Corrigé complet — Bac S 2011 Centres étrangers (ancien programme)

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

Ex 1	**Les Curie** Radioactivité α et β+ · Lois de conservation · Rayonnement γ · Énergie libérée et perte de masse · Activité et demi-vie	5,5 pts	1 h 05	13 questions	p. 2
Ex 2	**Chimie au quotidien: des expériences de chimie réalisables chez-soi** Pile et force électromotrice · Demi-équations d'oxydoréduction · Quantité d'électricité et constante de Faraday · Préparation d'une solution par dissolution · Quotient de réaction et sens d'évolution · Électrolyse à anode soluble	6,5 pts	1 h 05	19 questions	p. 6
Ex 3	**Le laser au quotidien** Diffraction par un fil · Relation entre longueur d'onde et fréquence · Écart angulaire θ = λ/a · Indice de réfraction · Longueur d'onde dans un milieu transparent	4 pts	52 min	11 questions	p. 11
Ex 4	**Spécialité : La physique du vide grenier !** Période et fréquence d'un son · Modulation d'amplitude · Taux de modulation et surmodulation · Spectre d'un signal modulé · Circuit LC accordé · Détecteur d'enveloppe	4 pts	52 min	12 questions	p. 14

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

Les Curie

Bac S 2011 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 1 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Donner la définition du becquerel, unité de mesure utilisée en radioactivité.

Le becquerel (Bq) est l'unité de l'activité d'un échantillon radioactif.

$1\ \text{Bq}$ = une désintégration par seconde.

1.2.1 Donner la composition du noyau de radium 226.

Données utiles $^{226}_{88}\text{Ra}$

Dans l'écriture $^{A}_{Z}\text{X}$, $Z = 88$ est le nombre de protons et $A = 226$ le nombre de nucléons. Nombre de neutrons : $A - Z = 226 - 88 = 138$.

Le noyau de radium 226 contient **88 protons** et **138 neutrons**.

PIÈGE
Annoncer 226 neutrons : A compte tous les nucléons, protons compris. Un noyau ne contient pas d'électrons.

1.2.2 Écrire l'équation de la réaction de désintégration du radium et préciser le type de radioactivité.

Données utiles $^{226}_{88}\text{Ra}$; $^{222}_{86}\text{Rn}$

On note $^{A}_{Z}\text{X}$ la particule émise avec le radon : $^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^{A}_{Z}\text{X}$.

Conservation du nombre de nucléons : $226 = 222 + A$, donc $A = 4$.

Conservation du nombre de charge : $88 = 86 + Z$, donc $Z = 2$.

La particule émise est un noyau d'hélium 4, appelé particule α.

$^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^{4}_{2}\text{He}$: radioactivité α.

MÉTHODE
Pour toute équation nucléaire : écrire la particule inconnue $^{A}_{Z}\text{X}$, appliquer les deux lois de conservation (lois de Soddy), puis identifier la particule grâce à Z.

1.2.3 Expliquer la présence du rayonnement γ émis lors de la désintégration du radium. Quelle information fournit-elle sur le noyau ?

Données utiles $\lambda = 6{,}54 \times 10^{-12}$ m ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

Le noyau de radon formé est dans un état excité, noté $^{222}_{86}\text{Rn}^{*}$. Il revient à son état fondamental en cédant son excédent d'énergie sous la forme d'un photon γ :

$$^{222}_{86}\text{Rn}^{*} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + \gamma$$

L'énergie de ce photon est égale à l'écart entre les deux niveaux d'énergie du noyau de radon :

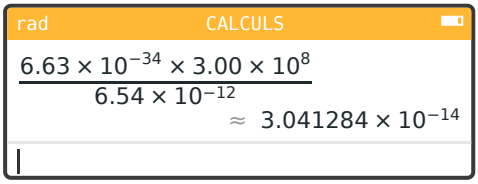
$$\Delta E = \frac{h\,c}{\lambda} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{6{,}54 \times 10^{-12}} = 3{,}04 \times 10^{-14}\ \text{J}$$

Le rayonnement γ montre que le noyau fils est produit dans un état excité ; sa longueur d'onde donne l'énergie d'excitation, $\Delta E = 3{,}04 \times 10^{-14}$ J.

PIÈGE
Faire figurer le rayonnement γ comme origine de la désintégration. Il en est la conséquence : il n'est émis qu'après, par le noyau fils, et ne change ni A ni Z.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme h, c et λ. Comme pour l'atome, les niveaux d'énergie du noyau sont quantifiés : le photon émis a une longueur d'onde bien définie.

À LA CALCULATRICE



1.3 Déterminer, en joules, l'énergie E libérée par la désintégration d'un noyau de radium.

Données utiles $m(\text{Ra}) = 225{,}9791$ u ; $m(\text{Rn}) = 221{,}9703$ u ; $m(\text{He}) = 4{,}00150$ u ; $1\text{ u} = 1{,}66606 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

Variation de masse au cours de la désintégration :

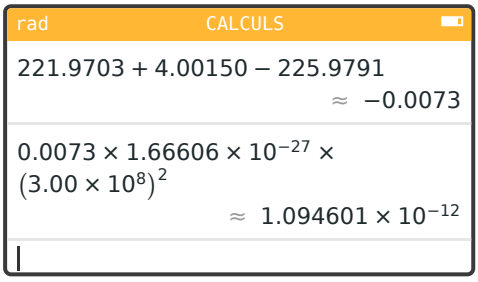
$\Delta m = m(\text{Rn}) + m(\text{He}) - m(\text{Ra}) = 221{,}9703 + 4{,}00150 - 225{,}9791 = -0{,}0073$ u

La masse diminue : l'énergie libérée vaut $E = |\Delta m|\, c^2$, avec $|\Delta m|$ en kilogrammes.

$$E = 0{,}0073 \times 1{,}66606 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2$$

$E = 1{,}1 \times 10^{-12}$ J

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Arrondir les masses avant de les soustraire : toute l'information est dans les dernières décimales. Laisser Δm en u dans $E = |\Delta m|\, c^2$ donne un résultat faux.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : la soustraction de masses connues à 10^{-4} u près ne laisse que $0{,}0073$ u. La variation d'énergie du système, $\Delta m\, c^2$, est négative ; l'énergie libérée, reçue par l'extérieur, est positive.

