Corrigé complet — Bac S 2008 Amérique du Sud (ancien programme)

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

Ex 1	**Spécialité : A propos du son** Réflexion d'une onde sur une corde · Ondes stationnaires et modes propres · Célérité sur une corde tendue · Niveau d'intensité sonore · Spectre, hauteur et timbre	4 pts	52 min	14 questions	p. 2
Ex 2	**Utilisation du technétium en médecine nucléaire** Isotopes · Lois de conservation et équations nucléaires · Radioactivité β^- · Énergie libérée et perte de masse · Décroissance radioactive et activité · Demi-vie	4 pts	52 min	10 questions	p. 6
Ex 3	**Bobine d'un woofer** Dipôle RL · Loi d'additivité des tensions · Constante de temps · Équation différentielle du premier ordre · Méthode d'Euler · Analyse dimensionnelle	5,5 pts	1 h 05	13 questions	p. 10
Ex 4	**La pile sous toutes ses faces** Pile Daniell · Quotient de réaction et sens d'évolution spontanée · Transformation forcée (charge d'un accumulateur) · Pile à combustible · Quantité d'électricité et intensité	6,5 pts	1 h 18	16 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 : A propos du son

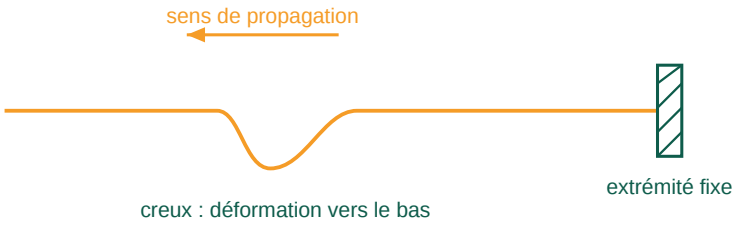
Bac S 2008 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Après réflexion sur l'extrémité fixe de la corde, l'onde repart-elle comme indiqué sur la figure 1b (déformation toujours vers le haut) ?

FAUX. L'extrémité fixe ne peut pas se déplacer : la réflexion change le signe de la déformation. La bosse arrivée vers le haut repart vers le bas.

Faux : l'onde réfléchie est un creux (déformation vers le bas), tracé ci-dessous.

COMPRENDRE
Au point d'attache, la somme de l'onde incidente et de l'onde réfléchie doit rester nulle à chaque instant : la seconde est donc l'opposée de la première.



1 · Figure 1b corrigée : l'onde réfléchie est renversée

2 Dans les conditions de l'expérience de la figure 2, le son émis par la corde est-il audible à grande distance ?

FAUX. Une corde seule met très peu d'air en mouvement : le son existe mais il est très faible. Le montage ne comporte pas de caisse de résonance pour transmettre efficacement la vibration à l'air.

Faux : sans caisse de résonance, le son n'est audible qu'à faible distance.

COMPRENDRE
Dans une guitare ou un violon, la corde fait vibrer la table et l'air de la caisse : c'est cette grande surface vibrante qui rayonne le son.

3 Le mode de vibration observé sur la figure 2 est-il le mode fondamental ?

VRAI. La corde présente un seul fuseau entre A et B : c'est le mode de rang $n = 1$, appelé mode fondamental.

Vrai : un seul fuseau, donc mode fondamental.

4 Le point A est-il un ventre de vibration ?

FAUX. Le point A est fixe : son amplitude de vibration est nulle, c'est un nœud. Le ventre, point d'amplitude maximale, se trouve au milieu de la corde.

Faux : A est un nœud de vibration (B aussi).

5 Si on diminue la longueur de la corde en remontant le plateau percé B, observe-t-on un seul fuseau d'amplitude plus grande ?

FAUX. La fréquence et la tension ne changent pas, donc $\lambda = \frac{v}{f}$ garde la même valeur.

Un fuseau ne s'établit que si la longueur vibrante vaut $L = \frac{\lambda}{2}$. En raccourcissant la corde, $L < \frac{\lambda}{2}$: la condition n'est plus vérifiée.

Faux : il n'y a plus d'onde stationnaire, on n'observe plus de fuseau net.

PIÈGE
Raisonner comme sur une guitare. Raccourcir une corde pincée la fait sonner plus aigu, mais ici la fréquence est imposée par le GBF : la corde ne peut pas choisir la sienne.

6 L'onde stationnaire observée sur la figure 2 a-t-elle une longueur d'onde $\lambda = 80$ cm ?

Données utiles $D = 40$ cm ; un seul fuseau

VRAI. Deux nœuds consécutifs sont distants de $\frac{\lambda}{2}$, donc pour n fuseaux $D = n\frac{\lambda}{2}$.

Avec $n = 1$: $\lambda = 2D = 2 \times 40 = 80$ cm.

Vrai : $\lambda = 2D = 80$ cm

MÉTHODE
Un fuseau mesure toujours une demi-longueur d'onde. Compter les fuseaux donne directement $\lambda = \frac{2D}{n}$.

