\text{BBT}}}{V + V_0} = \frac{3{,}0 \times 10^{-7}}{11{,}0 \times 10^{-3}} = 2{,}7 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$c = 2{,}7 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$: c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Diviser par $V = 10{,}0$ mL seulement donne $3{,}0 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$: l'ajout de V_0 dilue la solution.

À LA CALCULATRICE



3.3.3 En utilisant la question 3.2, montrer qu'à la longueur d'onde λ_0 l'absorbance des solutions peut s'écrire $A = A_{\text{In}^-}$.

L'absorbance d'une solution est $A = A_{\text{HIn}} + A_{\text{In}^-}$.

D'après 3.2, à la longueur d'onde λ_0, la forme acide n'absorbe quasiment pas : $A_{\text{HIn}} \approx 0$ quelle que soit sa concentration.

$A = A_{\text{In}^-}$

3.3.4 Dans la solution S13, la concentration en HIn est négligeable devant celle en In^-. Quelle est la relation entre $A_{\max}$ et c ?

Dans S13 : $c = [\text{HIn}]_{\text{éq}} + [\text{In}^-]_{\text{éq}} \approx [\text{In}^-]_{\text{éq}}$.

Or $A = k\,[\text{In}^-]_{\text{éq}}$, donc pour cette solution :

$A_{\max} = k\,c$

COMPRENDRE
À pH = 9,5, tout l'indicateur est sous forme basique : l'absorbance ne peut plus augmenter, ce que confirme le palier du tableau (1,094 dès S12).

3.3.5 Montrer que dans les solutions étudiées $[\text{In}^-]_{\text{éq}} = \dfrac{A}{A_{\max}}\,c$.

Pour une solution quelconque : $A = k\,[\text{In}^-]_{\text{éq}}$ (3.3.3). Pour S13 : $A_{\max} = k\,c$ (3.3.4).

Les cuves et la longueur d'onde étant les mêmes, k est identique. Le quotient membre à membre donne $\dfrac{A}{A_{\max}} = \dfrac{[\text{In}^-]_{\text{éq}}}{c}$.

$$[\text{In}^-]_{\text{éq}} = \frac{A}{A_{\max}}\,c$$

MÉTHODE
Diviser deux relations de proportionnalité élimine la constante inconnue k : c'est le principe de tout dosage par comparaison à une solution de référence.

3.4.1 Pour quelle valeur de pH a-t-on $[\text{HIn}]_{\text{éq}} = [\text{In}^-]_{\text{éq}}$? Trouver alors la relation entre le pH et le $\text{p}K_A$, puis en déduire le $\text{p}K_A$ du bleu de bromothymol à 25 °C.

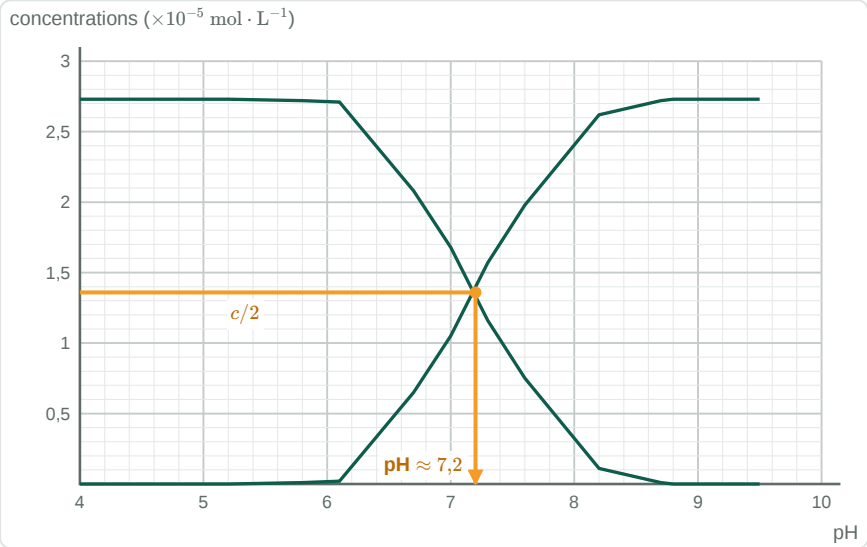
Sur la figure 3, les deux courbes se coupent au point d'abscisse pH $\approx$ 7,2.

En ce point $[\text{In}^-]_{\text{éq}} = [\text{HIn}]_{\text{éq}}$, et l'expression de 2.2 se simplifie : $K_A = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$.

Donc $-\log K_A = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$, c'est-à-dire $\text{p}K_A = \text{pH}$.

$$\text{p}K_A = \text{pH} \approx 7{,}2$$

COMPRENDRE
À l'intersection, chaque forme représente la moitié de l'indicateur : l'ordonnée vaut $c/2 \approx 1{,}4 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, ce qui permet de contrôler la lecture.



3.4.1 · Figure 3 reconstruite à partir du tableau (courbe décroissante : HIn ; courbe croissante : In^-), avec la lecture du point d'intersection

3.4.2 Donner le diagramme de prédominance des espèces acide et basique du bleu de bromothymol et y ajouter les couleurs de la solution.