COMPRENDRE
La valeur de l'unité de masse atomique donnée par le sujet est inexacte (valeur admise : $1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg). On applique la donnée de l'énoncé ; avec deux chiffres significatifs, le résultat est le même.

1.4.1 Déterminer le nombre N de noyaux de radium présents dans l'échantillon de 1,00 g.

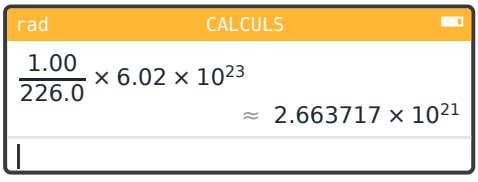
Données utiles $m = 1{,}00$ g ; $M = 226{,}0$ g · mol^{-1} ; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}

Quantité de matière de radium : $n = \dfrac{m}{M}$. Nombre de noyaux : $N = n\, N_A$, soit

$$N = \frac{m}{M}\, N_A = \frac{1{,}00}{226{,}0} \times 6{,}02 \times 10^{23}$$

$N = 2{,}66 \times 10^{21}$ noyaux

À LA CALCULATRICE



COMPRENDRE
Autre chemin possible : diviser la masse de l'échantillon par celle d'un noyau, $225{,}9791$ u convertie en grammes. On obtient aussi $2{,}66 \times 10^{21}$ noyaux.

1.4.2 Calculer le temps de demi-vie $t_{1/2}$ du radium et vérifier que $t_{1/2} = 1{,}58 \times 10^{3}$ années.

Données utiles $A = 3{,}70 \times 10^{10}$ Bq ; $N = 2{,}66 \times 10^{21}$ (1.4.1) ; $\lambda\, t_{1/2} = \ln 2$; 1 an = 365,25 j

L'activité est liée au nombre de noyaux par $A = \lambda\, N$, donc $\lambda = \dfrac{A}{N}$.

Avec $\lambda\, t_{1/2} = \ln 2$: $\quad t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda} = \dfrac{N \ln 2}{A}$

$$t_{1/2} = \frac{2{,}66 \times 10^{21} \times \ln 2}{3{,}70 \times 10^{10}} = 4{,}98 \times 10^{10}\text{ s}$$

Une année dure $365{,}25 \times 24 \times 3600 = 3{,}156 \times 10^{7}$ s, d'où $t_{1/2} = \dfrac{4{,}98 \times 10^{10}}{3{,}156 \times 10^{7}}$.

$t_{1/2} = 1{,}58 \times 10^{3}$ années : c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Diviser par 365,25 seulement : on convertit des secondes en années, il faut aussi le facteur 24×3600. L'activité en becquerels impose λ en s^{-1}, donc $t_{1/2}$ en secondes.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2.66 \times 10^{21} \times \ln(2)}{3.70 \times 10^{10}} \approx 4.983166 \times 10^{10}$

$365.25 \times 24 \times 3600 \approx 3.15576 \times 10^{7}$

$\dfrac{4.98 \times 10^{10}}{3.156 \times 10^{7}} \approx 1577.947$

1.4.3 Au bout de combien de temps les trois quarts des noyaux de radium seront-ils désintégrés ?

Données utiles $t_{1/2} = 1{,}58 \times 10^3$ années (1.4.2)

Si les $\dfrac{3}{4}$ des noyaux sont désintégrés, il en reste $\dfrac{1}{4}$: $N(t) = \dfrac{N_0}{4} = \dfrac{N_0}{2^2}$.

Le nombre de noyaux restants est divisé par 2 à chaque demi-vie : il est divisé par 4 au bout de deux demi-vies.

$t = 2\,t_{1/2} = 2 \times 1{,}58 \times 10^3$

$t = 3{,}16 \times 10^3$ années

PIÈGE
Répondre $1{,}5\,t_{1/2}$ en raisonnant par proportionnalité. La décroissance est exponentielle : on raisonne sur les noyaux restants, pas sur les noyaux désintégrés.

MÉTHODE
Vérification par la loi de décroissance : $N_0\,e^{-\lambda t} = \dfrac{N_0}{4}$ donne $t = \dfrac{\ln 4}{\lambda} = \dfrac{2\ln 2}{\lambda} = 2\,t_{1/2}$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2 \times 1.58 \times 10^{3} \approx 3160$

2.1.1 Quelle est la différence entre la radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle ?

Dans les deux cas, un noyau instable se désintègre spontanément. La différence porte sur l'origine du noyau.

- Radioactivité naturelle : le noyau radioactif existe dans la nature (radium 226, uranium, polonium).
- Radioactivité artificielle : le noyau radioactif n'existe pas dans la nature, il a été fabriqué par l'homme (phosphore 30).

La différence est l'origine du noyau radioactif : présent dans la nature, ou produit artificiellement.

PIÈGE
Écrire que la désintégration artificielle est « provoquée ». Seule la fabrication du noyau l'est : une fois produit, le phosphore 30 se désintègre spontanément, comme le dit le texte.

2.1.2 Pourquoi le phosphore 30 est-il dit isotope du phosphore 31 ?

Données utiles ${}^{30}_{15}\mathrm{P}$; ${}^{31}_{15}\mathrm{P}$

Les deux noyaux ont le même nombre de protons, $Z = 15$: ils appartiennent au même élément, le phosphore. Ils n'ont pas le même nombre de neutrons : $30 - 15 = 15$ pour le phosphore 30, $31 - 15 = 16$ pour le phosphore 31.

Même nombre de protons (15), nombres de neutrons différents (15 et 16) : ce sont des isotopes.

2.2.1 Donner le nom et le symbole de la particule émise lors d'une désintégration β^+.

La particule émise est un **positon** (ou positron), de symbole ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$.

COMPRENDRE
Le positon est l'antiparticule de l'électron : même masse, charge opposée $+e$. L'écriture $Z = 1$ traduit cette charge, pas la présence d'un proton, puisque $A = 0$.

2.2.2 Écrire l'équation de la désintégration du phosphore 30 en indiquant les lois utilisées.

Données utiles ${}^{30}_{15}\mathrm{P}$; ${}^{30}_{14}\mathrm{Si}$; positon ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$ (2.2.1)

Lois utilisées (lois de Soddy) :

- conservation du nombre de nucléons : $30 = 30 + 0$;
- conservation du nombre de charge : $15 = 14 + 1$.

$${}^{30}_{15}\mathrm{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\mathrm{Si} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$$

COMPRENDRE
Le nombre de nucléons ne change pas mais Z diminue d'une unité : dans le noyau, un proton s'est transformé en neutron.