7 Sans changer la masse m, peut-on observer deux fuseaux en réglant la fréquence du GBF sur 110 Hz ?

Données utiles un fuseau à $f = 220$ Hz ; $D = 40$ cm

FAUX. Pour n fuseaux : $D = n\frac{\lambda}{2}$ avec $\lambda = \frac{v}{f}$, donc $f_n = n\frac{v}{2D}$.

La masse m est inchangée, donc v aussi. Comme $f_1 = 220$ Hz, les fréquences donnant des fuseaux sont $f_n = n \times 220$ Hz.

110 Hz correspondrait à $n = \frac{1}{2}$, qui n'est pas entier : aucune onde stationnaire ne s'établit.

Faux : deux fuseaux s'observent à $f_2 = 2 \times 220 = 440$ Hz.

PIÈGE
Confondre diviser et multiplier. Deux fuseaux sur la même corde, c'est une longueur d'onde deux fois plus petite, donc une fréquence deux fois plus grande.

8 À 220 Hz, peut-on observer deux fuseaux en remplaçant la masse m par une masse $m' = \frac{m}{4}$?

Données utiles $v = \sqrt{\frac{m\,g}{\mu}}$; $\lambda = 80$ cm (affirmation 6)

VRAI. Nouvelle célérité : $v' = \sqrt{\frac{m'\,g}{\mu}} = \sqrt{\frac{m\,g}{4\,\mu}} = \frac{v}{2}$.

À fréquence inchangée, $\lambda' = \frac{v'}{f} = \frac{\lambda}{2} = 40$ cm.

Alors $D = 40$ cm $= \lambda' = 2 \times \frac{\lambda'}{2}$: la condition est vérifiée avec $n = 2$.

Vrai : $\lambda' = 40$ cm, la corde vibre en deux fuseaux.

COMPRENDRE
La célérité varie comme la racine carrée de la tension : il faut diviser la masse par 4 pour diviser v par 2.

9 À une intensité sonore $I = 1{,}0 \times 10^{-7}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ correspond-il un niveau sonore $L = 60$ dBA ?

Données utiles $L = 10 \log \dfrac{I}{I_0}$; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

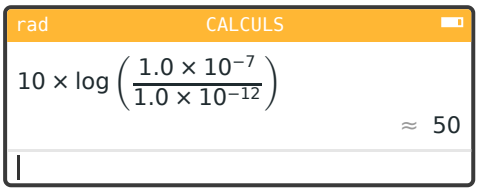
FAUX.

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{1{,}0 \times 10^{-7}}{1{,}0 \times 10^{-12}} = 10 \log \left(1{,}0 \times 10^{5}\right)$$

Faux : $L = 50$ dBA, et non 60 dBA.

COMPRENDRE
60 dBA correspondrait à $I = 10^6\, I_0 = 1{,}0 \times 10^{-6}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$: chaque tranche de 10 dB multiplie l'intensité par 10.

À LA CALCULATRICE



10 Quand l'intensité sonore est doublée, le niveau sonore augmente-t-il de 3 dBA ?

VRAI. Pour $I' = 2I$:

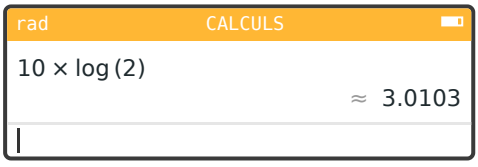
$$L' = 10 \log \frac{2I}{I_0} = 10 \log 2 + 10 \log \frac{I}{I_0} = L + 10 \log 2$$

Or $10 \log 2 = 3{,}0$.

Vrai : $L' = L + 3$ dBA

PIÈGE
Croire que le niveau sonore double. Les intensités s'ajoutent, pas les niveaux : deux sources identiques de 60 dB donnent 63 dB, pas 120 dB.

À LA CALCULATRICE



11 Le son enregistré sur la figure 3 a-t-il pour fréquence du fondamental $f = 4{,}4 \times 10^2$ Hz ?

Données utiles figure 3 : minima à $t \approx 0{,}5$ ms et $t \approx 2{,}8$ ms

VRAI. Le signal est périodique : la fréquence du fondamental est celle du signal, $f = \dfrac{1}{T}$.

Entre deux minima successifs : $T \approx 2{,}8 - 0{,}5 = 2{,}3$ ms.

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

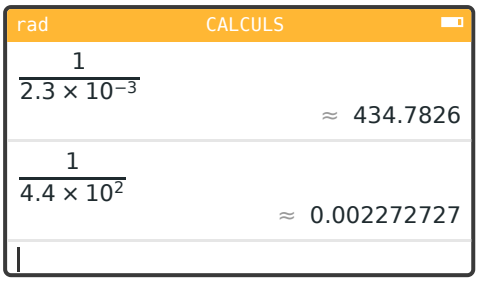
À la précision de la lecture graphique, cette valeur est compatible avec $4{,}4 \times 10^2$ Hz (qui correspond à $T = 2{,}27$ ms).

Vrai : $T \approx 2{,}3$ ms, soit $f \approx 4{,}4 \times 10^2$ Hz.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la lecture de T . Une lecture à 0,1 ms près fait varier f d'environ 20 Hz : l'écart entre 435 Hz et 440 Hz n'est pas significatif.