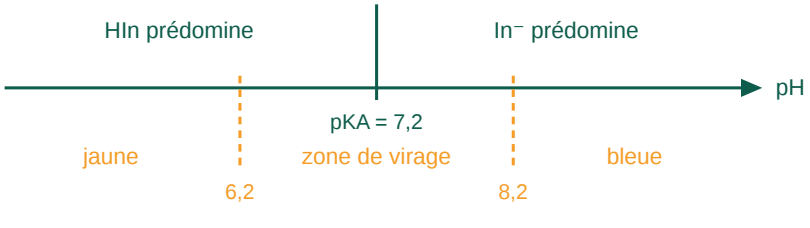
Données utiles $\text{p}K_A = 7{,}2$ (3.4.1) ; teinte acide si pH $< \text{p}K_A - 1$; teinte basique si pH $> \text{p}K_A + 1$

HIn prédomine pour pH $< \text{p}K_A = 7{,}2$ et In^- prédomine pour pH $> 7{,}2$.

Limites des teintes : $\text{p}K_A - 1 = 6{,}2$ et $\text{p}K_A + 1 = 8{,}2$.

Solution jaune pour pH $< 6{,}2$; bleue pour pH $> 8{,}2$ (diagramme ci-contre).

PIÈGE
Ne pas confondre la frontière de prédominance (pH $= \text{p}K_A$) avec les limites des teintes ($\text{p}K_A \pm 1$) : une espèce peut prédominer sans imposer seule sa couleur.



3.4.2 · Diagramme de prédominance du bleu de bromothymol et teintes de la solution

3.4.3 Quelle est la couleur de la solution de bleu de bromothymol dans la zone de virage ?

Entre pH = 6,2 et pH = 8,2, les formes jaune (HIn) et bleue (In^-) sont présentes en quantités comparables : leurs couleurs se superposent.

Dans la zone de virage, la solution est verte.

COMPRENDRE
Le tableau le confirme : les solutions S6 à S9, de pH compris entre 6,7 et 7,6, sont vertes.

4.1 Quelle est la couleur de la solution contenue dans l'erlenmeyer avant l'équivalence ? Comment repère-t-on l'équivalence ?

Avant l'équivalence, les ions HO^- sont en excès dans l'erlenmeyer : le milieu est nettement basique (pH $> 8{,}2$), la solution est bleue.

Solution bleue avant l'équivalence ; l'équivalence est repérée par le changement de couleur : la solution vire du bleu au vert, puis au jaune dès la goutte suivante.

PIÈGE
C'est la solution basique qui est dans l'erlenmeyer : le pH diminue au cours du titrage, le virage se fait donc du bleu vers le jaune, pas l'inverse.

4.2 Le pH à l'équivalence est égal à 7. Pourquoi peut-on affirmer que le bleu de bromothymol convient pour ce titrage ?

Un indicateur coloré convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence.

Zone de virage du bleu de bromothymol : de 6,2 à 8,2 ; pH à l'équivalence : 7.

$6{,}2 < 7 < 8{,}2$: le pH à l'équivalence appartient à la zone de virage, le bleu de bromothymol convient.

COMPRENDRE
Autour de l'équivalence, le pH chute brutalement de plusieurs unités : il traverse toute la zone de virage en une goutte, d'où un changement de couleur net.

La Terre, une machine thermique

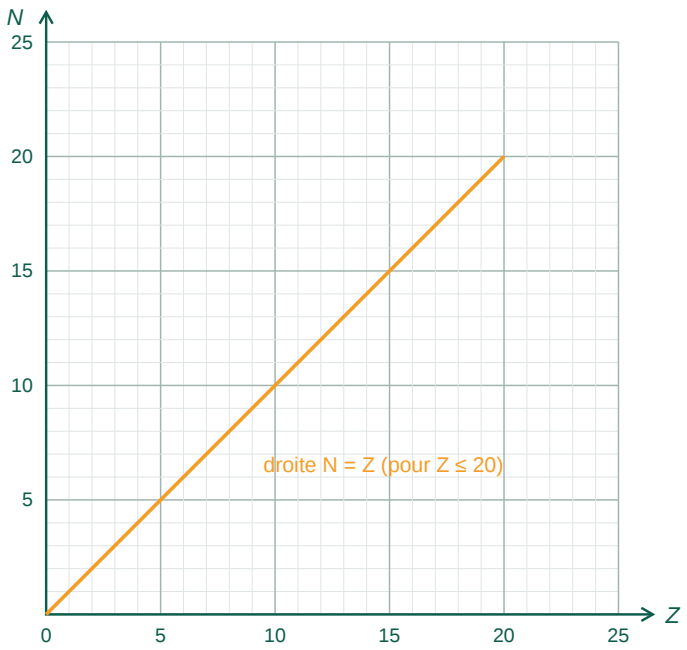
Bac S 2008 Métropole (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Sur le diagramme (N, Z) de l'annexe, tracer la droite sur laquelle se situent les noyaux stables de numéro atomique $Z \leqslant 20$.