2.2.3 Y a-t-il émission d'un rayonnement lors de la désintégration du phosphore 30 ? Justifier.

D'après le texte, le noyau de silicium 30 est obtenu directement dans son état fondamental. Il n'est pas excité : il n'a aucun excédent d'énergie à céder sous forme de photon.

Il n'y a pas d'émission de rayonnement γ ; seul un positon est émis.

MÉTHODE
Même raisonnement qu'en 1.2.3, en sens inverse : rayonnement γ si le noyau fils est formé excité, aucun s'il est formé dans son état fondamental.

Chimie au quotidien: des expériences de chimie réalisables chez-soi

Bac S 2011 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1.1 Quel autre nom donne-t-on à la tension à vide d'une pile ?

La tension à vide d'une pile est sa **force électromotrice** (f.é.m.), notée E ; ici $E = 0{,}84\ \text{V}$.

1.1.2 Déterminer la polarité de la pile au niveau de la pièce et du trombone. Justifier.

Données utiles indication du voltmètre : $+0{,}84\ \text{V}$; sur la figure 1, la borne COM est reliée au trombone et la borne V à la pièce.

Un voltmètre affiche la tension $U = V_{\text{borne V}} - V_{\text{COM}}$. Ici la borne V est reliée à la pièce et la borne COM au trombone :

$U = V_{\text{pièce}} - V_{\text{trombone}} = +0{,}84\ \text{V} > 0$, donc $V_{\text{pièce}} > V_{\text{trombone}}$.

La pièce en cuivre est le pôle **positif** de la pile, le trombone en zinc le pôle **négatif**.

MÉTHODE
Valeur positive au voltmètre : la borne V est du côté du pôle $+$, la borne COM du côté du pôle $-$. Valeur négative : c'est l'inverse.

1.2.1 Comment peut-on mettre en évidence expérimentalement la présence de dihydrogène ?

On recueille le gaz dans un tube à essais, puis on présente une flamme (allumette enflammée) à l'ouverture du tube.

Une légère détonation, appelée « aboiement », caractérise le dihydrogène.

1.2.2 Écrire les équations des réactions ayant lieu à chaque électrode, en précisant le type de réaction (oxydation ou réduction) et le nom de chaque électrode.

Données utiles couples $\text{Zn}^{2+}\,(\text{aq})\ /\ \text{Zn}\,(\text{s})$ et $\text{H}^{+}\,(\text{aq})\ /\ \text{H}_2\,(\text{g})$; effervescence de dihydrogène sur la pièce ; pièce : pôle $+$ (1.1.2)

Sur la pièce (pôle $+$), du dihydrogène se forme : les ions H^{+} captent des électrons.

$$2\,\text{H}^{+}\,(\text{aq}) + 2\,\text{e}^{-} = \text{H}_2\,(\text{g})$$

C'est une **réduction** : la pièce est la **cathode**.

Sur le trombone (pôle $-$), le zinc cède les électrons qui partent dans le circuit :

$$\text{Zn}\,(\text{s}) = \text{Zn}^{2+}\,(\text{aq}) + 2\,\text{e}^{-}$$

C'est une **oxydation** : le trombone est l'**anode**.

Pièce : réduction de H^{+}, cathode. Trombone : oxydation de Zn, anode.

PIÈGE
Associer « anode » à « pôle $+$ » par habitude. L'anode est l'électrode où se produit l'oxydation : pôle $-$ dans une pile, pôle relié au $+$ du générateur dans une électrolyse.

COMPRENDRE
Le cuivre de la pièce ne réagit pas : il sert seulement de conducteur où arrivent les électrons. Dans une pile, les électrons sortent par le pôle $-$, donc l'oxydation a lieu au pôle $-$.

1.2.3 En déduire l'équation de la réaction globale se produisant au cours du fonctionnement de cette pile.

Chaque demi-équation échange 2 électrons : on les additionne.

$$\text{Zn}\,(\text{s}) + 2\,\text{H}^{+}\,(\text{aq}) = \text{Zn}^{2+}\,(\text{aq}) + \text{H}_2\,(\text{g})$$

1.2.4 D'où proviennent les ions $H^+(aq)$ présents dans les réactifs ?

Ils proviennent du jus de citron, solution acide (il contient notamment de l'acide citrique) dans laquelle plongent les deux électrodes.

1.2.5 Parmi le vinaigre, l'eau sucrée et le jus d'orange, quelle(s) solution(s) aurai(en)t pu remplacer le citron ? Justifier.

La pile consomme des ions $H^+(aq)$: il faut une solution acide.

Le vinaigre (acide éthanoïque) et le jus d'orange (acide citrique) sont acides. L'eau sucrée n'est pas acide ; elle ne contient d'ailleurs pas d'ions, donc elle conduit très mal le courant.

Le **vinaigre** et le **jus d'orange** conviennent, pas l'eau sucrée.

1.2.6 Comment obtenir, avec le matériel disponible, un dispositif délivrant une tension à vide deux fois plus grande ?

Données utiles $E = 0{,}84$ V pour une pile ; plusieurs citrons, pièces, trombones et fils disponibles

On fabrique une seconde pile identique (un autre citron, une pièce, un trombone) et on associe les deux piles en **série** : un fil relie le trombone de la première à la pièce de la seconde. Les tensions s'ajoutent.

Deux piles au citron en série : $2 \times 0{,}84 = 1{,}68$ V, soit environ 1,7 V.

PIÈGE
Planter deux pièces et deux trombones dans le même citron, ou relier les deux pièces entre elles : les tensions ne s'ajoutent pas. Il faut relier le pôle $-$ d'une pile au pôle $+$ de l'autre.

1.3.1 Quelle quantité d'électricité Q est débitée par la pile pendant la durée Δt ?

Données utiles $I = 10$ mA ; $\Delta t = 5$ min 30 s

$Q = I \times \Delta t$ avec $I = 10 \times 10^{-3}$ A et $\Delta t = 5 \times 60 + 30 = 330$ s.