MÉTHODE
Repérer un point facile à retrouver d'un motif à l'autre (ici le minimum). Si l'enregistrement le permet, mesurer plusieurs périodes et diviser.

À LA CALCULATRICE



12 Le spectre de la figure 4 correspond-il à l'enregistrement de la figure 3 ?

FAUX. Le spectre de la figure 4 ne contient qu'un seul pic, à 0,44 kHz : c'est celui d'un son pur, dont l'enregistrement serait une sinusoïde.

Le signal de la figure 3 est périodique mais non sinusoïdal : c'est un son complexe, dont le spectre contient des harmoniques en plus du fondamental.

Faux : la figure 4 est le spectre d'un son pur (signal sinusoïdal), pas celui de la figure 3.

COMPRENDRE
Harmoniques, hauteur et timbre (affirmations 11 à 14) ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale ; l'analyse spectrale d'un son reste abordée avant la Terminale.

13 Les spectres des figures 4 et 5 correspondent-ils à des notes de même hauteur ?

VRAI. La hauteur d'un son est fixée par la fréquence de son fondamental, premier pic du spectre. Sur les deux figures, ce pic est à la même fréquence, environ 0,44 kHz.

Vrai : même fondamental (440 Hz), donc même hauteur.

PIÈGE
Prendre le pic le plus haut, ou le nombre de pics, comme critère. Seule la fréquence du premier pic fixe la hauteur.

14 Les spectres des figures 4 et 5 correspondent-ils à des notes jouées par le même instrument ?

FAUX. La figure 4 ne montre que le fondamental ; la figure 5 montre en plus des harmoniques (pics aux multiples de 0,44 kHz). La composition en harmoniques diffère : les deux sons n'ont pas le même timbre.

Faux : timbres différents, donc instruments différents.

COMPRENDRE
Sur la figure 5, les pics sont à environ 0,88 ; 1,32 ; 1,76 ; 2,20 et 2,64 kHz : des multiples entiers de 0,44 kHz, ce qui confirme le fondamental.

Utilisation du technétium en médecine nucléaire

Bac S 2008 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 À quelles conditions dit-on que deux noyaux sont isotopes ?

Deux noyaux sont isotopes s'ils ont le **même nombre de protons** Z (même élément chimique) mais des **nombres de neutrons différents**, donc des nombres de nucléons A différents.

COMPRENDRE
Exemple dans le sujet : $^{97}_{43}\mathrm{Tc}$ et $^{99}_{43}\mathrm{Tc}$ ont tous deux 43 protons, mais 54 et 56 neutrons.

1.2.1 Énoncer les lois de conservation qui régissent les réactions nucléaires.

Lors d'une réaction nucléaire, il y a :

- conservation du **nombre de charge** : la somme des Z est la même avant et après ;
- conservation du **nombre de nucléons** : la somme des A est la même avant et après.

Conservation du nombre de charge Z et du nombre de nucléons A (lois de Soddy).

PIÈGE
Écrire que la masse se conserve. Elle varie légèrement, et c'est cette variation qui correspond à l'énergie libérée (question 2.2).

1.2.2 Écrire l'équation de la réaction nucléaire de synthèse du technétium 97, sachant qu'une particule $^{A}_{Z}\mathrm{X}$ est émise. Nommer cette particule.

Données utiles $^{96}_{42}\mathrm{Mo}$; $^{2}_{1}\mathrm{H}$; $^{97}_{43}\mathrm{Tc}$

Le molybdène 96 est bombardé par du deutérium :
$^{96}_{42}\mathrm{Mo} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{97}_{43}\mathrm{Tc} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$

Nombre de nucléons : $96 + 2 = 97 + A$, donc $A = 1$.

Nombre de charge : $42 + 1 = 43 + Z$, donc $Z = 0$.

Une particule formée d'un seul nucléon, sans charge, est un neutron.

$^{96}_{42}\mathrm{Mo} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{97}_{43}\mathrm{Tc} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$: la particule émise est un **neutron**.

MÉTHODE
Poser l'équation avec les inconnues A et Z, écrire une égalité par loi de conservation, puis identifier la particule : $Z = 0$ et $A = 1$ pour le neutron, $Z = 1$ et $A = 1$ pour le proton.

2.1 Écrire l'équation de la désintégration du molybdène 99. De quel type de radioactivité s'agit-il ?

Données utiles $^{99}_{42}\mathrm{Mo}$; $^{99}_{43}\mathrm{Tc}$

Le noyau père $^{99}_{42}\mathrm{Mo}$ donne le noyau fils $^{99}_{43}\mathrm{Tc}$ et une particule $^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

Conservations : $99 = 99 + A$ donc $A = 0$; $42 = 43 + Z$ donc $Z = -1$.

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

$^{99}_{42}\mathrm{Mo} \longrightarrow {}^{99}_{43}\mathrm{Tc} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$: un électron est émis, c'est une radioactivité β^-.

COMPRENDRE
A ne change pas et Z augmente de 1 : dans le noyau, un neutron s'est transformé en proton, avec émission d'un électron.