Ces noyaux vérifient $N = Z$: ils sont sur la droite passant par l'origine et par le point $(Z = 20\ ;\ N = 20)$, première bissectrice du repère.

Droite d'équation $N = Z$, tracée de $Z = 0$ à $Z = 20$ (voir annexe).

PIÈGE
Prolonger la droite au-delà de $Z = 20$: la condition de stabilité $N = Z$ n'est donnée que jusqu'à ce numéro atomique.



1.1.1 · Annexe complétée : droite des noyaux stables

1.1.2 Placer sur le diagramme les noyaux de potassium 40 et de calcium 40, puis indiquer lesquels sont stables ou instables.

Données utiles $Z(\mathrm{K}) = 19$; $Z(\mathrm{Ca}) = 20$; nombre de nucléons $A = 40$

Nombre de neutrons : $N = A - Z$.

Potassium 40 : $N = 40 - 19 = 21$, point $(Z = 19\ ;\ N = 21)$.

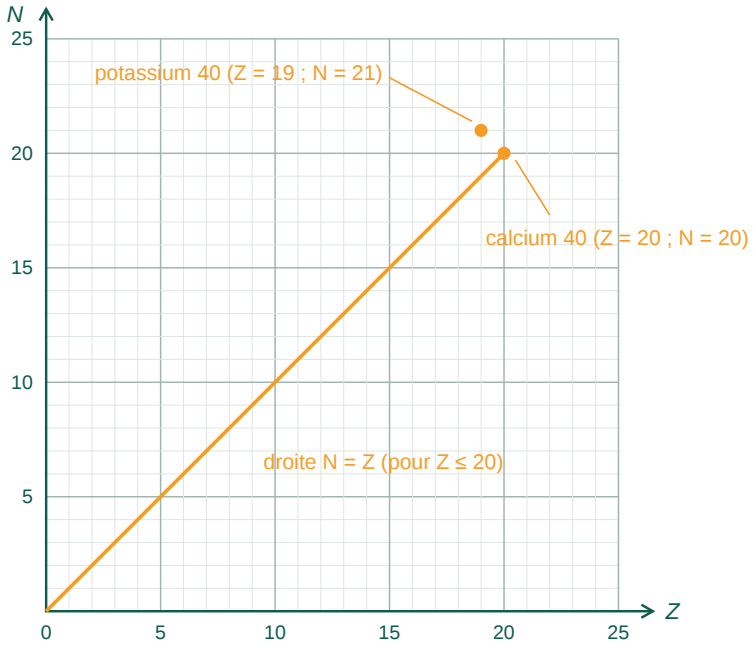
Calcium 40 : $N = 40 - 20 = 20$, point $(Z = 20\ ;\ N = 20)$.

Le point du calcium 40 appartient à la droite $N = Z$; celui du potassium 40 est au-dessus de cette droite $(N > Z)$.

Le calcium 40 est stable ; le potassium 40 est instable.

PIÈGE
Lire 40 comme un nombre de neutrons. C'est le nombre de nucléons A : il faut retrancher Z avant de placer le point.

COMPRENDRE
Au-dessus de la droite, le noyau a un excès de neutrons par rapport aux protons. La désintégration le ramène vers la zone de stabilité.



1.1.2 · Annexe complétée : positions des deux noyaux

1.1.3 Écrire l'équation de la désintégration du potassium 40 en calcium 40 en précisant les lois de conservation utilisées. Déterminer le type de radioactivité.

On note ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ la particule émise : ${}^{40}_{19}\mathrm{K} \longrightarrow {}^{40}_{20}\mathrm{Ca} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

Conservation du nombre de nucléons : $40 = 40 + A$, donc $A = 0$.

Conservation de la charge électrique : $19 = 20 + Z$, donc $Z = -1$.

La particule émise est un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$.

${}^{40}_{19}\mathrm{K} \longrightarrow {}^{40}_{20}\mathrm{Ca} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$: radioactivité β^-.

COMPRENDRE
Un neutron du noyau se transforme en proton : Z augmente d'une unité, A ne change pas. C'est cohérent avec la position du potassium 40 au-dessus de la droite $N = Z$.

MÉTHODE
Poser une particule inconnue, puis écrire une égalité pour les nombres du haut (nucléons) et une pour ceux du bas (charges). Le couple trouvé identifie la particule, donc le type de radioactivité.

1.2.1 Le potassium 40 peut aussi se désintégrer en argon 40 en émettant une particule ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$. Quel est le type de radioactivité correspondant ?

La particule ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$ porte une charge $+e$ et ne contient aucun nucléon : c'est un positon.

Radioactivité β^+ (émission d'un positon).

PIÈGE
Confondre ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$ (positon, β^+) et ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$ (électron, β^-) : tout se joue sur le signe du nombre de charge.