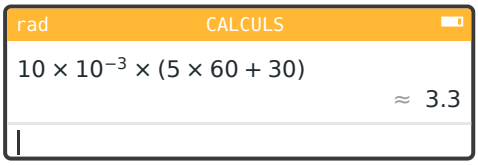
$Q = 10 \times 10^{-3} \times 330$

$Q = 3{,}3$ C

PIÈGE
Laisser l'intensité en mA ou la durée en minutes : le coulomb est un ampère-seconde.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $I = 10$ mA, la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



1.3.2 Déterminer n, la quantité de matière de zinc consommée au cours du fonctionnement de la pile. Justifier.

Données utiles $Q = 3{,}3$ C (1.3.1) ; $F = 96\,500$ C · mol^{-1}

La charge débitée est portée par les électrons échangés : $Q = n(e^-) \times F$.

D'après $Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$, chaque atome de zinc consommé libère 2 électrons : $n(e^-) = 2\,n$.

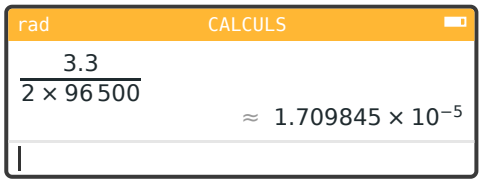
Donc $Q = 2\,n\,F$, soit $n = \dfrac{Q}{2F} = \dfrac{I \times \Delta t}{2F}$.

$$n = \frac{3{,}3}{2 \times 96\,500}$$

$n = 1{,}7 \times 10^{-5}$ mol

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : on obtiendrait la quantité d'électrons, pas celle de zinc.

À LA CALCULATRICE



1.3.3 En déduire la variation de masse Δm du trombone pendant la durée de fonctionnement Δt.

Données utiles $n = 1{,}71 \times 10^{-5}$ mol (1.3.2, valeur non arrondie) ; $M(\text{Zn}) = 65{,}4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Le zinc du trombone est consommé : sa masse diminue de $m_{\text{conso}} = n \times M(\text{Zn})$.

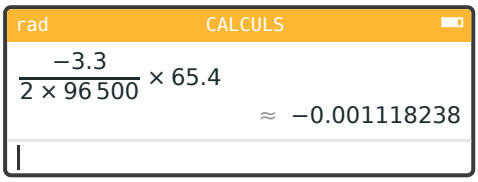
$\Delta m = m_{\text{finale}} - m_{\text{initiale}} = -n \times M(\text{Zn})$

$\Delta m = -1{,}71 \times 10^{-5} \times 65{,}4 = -1{,}1 \times 10^{-3}$ g

$\boxed{\Delta m = -1{,}1 \text{ mg}}$

COMPRENDRE
Une variation se calcule « final moins initial » : elle est négative pour un réactif. La perte est infime, la pile au citron peut fonctionner longtemps avant d'user le trombone.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Déterminer la masse m de bouillie bordelaise à prélever pour préparer $V = 250$ mL de solution de sulfate de cuivre de concentration $C = 1{,}0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles bouillie à 80 % en masse de CuSO_4 ; $M(\text{Cu}) = 63{,}5$; $M(\text{S}) = 32{,}1$; $M(\text{O}) = 16{,}0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse molaire : $M(\text{CuSO}_4) = 63{,}5 + 32{,}1 + 4 \times 16{,}0 = 159{,}6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Masse de sulfate de cuivre nécessaire : $m(\text{CuSO}_4) = C \times V \times M(\text{CuSO}_4)$.

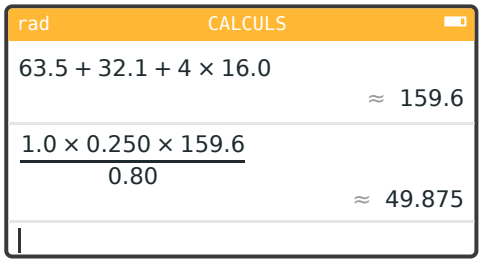
Cette masse ne représente que 80 % de la masse de poudre : $m(\text{CuSO}_4) = 0{,}80\, m$, donc

$$m = \frac{C \times V \times M(\text{CuSO}_4)}{0{,}80} = \frac{1{,}0 \times 0{,}250 \times 159{,}6}{0{,}80}$$

$\boxed{m = 50 \text{ g}}$

PIÈGE
Multiplier par $0{,}80$ au lieu de diviser. La poudre n'est pas pure : il en faut plus que les 40 g de CuSO_4 nécessaires, pas moins.

À LA CALCULATRICE



2.1.2 Indiquer le protocole expérimental pour préparer l'électrolyte avec le matériel d'un laboratoire de lycée.

Données utiles $m = 50$ g (2.1.1) ; $V = 250$ mL

1. Placer une coupelle sur une balance, faire la tare, puis peser 50 g de bouillie bordelaise avec une spatule. 2. Verser la poudre dans une fiole jaugée de 250 mL à l'aide d'un entonnoir ; rincer la coupelle et l'entonnoir à l'eau déminéralisée en récupérant l'eau de rinçage dans la fiole. 3. Remplir la fiole aux trois quarts d'eau déminéralisée, boucher et agiter jusqu'à dissolution. 4. Compléter jusqu'au trait de jauge (bas du ménisque), boucher et homogénéiser.

$\boxed{\text{Dissolution de } 50 \text{ g de poudre en fiole jaugée de } 250 \text{ mL.}}$

MÉTHODE
Dissolution : balance et fiole jaugée. Dilution : pipette jaugée et fiole jaugée. Dans les deux cas, on agite avant de compléter au trait, puis on homogénéise.

2.2.1 Écrire l'équation de la réaction qui modélise la transformation. Préciser l'oxydant et le réducteur.

Données utiles couples $Cu^{2+}(aq)$ / $Cu(s)$ et $Fe^{2+}(aq)$ / $Fe(s)$; du cuivre se dépose sur la clé en fer

Du cuivre métallique apparaît : $Cu^{2+}(aq) + 2\,e^- = Cu(s)$.

Les électrons sont fournis par le fer de la clé : $Fe(s) = Fe^{2+}(aq) + 2\,e^-$.

$Cu^{2+}(aq) + Fe(s) = Cu(s) + Fe^{2+}(aq)$; l'**oxydant** est l'ion Cu^{2+} (il capte des électrons), le **réducteur** est le fer Fe (il en cède).