2.2 Calculer, en joules et en MeV, l'énergie libérée lors de la désintégration d'un noyau de molybdène 99.

Données utiles $m(\text{Mo}) = 98{,}88437$ u ; $m(\text{Tc}) = 98{,}88235$ u ; $m(\text{e}) = 0{,}00055$ u ; $1\text{ u} = 1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $1\text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

Variation de masse au cours de la désintégration :

$\Delta m = m(\text{Tc}) + m(\text{e}) - m(\text{Mo}) = 98{,}88235 + 0{,}00055 - 98{,}88437 = -0{,}00147$ u

La masse diminue : de l'énergie est libérée, $E_{\text{lib}} = |\Delta m|\, c^2$.

$$E_{\text{lib}} = 0{,}00147 \times 1{,}66054 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2 = 2{,}20 \times 10^{-13}\ \text{J}$$

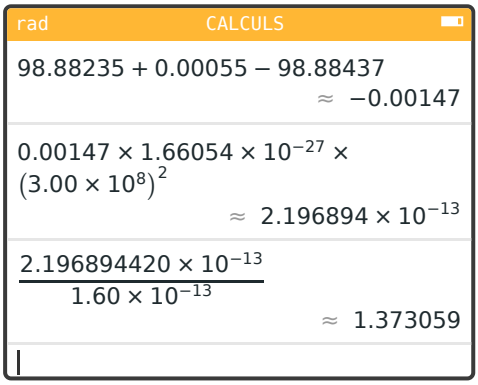
Conversion : $1\text{ MeV} = 1{,}60 \times 10^{-13}$ J, donc $E_{\text{lib}} = \dfrac{2{,}20 \times 10^{-13}}{1{,}60 \times 10^{-13}} = 1{,}37\text{ MeV}$

$\boxed{E_{\text{lib}} = 2{,}20 \times 10^{-13}\ \text{J} = 1{,}37\text{ MeV}}$

PIÈGE
Laisser la masse en u dans $E = m\,c^2$: il faut des kilogrammes pour obtenir des joules. Ne pas oublier non plus la masse de l'électron dans les produits.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs : $|\Delta m| = 0{,}00147$ u et c en comptent trois. Vérification avec $1\text{ u} \leftrightarrow 931{,}5$ MeV : $0{,}00147 \times 931{,}5 = 1{,}37$ MeV.

À LA CALCULATRICE



3.1 Définir le terme « temps de demi-vie ».

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la **moitié des noyaux radioactifs** initialement présents dans l'échantillon se sont désintégrés : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$.

COMPRENDRE
L'activité est elle aussi divisée par deux à chaque demi-vie : pour le technétium 99, elle est divisée par 4 en 12 h et par 16 en 24 h.

3.2 Montrer que l'expression de l'activité peut se mettre sous la forme $A(t) = A_0\, \text{e}^{-\lambda t}$.

Données utiles $N(t) = N_0\, \text{e}^{-\lambda t}$; $A(t) = \left|\dfrac{\text{d}N(t)}{\text{d}t}\right|$

On dérive $N(t)$ par rapport au temps : $\dfrac{\text{d}N}{\text{d}t} = -\lambda\, N_0\, \text{e}^{-\lambda t}$

Cette dérivée est négative (λ et N_0 sont positifs), donc en valeur absolue :

$$A(t) = \left|\frac{\text{d}N}{\text{d}t}\right| = \lambda\, N_0\, \text{e}^{-\lambda t}$$

En posant $A_0 = \lambda\, N_0$, activité à l'instant $t = 0$:

$\boxed{A(t) = A_0\, \text{e}^{-\lambda t} \text{ avec } A_0 = \lambda\, N_0}$

COMPRENDRE
On retient $A(t) = \lambda\, N(t)$: l'activité est proportionnelle au nombre de noyaux encore présents, elle décroît donc avec la même demi-vie.

3.3 Calculer le nombre de noyaux de technétium 99 reçus par le patient lors de l'injection.

Données utiles $A_0 = 555$ MBq ; $t_{1/2} = 6{,}0$ h ; $A_0 = \lambda N_0$ (3.2) ; $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$

À l'injection, $A_0 = \lambda N_0$ avec $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$, donc $N_0 = \dfrac{A_0}{\lambda} = \dfrac{A_0\, t_{1/2}}{\ln 2}$.

Unités : $A_0 = 555 \times 10^6$ Bq et $t_{1/2} = 6{,}0 \times 3600 = 2{,}16 \times 10^4$ s.

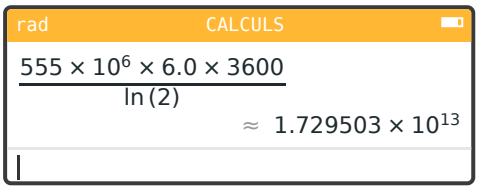
$$N_0 = \frac{555 \times 10^6 \times 6{,}0 \times 3600}{\ln 2} = 1{,}7 \times 10^{13}$$

$N_0 = 1{,}7 \times 10^{13}$ noyaux de technétium 99

PIÈGE
Garder $t_{1/2}$ en heures. Le becquerel est une désintégration par seconde : la demi-vie doit être en secondes, sinon le résultat est 3600 fois trop petit.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, comme $t_{1/2} = 6{,}0$ h, la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



3.4 À la fin de l'examen, l'activité du patient vaut 63 % de sa valeur à 14 h, juste après l'injection. À quelle heure se termine l'examen ?