1.2.2 Déterminer l'énergie libérée lors de cette désintégration, en joules puis en mégaélectronvolts.

Données utiles $m(\mathrm{K}) = 6{,}636182 \times 10^{-26}$ kg ; $m(\mathrm{Ar}) = 6{,}635913 \times 10^{-26}$ kg ; $m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}$ kg ; $c = 3{,}0 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}6 \times 10^{-19}$ J

La masse des produits est inférieure à celle du noyau père ; la masse perdue est

$$|\Delta m| = m(\mathrm{K}) - m(\mathrm{Ar}) - m_e$$

$$|\Delta m| = (6{,}636182 - 6{,}635913) \times 10^{-26} - 9{,}1 \times 10^{-31}$$

$$|\Delta m| = 1{,}78 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

Énergie libérée : $E_{\text{lib}} = |\Delta m|\, c^2$

$$E_{\text{lib}} = 1{,}78 \times 10^{-30} \times (3{,}0 \times 10^{8})^2 = 1{,}6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

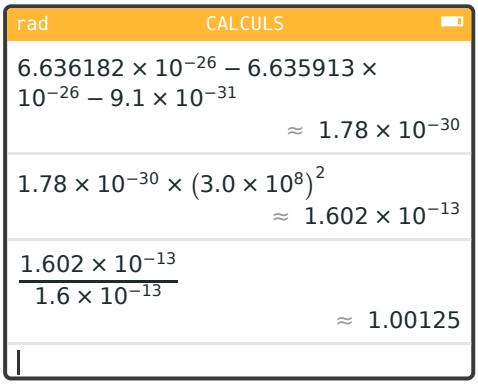
Comme $1 \text{ MeV} = 10^{6} \text{ eV} = 1{,}6 \times 10^{-13}$ J : $E_{\text{lib}} = \dfrac{1{,}6 \times 10^{-13}}{1{,}6 \times 10^{-13}} = 1{,}0$ MeV.

$E_{\text{lib}} = 1{,}6 \times 10^{-13} \text{ J} = 1{,}0 \text{ MeV}$

PIÈGE
Oublier la masse du positon : on trouverait $2{,}4 \times 10^{-13}$ J. Autre faute fréquente : arrondir les masses des noyaux, alors que la différence ne porte que sur leurs derniers chiffres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme m_e, c et l'électronvolt. La variation d'énergie du système est négative ($-1{,}6 \times 10^{-13}$ J) ; l'énergie « libérée », cédée à l'extérieur, se donne en valeur positive.

À LA CALCULATRICE



2.1 Choisir le ou les adjectifs relatifs à la désintégration d'un noyau radioactif donné : a) prévisible dans le temps ; b) spontanée ; c) aléatoire.

La désintégration se produit sans intervention extérieure, et il est impossible de prévoir l'instant où un noyau donné se désintégrera.

Réponses b) spontanée et c) aléatoire.

COMPRENDRE
Seul le comportement d'un très grand nombre de noyaux est prévisible : c'est ce que traduit la loi de décroissance. Pour un noyau isolé, on ne connaît qu'une probabilité de désintégration par unité de temps.

2.2.1 Donner l'expression de la loi de décroissance radioactive du nombre de noyaux N au cours du temps et rappeler l'unité SI de la constante radioactive λ.

En prenant $t_0 = 0$ comme origine des dates :

$N(t) = N_0\, \mathrm{e}^{-\lambda t}$, avec λ en s^{-1}.

COMPRENDRE
L'exposant λt doit être sans unité : avec t en secondes, λ est l'inverse d'un temps.

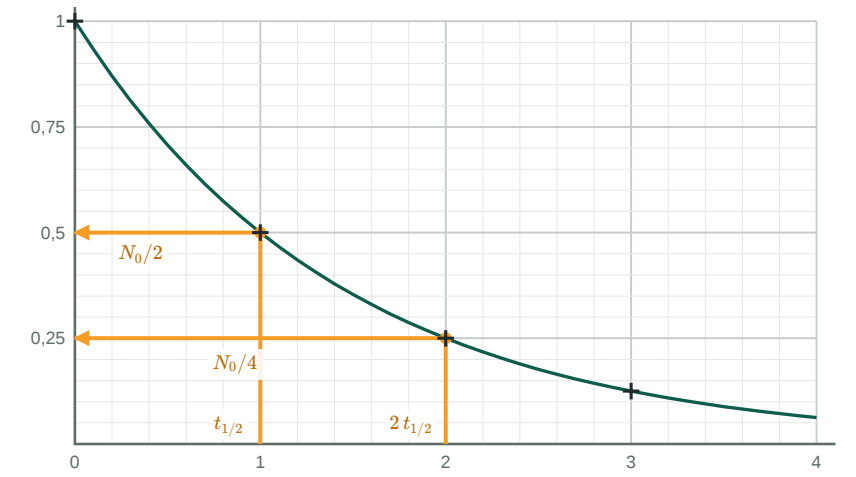
2.2.2 Tracer l'allure de la courbe représentant N en fonction du temps et placer au moins deux points remarquables.

La courbe est une exponentielle décroissante, qui part de N_0 à $t = 0$ et tend vers 0.

À chaque demi-vie $t_{1/2}$ écoulée, N est divisé par deux :

Points remarquables : $(0\ ;\ N_0)$, $\left(t_{1/2}\ ;\ \dfrac{N_0}{2}\right)$, $\left(2\,t_{1/2}\ ;\ \dfrac{N_0}{4}\right)$, $\left(3\,t_{1/2}\ ;\ \dfrac{N_0}{8}\right)$.