2.2.2 Calculer le quotient de réaction initial $Q_{r,i}$ et justifier le caractère spontané de cette transformation.

Données utiles $K = 10^{26}$; $[Cu^{2+}]_i = C = 1{,}0\ mol \cdot L^{-1}$; pas d'ions Fe^{2+} au départ

Les solides n'apparaissent pas dans le quotient de réaction :

$$Q_{r,i} = \frac{[Fe^{2+}]_i}{[Cu^{2+}]_i} = \frac{0}{1{,}0} = 0$$

car la solution ne contient initialement aucun ion fer(II).

$Q_{r,i} < K$: le système évolue spontanément dans le sens direct, celui de la formation du cuivre.

$Q_{r,i} = 0 < K = 10^{26}$: la transformation est spontanée dans le sens direct.

COMPRENDRE
Le sujet imprime « K = 1026 » : il faut lire 10^{26}. Une constante aussi grande indique en plus une réaction quasi totale.

2.2.3 Le dépôt de cuivre sur la clé interrompt la réaction : proposer une explication.

La réaction exige un contact entre les ions Cu^{2+} de la solution et le fer, pour que les électrons passent de l'un à l'autre.

Dès que la couche de cuivre recouvre toute la clé, elle isole le fer de la solution : les réactifs ne sont plus en contact et la transformation s'arrête.

2.3.1 Sur quelle électrode doit se faire le dépôt de cuivre ? Écrire l'équation de la réaction à cette électrode.

On veut cuivrer la clé : le dépôt doit se former sur la **clé**.

$$Cu^{2+}(aq) + 2\,e^- = Cu(s)_{clé}$$

Dépôt sur la clé, par réduction des ions Cu^{2+} : la clé est la **cathode**.

2.3.2 En déduire l'équation de la réaction à l'autre électrode et montrer que le bilan de l'électrolyse est $Cu^{2+}(aq) + Cu(s)_{pièces} = Cu(s)_{clé} + Cu^{2+}(aq)$.

Une réduction a lieu sur la clé, donc une oxydation a lieu sur la pièce en cuivre (anode). Le seul couple en jeu est Cu^{2+} / Cu :

$$Cu(s)_{pièce} = Cu^{2+}(aq) + 2\,e^-$$

En additionnant les deux demi-équations (2 électrons échangés de chaque côté) :

$Cu^{2+}(aq) + Cu(s)_{pièce} = Cu(s)_{clé} + Cu^{2+}(aq)$

COMPRENDRE
« Anode soluble » : la pièce se dissout peu à peu. Chaque ion Cu^{2+} consommé sur la clé est remplacé par un ion formé à l'anode : la concentration de l'électrolyte reste constante.

2.3.3 Compléter le schéma de la figure 2 : placer les fils électriques et la pile de 4,5 V en précisant sa polarité, et indiquer le déplacement des charges lors de l'électrolyse.

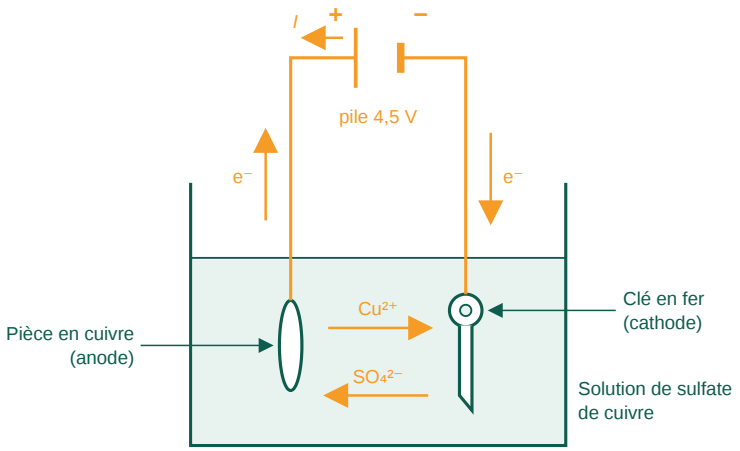
La clé (cathode) doit recevoir des électrons : elle est reliée à la borne $-$ de la pile. La pièce en cuivre (anode) est reliée à la borne $+$.

Dans les fils, les électrons vont de la pièce vers la borne $+$ et de la borne $-$ vers la clé ; le courant I circule en sens inverse.

Dans la solution, les cations Cu^{2+} migrent vers la clé et les anions SO_4^{2-} vers la pièce.

Borne $+$ sur la pièce en cuivre, borne $-$ sur la clé ; électrons de la pièce vers la clé par les fils, ions Cu^{2+} de la pièce vers la clé dans la solution.

PIÈGE
Faire circuler des électrons dans la solution. Ils ne se déplacent que dans les métaux ; dans l'électrolyte, ce sont les ions qui transportent la charge.



2.3.3 · Figure 2 complétée : électrolyse à anode soluble

Le laser au quotidien

Bac S 2011 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Nommer le phénomène physique responsable de l'irisation d'un CD ou d'un DVD éclairé en lumière blanche.

Les motifs gravés ont une taille comparable aux longueurs d'onde du visible : chaque radiation est déviée dans une direction qui dépend de sa longueur d'onde.

L'irisation est due à la **diffraction** de la lumière blanche par la surface gravée du disque.

COMPRENDRE
Les ondes diffractées par les sillons voisins se superposent ensuite : ce sont leurs interférences qui renforcent chaque couleur dans une direction particulière. Le disque se comporte comme un réseau.

1.2 Calculer la fréquence ν de la radiation utilisée dans la technologie blu-ray.

Données utiles $\lambda_B = 405$ nm dans le vide ; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Dans le vide, $\lambda_B = \dfrac{c}{\nu}$, donc $\nu = \dfrac{c}{\lambda_B}$.

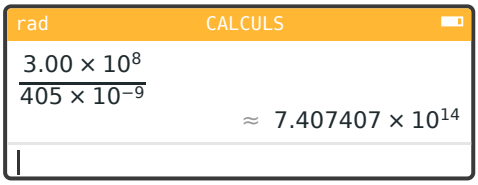
$$\nu = \frac{3{,}00 \times 10^8}{405 \times 10^{-9}}$$

$\nu = 7{,}41 \times 10^{14}$ Hz

PIÈGE
Laisser la longueur d'onde en nanomètres : il faut $405\ \text{nm} = 405 \times 10^{-9}\ \text{m}$ pour obtenir des hertz.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c et λ_B.