Données utiles $A(t) = A_0\, \mathrm{e}^{-\lambda t}$ (3.2) ; $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$; $t_{1/2} = 6{,}0$ h

On choisit $t = 0$ à 14 h. On cherche t tel que $A(t) = 0{,}63\, A_0$:

$A_0\, \mathrm{e}^{-\lambda t} = 0{,}63\, A_0$, soit $\mathrm{e}^{-\lambda t} = 0{,}63$, donc $-\lambda t = \ln(0{,}63)$.

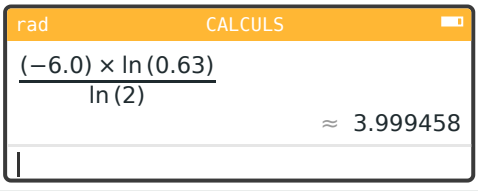
$$t = -\frac{\ln(0{,}63)}{\lambda} = -\frac{t_{1/2}\, \ln(0{,}63)}{\ln 2} = -\frac{6{,}0 \times \ln(0{,}63)}{\ln 2} = 4{,}0 \text{ h}$$

L'examen dure 4,0 h : il se termine le mardi à **18 h**.

COMPRENDRE
Contrôle de vraisemblance : 63 % est supérieur à 50 %, donc la durée doit être inférieure à une demi-vie (6,0 h). C'est bien le cas.

MÉTHODE
Pour isoler t dans une exponentielle : simplifier par A_0, prendre le logarithme népérien des deux membres, puis diviser. En gardant $t_{1/2}$ en heures, t sort directement en heures.

À LA CALCULATRICE



3.5 À l'aide du graphe, déterminer la couche de demi-atténuation du plomb pour le rayonnement gamma produit par le technétium 99.

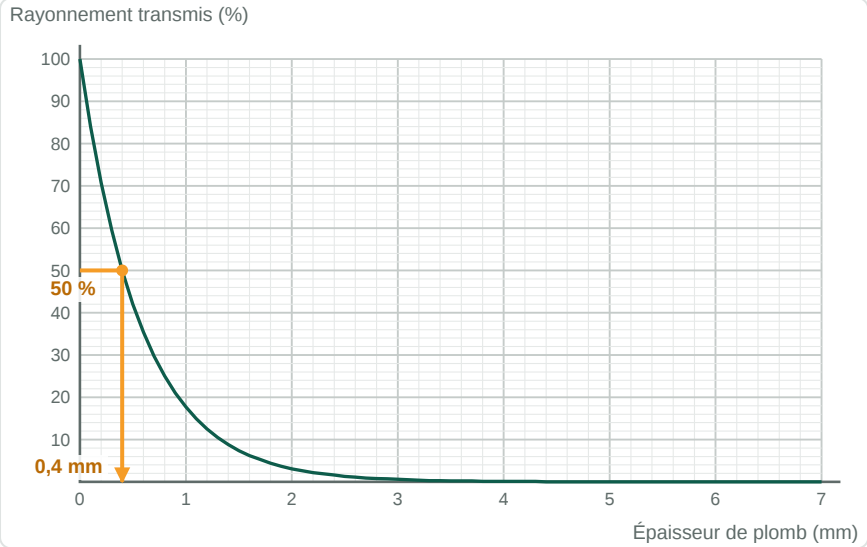
La couche de demi-atténuation est l'épaisseur qui arrête 50 % du rayonnement : il en reste donc 50 % de transmis.

Sur le graphe, on trace l'horizontale d'ordonnée 50 % jusqu'à la courbe, puis on descend verticalement jusqu'à l'axe des abscisses.

Couche de demi-atténuation du plomb : environ 0,4 mm.

PIÈGE
Lire l'échelle horizontale trop vite : 1 mm correspond à plusieurs carreaux, et la lecture se fait entre 0 et 0,5 mm. Un seul chiffre significatif suffit pour une lecture graphique aussi fine.

COMPRENDRE
Chaque couche de 0,4 mm divise le rayonnement transmis par deux. Les 5 mm du protège-seringue en représentent plus de douze : le rayonnement transmis est pratiquement nul, comme le montre la courbe au-delà de 4 mm.



3.5 · Graphe du sujet, avec la lecture à 50 %

Bobine d'un woofer

Bac S 2008 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1 Expliquer comment Frédéric a obtenu la courbe $i(t)$ du document 1 à partir de la courbe $u_R(t)$ enregistrée.

Données utiles $R = 10\ \Omega$

Loi d'Ohm aux bornes du conducteur ohmique : $u_R = R\,i$. Frédéric fait donc calculer par le logiciel, à chaque date, la grandeur :

$$i = \frac{u_R}{R} = \frac{u_R}{10}$$ (avec u_R en volts et i en ampères)

COMPRENDRE
Diviser par une constante ne change pas l'allure : $i(t)$ et $u_R(t)$ ont la même forme, seule l'échelle verticale diffère. C'est pourquoi on visualise un courant en mesurant la tension aux bornes d'une résistance.