PIÈGE
Tracer une droite, ou faire toucher l'axe des temps à la courbe : N s'approche de zéro sans l'atteindre.



2.2.2 · Allure de $N(t)$ et points remarquables

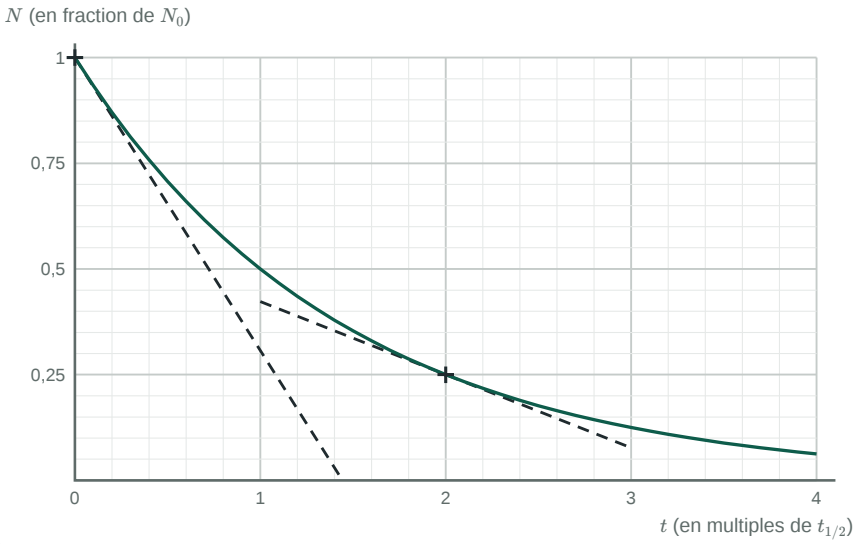
2.2.3 À quel instant la décroissance radioactive est-elle la plus rapide ? Justifier à partir du graphique tracé.

La rapidité de la décroissance à un instant se lit sur la pente de la tangente à la courbe en ce point : c'est la valeur de $\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}$, négative.

La tangente est la plus inclinée à l'origine des dates, puis elle se rapproche de l'horizontale quand t augmente.

La décroissance est la plus rapide à l'instant initial $t = 0$.

COMPRENDRE
En dérivant la loi, $\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = -\lambda N$: le nombre de désintégrations par seconde est proportionnel au nombre de noyaux restants, donc maximal quand $N = N_0$.



2.2.3 · Tangentes à la courbe : la plus inclinée est celle de l'origine des dates

2.3 Déterminer, à l'aide du texte, la durée au bout de laquelle les trois quarts des noyaux d'uranium 238 présents aujourd'hui auront disparu.

Données utiles texte : la quantité d'uranium 238 diminue de moitié tous les 4,5 milliards d'années

Le texte donne la demi-vie de l'uranium 238 : $t_{1/2} = 4{,}5$ milliards d'années.

Si les trois quarts des noyaux ont disparu, il en reste un quart : $N = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$.

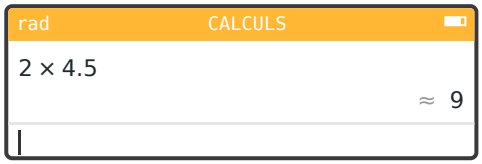
Le nombre de noyaux a été divisé deux fois par deux, ce qui demande deux demi-vies : $\Delta t = 2\,t_{1/2} = 2 \times 4{,}5$.

$\Delta t = 9{,}0$ milliards d'années.

PIÈGE

Répondre $\frac{3}{4} \times 4{,}5$ ou $1{,}5 \times 4{,}5$ milliards d'années : la décroissance n'est pas proportionnelle au temps. Il faut raisonner sur les noyaux restants.

À LA CALCULATRICE



2.4 Choisir la proposition correcte, en justifiant par une courte phrase issue du texte : la croissance des continents explique a) l'augmentation du nombre de noyaux radioactifs dans le manteau ; b) une diminution plus rapide de ce nombre ; c) la décroissance radioactive de l'uranium dans le manteau.

D'après le texte, le matériel continental a intégré, pendant sa formation, de plus en plus d'uranium, de thorium et de potassium, « appauvrissant ainsi le manteau en noyaux radioactifs ».

Ces noyaux quittent donc le manteau pour la croûte : cette perte s'ajoute à la décroissance radioactive.

Proposition b) : une diminution plus rapide du nombre de noyaux radioactifs dans le manteau.

COMPRENDRE

La proposition c) est fausse : la désintégration est spontanée, aucun phénomène géologique ne la provoque ni ne modifie sa constante λ.

Un réveil en douceur

Bac S 2008 Métropole (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 À la fermeture de K, quelle lampe s'allume la première ? Pourquoi l'autre s'allume-t-elle avec retard ?

La lampe (L_1), en série avec le conducteur ohmique, brille immédiatement.