À LA CALCULATRICE



1.3 Comparer la longueur d'onde du laser blu-ray à celle des systèmes CD ou DVD.

D'après le texte, le laser du CD est infrarouge (au-delà de 800 nm) et celui du DVD est rouge (vers 650 à 800 nm). Le laser blu-ray, à 405 nm, est à l'extrémité violette du visible.

$\lambda_B < \lambda_{\text{DVD}} < \lambda_{\text{CD}}$: le laser blu-ray a la plus petite longueur d'onde des trois.

COMPRENDRE
Une longueur d'onde plus petite donne une tache de diffraction plus petite : le spot est plus fin, les motifs gravés plus serrés, et le disque contient plus de données (25 GB contre 4,7 GB et 700 MB).

2.1.1 Établir la relation entre θ, la largeur L de la tache centrale de diffraction et la distance D entre le fil et l'écran.

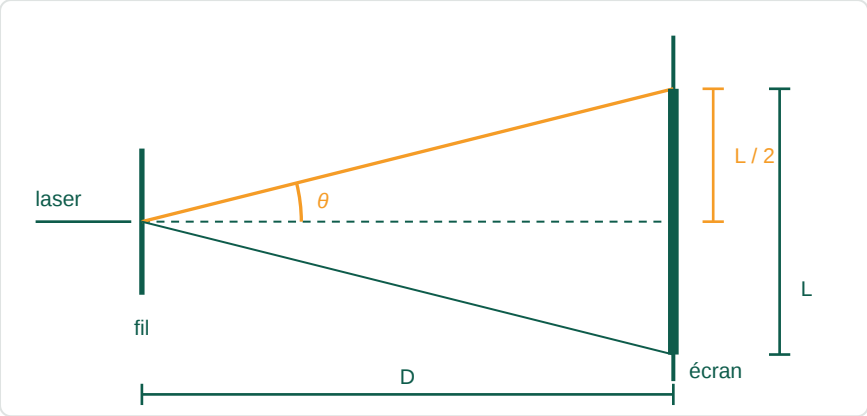
Dans le triangle rectangle de la figure, le côté opposé à θ vaut $\dfrac{L}{2}$ et le côté adjacent vaut D :

$$\tan\theta = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D}$$

L'angle étant petit, $\tan\theta \approx \theta$ (en radian).

$\theta = \dfrac{L}{2D}$

PIÈGE
Écrire $\theta = \dfrac{L}{D}$: θ est le demi-écart angulaire, il correspond à la demi-largeur $\dfrac{L}{2}$ de la tache centrale.



2.1.1 · Figure 2 vue de dessus : le triangle rectangle utilisé

2.1.2 Donner la relation entre θ, λ_D et a en indiquant l'unité de chaque grandeur.

$\theta = \dfrac{\lambda_D}{a}$, avec θ en radian (rad), λ_D en mètre (m) et a en mètre (m).

COMPRENDRE
Plus le fil est fin, plus la tache centrale est large. La relation suppose seulement que λ_D et a sont dans la même unité, mais θ est obligatoirement en radian.

2.1.3 En déduire la relation $\lambda_D = \dfrac{L\,a}{2D}$.

Les deux expressions de θ (questions 2.1.1 et 2.1.2) sont égales :

$$\frac{\lambda_D}{a} = \frac{L}{2D}$$

En multipliant les deux membres par a :

$\lambda_D = \dfrac{L\,a}{2D}$, qui est bien la relation attendue.

2.2 À partir des deux expériences, calculer la longueur d'onde λ_D de la radiation d'un lecteur DVD et la comparer au résultat de la question 1.3.

Données utiles laser DVD : $L = 4{,}8$ cm ; laser blu-ray : $L' = 3{,}0$ cm et $\lambda_B = 405$ nm

Le fil et la distance D sont les mêmes dans les deux expériences.
Pour chaque laser :

$$\lambda_D = \frac{L\,a}{2D} \qquad \text{et} \qquad \lambda_B = \frac{L'\,a}{2D}$$

En faisant le rapport, a et D se simplifient : $\dfrac{\lambda_D}{\lambda_B} = \dfrac{L}{L'}$, donc $\lambda_D = \lambda_B \times \dfrac{L}{L'}$.

$$\lambda_D = 405 \times \frac{4{,}8}{3{,}0} = 648 \text{ nm}$$

Deux chiffres significatifs, comme L et L'.

$\lambda_D = 6{,}5 \times 10^2$ nm : radiation rouge, et $\lambda_D > \lambda_B$, en accord avec la question 1.3.

PIÈGE
Chercher une valeur de a ou de D : le sujet n'en donne aucune. Inverser le rapport donnerait 253 nm, un ultraviolet, ce qui contredit le texte.

MÉTHODE
Quand deux mesures sont faites avec le même montage, le rapport des deux relations élimine les grandeurs inconnues. Les unités se simplifient aussi : L et L' restent en cm, λ_D sort dans l'unité de λ_B.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{405 \times 4.8}{3.0} \approx 648$

3.1 Donner la relation entre l'indice n du polycarbonate, la célérité c et la vitesse v de la radiation dans le polycarbonate.

$n = \dfrac{c}{v}$

COMPRENDRE
Comme $v < c$, l'indice est toujours supérieur à 1 et n'a pas d'unité. Ici $v = \dfrac{c}{n} \approx 1{,}94 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{3.00 \times 10^8}{1.55} \approx 1.935484 \times 10^8$

3.2 Quelle grandeur caractéristique de la radiation du laser n'est pas modifiée lorsque le rayon passe de l'air dans le disque ?

La fréquence est imposée par la source : elle ne dépend pas du milieu traversé.

La **fréquence** ν de la radiation (donc aussi sa période) n'est pas modifiée.

PIÈGE
Répondre « la longueur d'onde » ou « la couleur donc la longueur d'onde ». La couleur perçue est liée à la fréquence ; la longueur d'onde diminue dans le disque.

3.3.1 Montrer que la longueur d'onde λ du laser CD dans le polycarbonate vérifie $\lambda = \dfrac{\lambda_C}{n}$.

Données utiles $n = \dfrac{c}{v}$ (question 3.1) ; fréquence ν inchangée (question 3.2)

Dans le vide : $\lambda_C = \dfrac{c}{\nu}$.