2 Quelle est la valeur de l'intensité I du courant en régime permanent ?

En régime permanent, l'intensité ne varie plus : la courbe du document 1 présente un palier horizontal. On lit l'ordonnée de ce palier.

$$I = 430\ \text{mA} = 0{,}430\ \text{A}$$

PIÈGE
Lire 450 mA, qui est la dernière graduation de l'axe. Le palier est un peu en dessous : une petite division vaut 10 mA.

3 Montrer que l'intensité en régime permanent s'écrit $I = \dfrac{E}{R+r}$.

Loi d'additivité des tensions, interrupteur fermé : $E = u_L + u_R$.

Avec $u_R = R\,i$ et, pour la bobine en convention récepteur, $u_L = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + r\,i$:

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

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

$$I = \frac{E}{R+r}$$

COMPRENDRE
En régime permanent, la bobine se comporte comme un simple conducteur ohmique de résistance r : le terme $L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ n'existe que lorsque le courant varie.

4 Vérifier la valeur de la résistance interne r de la bobine.

Données utiles $E = 6{,}0$ V ; $R = 10\ \Omega$; $I = 0{,}430$ A (question 2)

D'après la question 3, $R + r = \dfrac{E}{I}$, donc $r = \dfrac{E}{I} - R$.

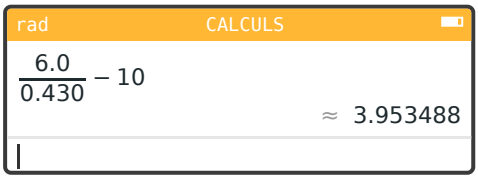
$$r = \frac{6{,}0}{0{,}430} - 10 = 3{,}95\ \Omega$$

$r \approx 4{,}0\ \Omega$: on retrouve la valeur annoncée par Frédéric.

PIÈGE
Laisser I en milliampères : $\dfrac{6{,}0}{430}$ donne une résistance négative après soustraction de R. L'intensité doit être en ampères.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme E et R. Le résultat vient d'une différence de deux valeurs proches (14 et 10) : une petite erreur de lecture sur I se répercute fortement sur r.

À LA CALCULATRICE



5 Quel appareil permet de vérifier que la résistance interne de la bobine vaut $4{,}0\ \Omega$?

On mesure directement la résistance de la bobine, débranchée du circuit, avec un multimètre réglé sur sa fonction de mesure des résistances.

Un **ohmmètre**, branché aux bornes de la bobine seule.

PIÈGE
Brancher l'ohmmètre sur la bobine encore reliée au circuit sous tension : la mesure est fausse et l'appareil peut être endommagé.

6 Déterminer graphiquement, en détaillant la méthode, la constante de temps τ du circuit.

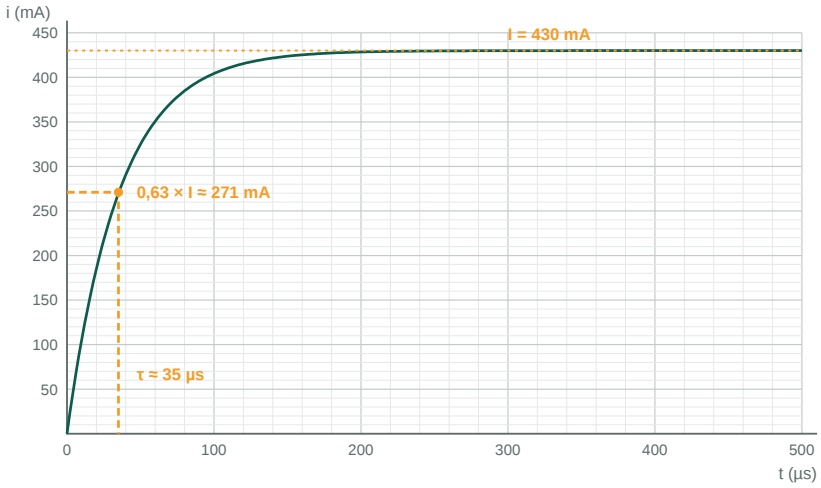
Données utiles $I = 430\ \text{mA}$ (question 2)

À la date $t = \tau$, l'intensité atteint 63 % de sa valeur finale :

$$i(\tau) = 0{,}63 \times I = 0{,}63 \times 430 = 271\ \text{mA}$$

On trace la droite horizontale d'ordonnée 271 mA ; elle coupe la courbe en un point dont on lit l'abscisse.

$\tau \approx 35\ \mu\text{s}$

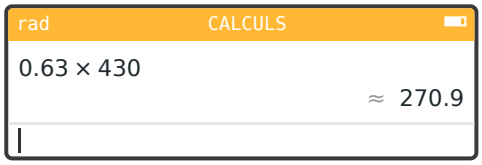


6 · Document 1 complété : lecture de τ à 63 % de la valeur finale

PIÈGE
L'axe des abscisses est gradué en microsecondes : une petite division vaut 10 µs. Pour la suite, il faut écrire $\tau = 35 \times 10^{-6}$ s.