La lampe (L_2) est en série avec la bobine : celle-ci s'oppose à la variation de l'intensité du courant qui la traverse, donc le courant s'installe progressivement dans cette branche.

(L_1) s'allume la première ; (L_2) est retardée par la bobine, qui freine l'établissement du courant.

PIÈGE
Écrire que la bobine « bloque » le courant. Elle ne fait que retarder son établissement : l'intensité part de zéro et augmente de façon continue.

COMPRENDRE
La bobine et les circuits RL ou RLC ne figurent plus au programme actuel de spécialité. L'exercice reste un bon entraînement : régime transitoire, constante de temps, analyse dimensionnelle, puissance.

1.2 Nommer les deux régimes observés successivement pour le courant dans la branche contenant la bobine.

D'abord le **régime transitoire** : l'intensité augmente.

Ensuite le **régime permanent** : l'intensité garde une valeur constante.

Régime transitoire, puis régime permanent.

1.3 Que peut-on dire de la luminosité des deux lampes en fin d'expérience ? Justifier.

Données utiles $r = R_1 = 7\ \Omega$; lampes identiques

En fin d'expérience le régime permanent est atteint : i est constante, donc $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$.

La tension aux bornes de la bobine, $u_L = r\,i + L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$, se réduit à $u_L = r\,i$: la bobine se comporte comme un conducteur ohmique de résistance r.

Les deux branches, soumises à la même tension E_1, ont alors la même résistance ($R_1 + R_{\text{lampe}} = r + R_{\text{lampe}}$) : elles sont parcourues par la même intensité.

Les deux lampes brillent de la même façon.

MÉTHODE
En régime permanent continu, remplacer mentalement toute bobine par sa seule résistance r (un simple fil si elle est idéale), puis raisonner comme avec des conducteurs ohmiques.

1.4.1 Exprimer la constante de temps τ en fonction de L et de R.

$$\tau = \frac{L}{R}$$

PIÈGE
Confondre avec le circuit RC, où $\tau = RC$. Ici la résistance est au dénominateur : plus elle est grande, plus le courant s'établit vite.

1.4.2 Vérifier par analyse dimensionnelle que cette expression est homogène à un temps.

Bobine idéale : $u = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$, donc $[L] = \dfrac{[U]\cdot[T]}{[I]}$.

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

$$\left[\frac{L}{R}\right] = \frac{[U]\cdot[T]}{[I]} \times \frac{[I]}{[U]} = [T]$$

$\dfrac{L}{R}$ a la dimension d'un temps : l'expression est homogène.

MÉTHODE
Pour la dimension d'une grandeur électrique, partir d'une relation du cours qui la contient ($u = Ri$, $u = L\,\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$, $i = C\,\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$) et tout ramener à $[U]$, $[I]$ et $[T]$.

1.4.3 Justifier par un calcul d'ordre de grandeur que le phénomène est détectable par un observateur.

Données utiles $L = 1$ H ; $R \approx 10\ \Omega$; durée d'établissement $\approx 5\tau$; l'œil sépare deux images distantes d'au moins $0{,}1$ s

$\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{1}{10} = 0{,}1$ s

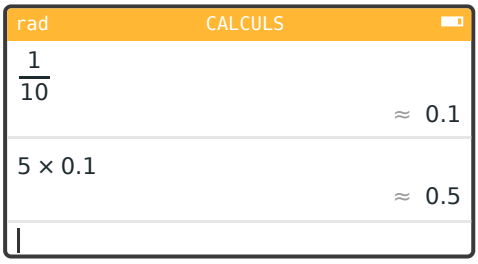
La luminosité maximale est atteinte au bout d'environ $5\tau = 5 \times 0{,}1 = 0{,}5$ s.

Cette durée dépasse $0{,}1$ s, plus petit écart de temps que l'œil distingue.

$5\tau \approx 0{,}5$ s $> 0{,}1$ s : le retard à l'allumage de (L_2) est visible à l'œil nu.

COMPRENDRE
Les données ($L = 1$ H, $R \approx 10\ \Omega$) n'ont qu'un chiffre significatif : on demande un ordre de grandeur, un seul chiffre suffit au résultat.

À LA CALCULATRICE



2.1 Comment nomme-t-on le régime correspondant à cette évolution de $u_C(t)$?

La tension oscille autour de zéro avec une amplitude qui diminue au cours du temps.

C'est le régime **pseudo-périodique**.

COMPRENDRE
Avec une résistance beaucoup plus grande, la tension reviendrait à zéro sans osciller : ce serait le régime apériodique.

2.2 Quelle est la cause, en termes d'énergie, de l'amortissement des oscillations ?

La bobine possède une résistance r. À chaque passage du courant, une partie de l'énergie électrique du circuit y est dissipée par effet Joule, sous forme de transfert thermique vers l'extérieur.

L'amortissement vient de la dissipation d'énergie par effet Joule dans la résistance r de la bobine.

2.3 Qualifier l'évolution temporelle de l'énergie totale du circuit : périodique, croissante, décroissante, sinusoïdale ?

L'énergie totale (condensateur et bobine) diminue sans cesse puisqu'elle est dissipée par effet Joule et que rien ne la renouvelle.