Dans le polycarbonate, la radiation garde la même fréquence ν mais se propage à la vitesse $v = \dfrac{c}{n}$:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\,\nu} = \frac{1}{n} \times \frac{c}{\nu}$$

$\lambda = \dfrac{\lambda_C}{n}$, qui est bien la relation attendue.

MÉTHODE
Pour passer d'un milieu à un autre, écrire $\lambda = \dfrac{\text{vitesse}}{\nu}$ dans chacun des deux milieux, avec la même fréquence, puis faire le lien grâce à l'indice.

3.3.2 Calculer la longueur d'onde λ du laser CD dans le polycarbonate.

Données utiles $\lambda_C = 780$ nm ; $n = 1{,}55$

$$\lambda = \frac{\lambda_C}{n} = \frac{780}{1{,}55}$$

$\lambda = 503$ nm

COMPRENDRE
La radiation reste infrarouge dans le disque : sa fréquence n'a pas changé. La valeur 503 nm ne signifie pas qu'elle devient verte, les couleurs étant repérées par la longueur d'onde dans le vide.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{780}{1.55} \approx 503.2258$

Spécialité : La physique du vide grenier !

Bac S 2011 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Mesurer la période T sur la figure 1 et calculer la fréquence f du signal musical.

Pour gagner en précision, on mesure deux périodes : entre le premier et le troisième maximum, on lit $2T = 4{,}4$ ms, donc $T = 2{,}2\ \text{ms} = 2{,}2 \times 10^{-3}$ s.

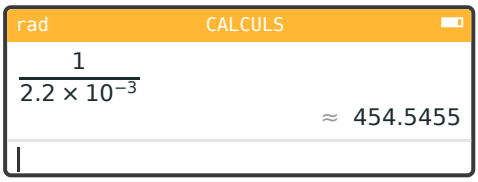
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}2 \times 10^{-3}} = 4{,}5 \times 10^{2}\ \text{Hz}$$

$T = 2{,}2$ ms et $f = 4{,}5 \times 10^{2}$ Hz

PIÈGE
Laisser T en millisecondes dans $f = 1/T$: on obtiendrait $0{,}45$ au lieu de $4{,}5 \times 10^{2}$ Hz.

COMPRENDRE
La lecture graphique donne deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux. Il est cohérent avec les 440 Hz annoncés ensuite pour le La3.

À LA CALCULATRICE



1.1.2 Ce signal musical est-il un son complexe ou un son pur ? Justifier.

La tension enregistrée est une sinusoïde : le signal ne contient qu'une seule fréquence, le fondamental, sans harmonique.

Le son du diapason est un **son pur**.

COMPRENDRE
Un son complexe est périodique sans être sinusoïdal : son spectre contient le fondamental et des harmoniques. Les notions d'harmoniques, de hauteur et de timbre ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

1.2.1 À partir de l'oscillogramme de la figure 2, expliquer pourquoi la modulation est satisfaisante.

L'enveloppe supérieure de u_s a la même forme et la même période que u_m : elle en est la copie, simplement décalée vers le haut. Elle reste toujours au-dessus de zéro (elle varie entre $1{,}5$ V et $2{,}5$ V environ).

L'enveloppe de u_s reproduit fidèlement u_m : la modulation est de bonne qualité.

COMPRENDRE
L'information est portée par l'amplitude de la porteuse. Le récepteur ne récupère que l'enveloppe : si elle a la forme de u_m, le signal sera restitué sans déformation.

1.2.2 En déduire la valeur du taux de modulation m, quotient de l'amplitude de u_m par la tension continue E.

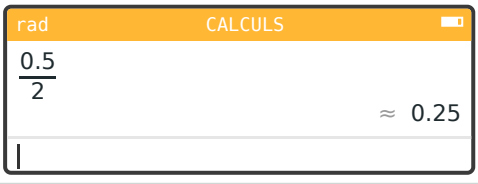
Données utiles amplitude de u_m : $U_m = 0{,}5$ V ; $E = 2$ V

$$m = \frac{U_m}{E} = \frac{0{,}5}{2} = 0{,}25$$

$m = 0{,}25$, soit environ $0{,}3$ avec un seul chiffre significatif

COMPRENDRE
m est un rapport de deux tensions : il n'a pas d'unité. Comme $m < 1$, l'enveloppe ne s'annule jamais, ce qui confirme la bonne qualité de la modulation observée.

À LA CALCULATRICE



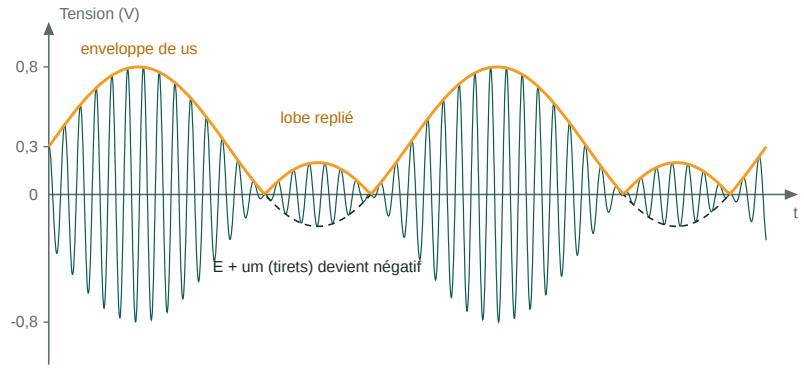
MÉTHODE
Vérification sur la figure 2 : $m = \dfrac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$ avec l'enveloppe entre $1{,}5$ V et $2{,}5$ V, soit $\dfrac{1{,}0}{4{,}0} = 0{,}25$.

1.2.3 Quelle allure aurait eu la modulation si la tension continue E avait été inférieure à $0{,}5$ V ?

Si $E < U_m$, alors $m = \dfrac{U_m}{E} > 1$: la tension $E + u_m$ change de signe à chaque période. L'enveloppe de u_s touche alors l'axe des temps et présente des lobes repliés : elle n'a plus la forme de u_m.

Il y a **surmodulation** : l'enveloppe est déformée, la modulation est de mauvaise qualité.

PIÈGE
Dire seulement « le signal est plus petit ». Ce qui compte est la comparaison de E à l'amplitude de u_m, donc la valeur de m par rapport à 1.