MÉTHODE
Autre méthode acceptée : tracer la tangente à l'origine ; elle coupe l'asymptote $i = I$ à la date $t = \tau$. La lecture à 63 % est plus précise, car le tracé d'une tangente est délicat.

À LA CALCULATRICE



7 Donner l'expression de la constante de temps τ en fonction des grandeurs caractéristiques du circuit.

La constante de temps d'un dipôle RL est le quotient de l'inductance par la résistance totale du circuit, ici $R + r$.

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

PIÈGE
Écrire $\tau = \dfrac{L}{R}$: la résistance interne r de la bobine est en série avec R et compte dans la résistance totale.

8 En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine.

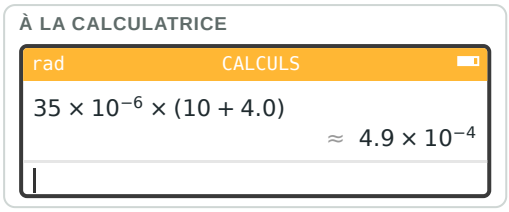
Données utiles $\tau = 35\ \mu\text{s}$ (question 6) ; $R = 10\ \Omega$; $r = 4{,}0\ \Omega$

$$L = \tau\,(R + r)$$

$$L = 35 \times 10^{-6} \times (10 + 4{,}0) = 4{,}9 \times 10^{-4}\ \text{H}$$

$L \approx 4{,}9 \times 10^{-4}\ \text{H} = 0{,}49\ \text{mH}$

COMPRENDRE
Le résultat est bien de l'ordre du millihenry, comme l'annonce le professeur. Avec les valeurs de la partie C, $L = \dfrac{E}{A} = 0{,}50\ \text{mH}$: les deux déterminations concordent.



9 Établir l'équation 1 et vérifier que $A = \dfrac{E}{L}$ et $B = \dfrac{R+r}{L}$.

La loi d'additivité des tensions (question 3) donne :

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

On isole la dérivée : $L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = E - (R+r)\,i$, puis on divise par L :

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

Par identification avec $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = A - B\,i$: $A = \dfrac{E}{L}$ et $B = \dfrac{R+r}{L}$.

COMPRENDRE
$B = \dfrac{1}{\tau}$ et $\dfrac{A}{B} = \dfrac{E}{R+r} = I$. Le circuit RC étudié en terminale obéit à une équation de même forme, avec $\tau = RC$: les méthodes sont identiques.

10 Établir, par une analyse dimensionnelle, l'unité de B dans le système international.

$B = \dfrac{R+r}{L}$, donc $[B] = \dfrac{[R]}{[L]}$.

Loi d'Ohm $u = R\,i$: $[R] = [U]\cdot[I]^{-1}$.

Pour une bobine idéale, $u = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$: $[U] = [L]\cdot[I]\cdot[T]^{-1}$, soit $[L] = [U]\cdot[I]^{-1}\cdot[T]$.

$$[B] = \frac{[U]\cdot[I]^{-1}}{[U]\cdot[I]^{-1}\cdot[T]} = [T]^{-1}$$

B est l'inverse d'un temps : il s'exprime en s^{-1}.

MÉTHODE
Vérification rapide sur l'équation 1 : $B\,i$ s'ajoute à $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$, donc a la même dimension, $[I]\cdot[T]^{-1}$. En divisant par $[I]$, on retrouve $[T]^{-1}$.

11 Compléter par la méthode d'Euler le tableau du document 2.

Données utiles $A = 1{,}2\times10^{4}\ \mathrm{A\cdot s^{-1}}$; $B = 2{,}8\times10^{4}\ \mathrm{s^{-1}}$; $\Delta t = 1{,}0\times10^{-5}\ \mathrm{s}$

À chaque date : $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = A - B\,i(t)$, puis $i(t+\Delta t) = i(t) + \dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\,\Delta t$.

- $t = 0$: à la fermeture de l'interrupteur, $i(0) = 0$, donc $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = A = 1{,}2\times10^{4}\ \mathrm{A\cdot s^{-1}}$.
- $t = 1{,}0\times10^{-5}\ \mathrm{s}$: $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 1{,}2\times10^{4} - 2{,}8\times10^{4}\times0{,}12 = 8{,}6\times10^{3}\ \mathrm{A\cdot s^{-1}}$.
- $t = 2{,}0\times10^{-5}\ \mathrm{s}$: $i = 0{,}12 + 8{,}6\times10^{3}\times1{,}0\times10^{-5} = 0{,}21\ \mathrm{A}$.

$i(0) = 0$ et $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}(0) = 1{,}2\times10^{4}\ \mathrm{A\cdot s^{-1}}$; $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}(1{,}0\times10^{-5}) = 8{,}6\times10^{3}\ \mathrm{A\cdot s^{-1}}$; $i(2{,}0\times10^{-5}) = 0{,}21\ \mathrm{A}$

PIÈGE
Utiliser la dérivée de la ligne en cours pour calculer i de cette même ligne. La méthode d'Euler avance toujours avec la pente de la ligne précédente.