L'énergie totale est **décroissante** (seul adjectif à retenir).

PIÈGE
Répondre « périodique » ou « sinusoïdale ». C'est u_C qui oscille ; l'énergie totale, elle, ne remonte jamais.

2.4 Déterminer la pseudo-période T des oscillations, puis l'inductance L de la bobine.

Données utiles $C = 22\ \mu\text{F}$; $T \approx T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$; figure 6

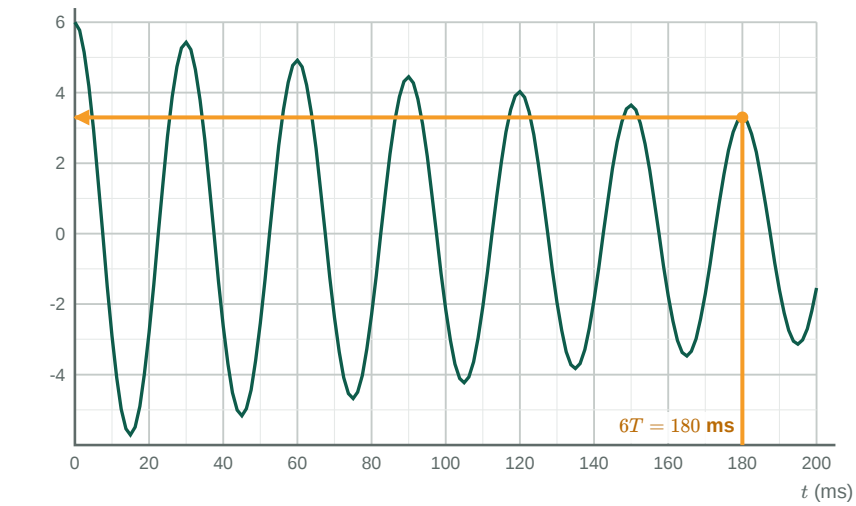
Sur la figure 6, le premier maximum est à $t = 0$ et le septième à $t = 180$ ms, soit six pseudo-périodes :

$$T = \frac{180}{6} = 30\ \text{ms} = 3{,}0 \times 10^{-2}\ \text{s}$$

L'amortissement est faible, donc $T \approx T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$. En élevant au carré : $T^2 = 4\pi^2\, L\, C$, d'où

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2\, C} = \frac{(3{,}0 \times 10^{-2})^2}{4\pi^2 \times 22 \times 10^{-6}} = 1{,}0\ \text{H}$$

$T = 30$ ms et $L = 1{,}0$ H

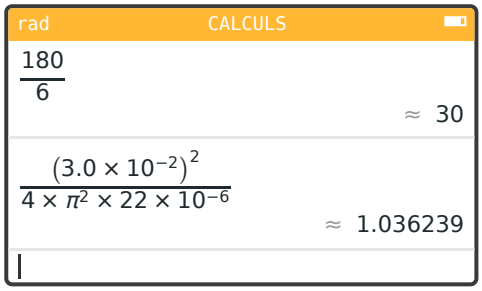


2.4 · Figure 6 du sujet : six pseudo-périodes entre le premier et le septième maximum

PIÈGE
Laisser T en millisecondes ou C en microfarads : L ne sort en henrys qu'avec T en secondes et C en farads.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs pseudo-périodes d'un coup, puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur l'ensemble. Deux chiffres significatifs, comme C et la lecture de T.

À LA CALCULATRICE



2.5 La valeur de L calculée est-elle compatible avec les données du constructeur ?

Données utiles constructeur : $L = 1$ H ; $L = 1{,}0$ H (2.4)

Le constructeur annonce $L = 1$ H et la mesure donne $L = 1{,}0$ H : les deux valeurs coïncident.

Oui, la valeur mesurée est compatible avec celle du constructeur.

3.1 De quelle(s) manière(s) l'énergie électrique reçue par la lampe est-elle transférée à l'environnement ?

Le filament, porté à haute température par le passage du courant, cède son énergie à l'environnement : par **rayonnement** (lumière visible et infrarouge) ;

et par **transfert thermique** (le filament chauffe l'ampoule et l'air qui l'entoure).

Transfert par rayonnement et transfert thermique.

3.2 À quels points du circuit brancher (Y_1), (Y_2) et (M) pour enregistrer u_{R_0} et u_{BD} ?

Une voie mesure la tension entre sa borne et la masse. Les flèches de u_{R_0} et de u_{BD} partent toutes les deux de D : $u_{R_0} = u_{CD}$ et u_{BD} ont D pour point commun.

La masse (M) se branche donc en D ; une voie en C donne u_{R_0}, l'autre en B donne u_{BD}.

(M) en D ; (Y_1) en C pour u_{R_0} ; (Y_2) en B pour u_{BD}.

MÉTHODE
La masse va au point commun aux deux tensions, à la base des flèches ; chaque voie va à la pointe de la flèche de la tension à mesurer.