1.2.3 · Surmodulation ($E = 0{,}3$ V, amplitude de u_m : $0{,}5$ V) : l'enveloppe de u_s ne reproduit plus u_m

1.3.1 Exprimer les fréquences F_1 et F_2 de la figure 3 en fonction de la fréquence F de la porteuse et de la fréquence f du signal à transmettre.

Le spectre d'une porteuse modulée par un signal sinusoïdal comporte trois pics : celui de la porteuse, encadré par deux pics latéraux symétriques, distants de f.

$F_1 = F - f$ et $F_2 = F + f$

COMPRENDRE
Avec $F = 10$ kHz et $f = 440$ Hz : $F_1 = 9{,}56$ kHz et $F_2 = 10{,}44$ kHz. Le signal modulé ne contient aucun pic à la fréquence f elle-même.

1.3.2 Calculer la largeur Δf de la bande passante nécessaire pour transmettre la note du diapason, définie comme la différence entre F_2 et F_1.

Données utiles $f = 440$ Hz ; F_1 et F_2 (1.3.1)

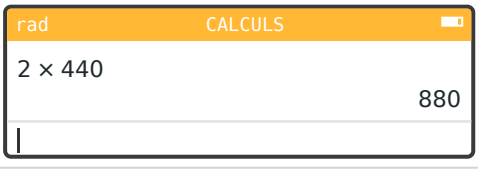
$\Delta f = F_2 - F_1 = (F + f) - (F - f) = 2f$

$\Delta f = 2 \times 440 = 880$ Hz

$\Delta f = 2f = 880$ Hz

COMPRENDRE
La largeur de bande ne dépend pas de la porteuse, seulement de la fréquence transmise. C'est pourquoi deux stations doivent avoir des porteuses suffisamment écartées.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Pour une valeur donnée de C, le circuit permet une bonne écoute de France Inter. Quelle est alors la fréquence propre f_0 du circuit (L, C) ?

Le circuit sélectionne une station lorsque sa fréquence propre est égale à la fréquence de la porteuse de cette station.

$f_0 = 164$ kHz

COMPRENDRE
Le circuit LC parallèle joue le rôle de filtre : parmi toutes les ondes reçues, seule celle dont la fréquence est voisine de f_0 donne une tension notable à ses bornes.

2.1.2 Calculer la capacité C du condensateur permettant de capter France Inter.

Données utiles $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$; $L = 2{,}0$ mH ; $f_0 = 164$ kHz (2.1.1)

On élève au carré : $f_0^2 = \dfrac{1}{4\pi^2 LC}$, d'où $C = \dfrac{1}{4\pi^2 L f_0^2}$.

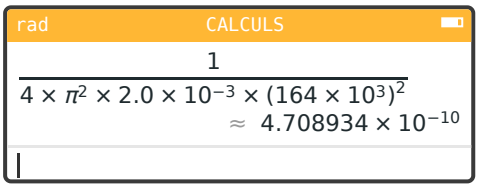
$$C = \frac{1}{4\pi^2 \times 2{,}0 \times 10^{-3} \times (164 \times 10^3)^2} = 4{,}7 \times 10^{-10}\ \text{F}$$

$C = 4{,}7 \times 10^{-10}\ \text{F} = 0{,}47\ \text{nF}$

PIÈGE
Oublier les conversions (L en henrys, f_0 en hertz) ou oublier d'élever f_0 au carré. Un ordre de grandeur de quelques centaines de picofarads est attendu.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme L, la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



2.1.3 Justifier le lien mécanique entre le condensateur de capacité variable C et le bouton de sélection des stations.

Comme $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ avec L fixée, modifier C modifie la fréquence propre du circuit.

Tourner le bouton change C, donc f_0 : on accorde le circuit sur la porteuse de la station voulue.

COMPRENDRE
f_0 diminue quand C augmente. Une station de porteuse plus élevée que 164 kHz se capte donc avec une capacité plus faible.

2.2.1 Montrer que le produit $R'C'$ est homogène à un temps.

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

Condensateur : $i = C'\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$, donc $[I] = [C']\dfrac{[U]}{[T]}$, soit $[C'] = \dfrac{[I]\,[T]}{[U]}$.

$$[R'C'] = \frac{[U]}{[I]} \times \frac{[I]\,[T]}{[U]} = [T]$$

$[R'C'] = [T]$: le produit $R'C'$ est homogène à un temps.

MÉTHODE
Analyse dimensionnelle : exprimer chaque grandeur à partir d'une relation connue (loi d'Ohm, $q = C'u_C$ et $i = \mathrm{d}q/\mathrm{d}t$), puis simplifier le produit.

2.2.2 Déterminer, par un calcul, la capacité C' qui respecte au mieux la condition $T_p \ll \tau < T_m$ parmi 50 pF, 50 nF et 50 µF.

Données utiles $R' = 15\ \text{k}\Omega$; porteuse : $f_p = 164$ kHz ; signal sonore : $f = 1{,}0$ kHz

Bornes : $T_p = \dfrac{1}{f_p} = \dfrac{1}{164 \times 10^3} = 6{,}10 \times 10^{-6}$ s et $T_m = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{1{,}0 \times 10^3} = 1{,}0 \times 10^{-3}$ s.

Constante de temps $\tau = R'C'$ pour chaque condensateur :

- 50 pF : $\tau = 15 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-12} = 7{,}5 \times 10^{-7}$ s, inférieure à T_p : ne convient pas ;
- 50 nF : $\tau = 15 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-9} = 7{,}5 \times 10^{-4}$ s, environ 120 fois T_p et inférieure à T_m : convient ;
- 50 µF : $\tau = 15 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-6} = 0{,}75$ s, très supérieure à T_m : ne convient pas.

$C' = 50$ nF, car $6{,}10 \times 10^{-6}\ \text{s} \ll 7{,}5 \times 10^{-4}\ \text{s} < 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{s}$

COMPRENDRE

Si τ est trop petit, le condensateur se décharge entre deux crêtes de la porteuse ; s'il est trop grand, la tension ne suit plus les baisses de l'enveloppe.

MÉTHODE

On peut aussi encadrer C' : $\dfrac{1}{R'f_p} \ll C' < \dfrac{1}{R'f}$, soit $0{,}41\ \text{nF} \ll C' < 67\ \text{nF}$. Seul 50 nF est dans l'intervalle.

À LA CALCULATRICE