3.3.1 Exprimer la tension $u(t) = u_{BC}$ aux bornes de la lampe à partir de u_{R_0} et u_{BD}.

Additivité des tensions : $u_{BD} = u_{BC} + u_{CD}$, avec $u_{CD} = u_{R_0}$.

$$u(t) = u_{BC} = u_{BD} - u_{R_0}$$

3.3.2 Exprimer l'intensité $i(t)$ du courant électrique.

Loi d'Ohm pour le conducteur ohmique, traversé par i de C vers D : $u_{R_0} = R_0\, i(t)$.

$$i(t) = \frac{u_{R_0}}{R_0}$$

COMPRENDRE
Une interface ne mesure que des tensions. La tension aux bornes d'un conducteur ohmique, proportionnelle à i, sert d'image de l'intensité.

3.3.3 Exprimer la puissance électrique $p(t)$ reçue par la lampe.

$p(t) = u(t) \cdot i(t)$, avec les expressions de 3.3.1 et 3.3.2 :

$$p(t) = (u_{BD} - u_{R_0})\,\frac{u_{R_0}}{R_0}$$

3.4 Pourquoi les élèves ont-ils choisi un conducteur ohmique de résistance très faible ?

Données utiles $R_0 = 1\ \Omega$

Ce conducteur ohmique ne sert qu'à mesurer l'intensité. Plus la résistance totale du circuit est grande, plus l'intensité en régime permanent est faible, et moins la lampe brille.

Avec R_0 très faible, l'intensité est presque la même que sans lui et la puissance qu'il dissipe par effet Joule ($R_0\, i^2$) reste petite.

R_0 est faible pour perturber le moins possible le circuit : la lampe garde presque tout son éclat.

3.5 À partir de la figure 8, déterminer la durée nécessaire pour que la puissance atteigne 90 % de sa valeur maximale.

Données utiles figure 8 : palier $p_{\max} = 11{,}2$ W

Sur la figure 8, la puissance se stabilise à $p_{\max} = 11{,}2$ W.

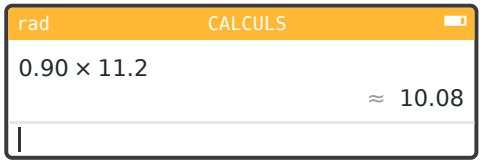
$0{,}90 \times p_{\max} = 0{,}90 \times 11{,}2 = 10{,}1$ W

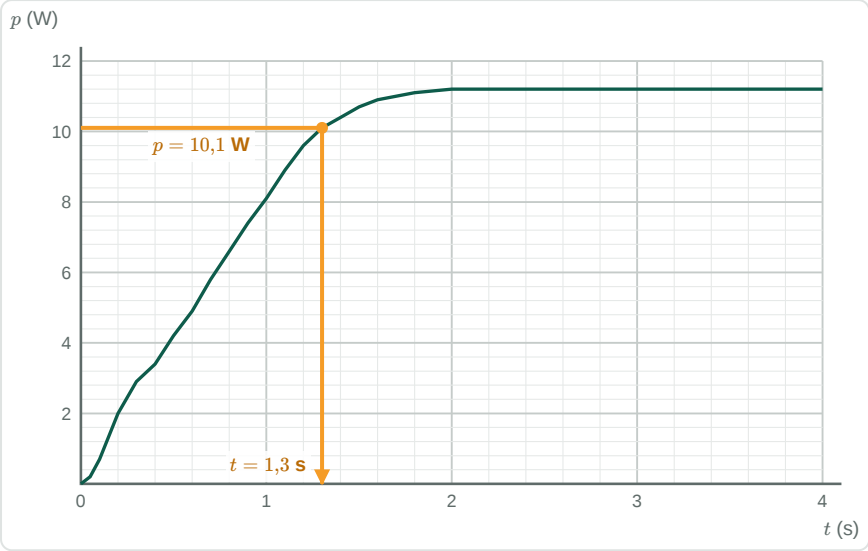
La courbe atteint cette valeur à la date $t = 1{,}3$ s.

Durée nécessaire au réveil : $\Delta t \approx 1{,}3$ s

PIÈGE
Lire la date à laquelle le palier est atteint (environ 2 s) au lieu de celle où p vaut 90 % du palier.

À LA CALCULATRICE





3.5 · Figure 8 du sujet, avec la lecture à 90 % de la puissance maximale

3.6 Cette durée convient-elle à une « lampe à diffusion douce » ? Quels paramètres modifier pour contrôler la durée du phénomène ?

Données utiles $\Delta t \approx 1{,}3$ s (3.5)

Non : la lampe atteint presque tout son éclat en à peine plus d'une seconde, ce qui est bien trop rapide pour un réveil progressif.

La durée du régime transitoire est de l'ordre de 5τ avec $\tau = \dfrac{L}{R_{\text{tot}}}$, où R_{tot} est la résistance totale du circuit. Pour l'allonger, il faut augmenter L ou diminuer R_{tot}.

Durée incompatible (trop courte) ; paramètres à régler : l'inductance L et la résistance totale du circuit.

COMPRENDRE

Pour un allumage étalé sur plusieurs minutes, il faudrait une inductance des centaines de fois plus grande : irréaliste avec une simple bobine.