COMPRENDRE
Vérifications : $0 + 1{,}2\times10^{4}\times1{,}0\times10^{-5} = 0{,}12$ A, valeur donnée ; et avec $i = 0{,}21$ A on retrouve $6{,}1\times10^{3}\ \mathrm{A\cdot s^{-1}}$, dernière case fournie par le sujet.

t (s)	$i(t)$ (A)	di/dt (A·s^{-1})
0	**0**	**$1{,}2 \times 10^4$**
$1{,}0 \times 10^{-5}$	0,12	**$8{,}6 \times 10^3$**
$2{,}0 \times 10^{-5}$	**0,21**	$6{,}1 \times 10^3$

11 · Document 2 complété (en orange, les valeurs calculées)

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.2 \times 10^4 - 2.8 \times 10^4 \times 0.12 \approx 8640$

$0.12 + 8640 \times 1.0 \times 10^{-5} \approx 0.2064$

$1.2 \times 10^4 - 2.8 \times 10^4 \times 0.21 \approx 6120$

12 Comment Frédéric peut-il améliorer la précision de la méthode d'Euler ?

La méthode d'Euler suppose que la pente reste constante pendant chaque intervalle Δt ; l'approximation est d'autant meilleure que cet intervalle est court.

Il faut **diminuer le pas** Δt (par exemple $1{,}0 \times 10^{-6}$ s), au prix d'un plus grand nombre de lignes de calcul.

COMPRENDRE

Sur le graphe, les points d'Euler sont au-dessus de la courbe expérimentale : la pente du début d'intervalle est trop forte, car en réalité elle diminue sans cesse. Ici $\Delta t \approx \frac{\tau}{3{,}5}$, ce qui est un pas trop grand.

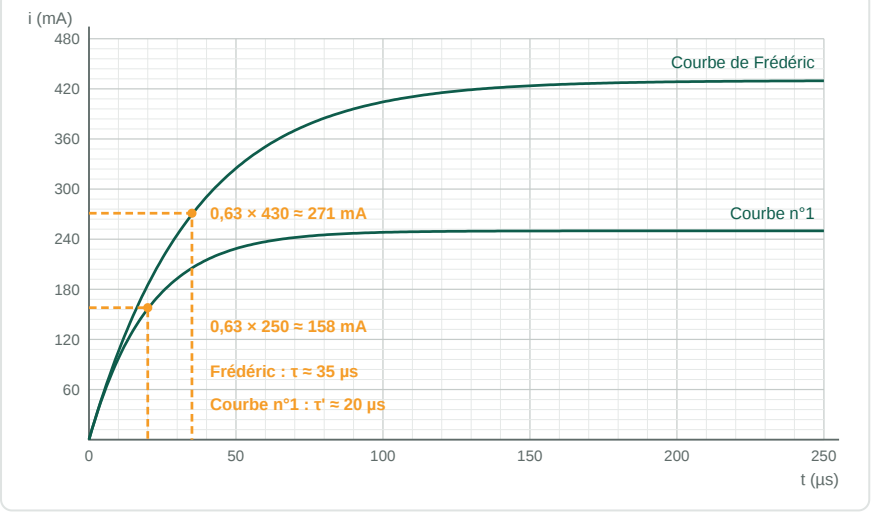
13 Quelle grandeur (E ou R) le professeur a-t-il modifiée pour obtenir la courbe n°1 du document 3 ? Justifier.

On détermine la constante de temps de chaque courbe par la lecture à 63 % de la valeur finale :

- courbe de Frédéric : $0{,}63 \times 430 = 271\ \text{mA}$, atteint à $\tau \approx 35\ \mu\text{s}$;
- courbe n°1 : palier à 250 mA, $0{,}63 \times 250 = 158\ \text{mA}$, atteint à $\tau' \approx 20\ \mu\text{s}$.

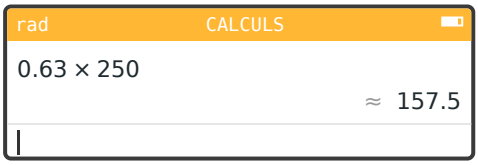
La constante de temps a changé. Or $\tau = \dfrac{L}{R+r}$ ne dépend pas de E, et L et r sont inchangées (même bobine).

Le professeur a modifié la **résistance** R ; comme $\tau' < \tau$, il l'a augmentée.



13 · Document 3 complété : constante de temps de chaque courbe

À LA CALCULATRICE



COMPRENDRE

Cohérence : le palier $\dfrac{E}{R+r}$ baisse aussi quand R augmente. Avec 250 mA, $R' = \dfrac{6{,}0}{0{,}250} - 4{,}0 = 20\ \Omega$, d'où $\tau' = \dfrac{4{,}9 \times 10^{-4}}{24} \approx 20\ \mu\text{s}$.

MÉTHODE

Autre argument : les deux courbes ont la même tangente à l'origine, de pente $A = \dfrac{E}{L}$. Si E avait changé, cette pente initiale serait différente.

La pile sous toutes ses faces

Bac S 2008 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 4 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Légender la figure 1 de l'annexe : nature de chaque électrode, ions métalliques présents dans les béchers, sens conventionnel du courant et sens de déplacement des électrons.

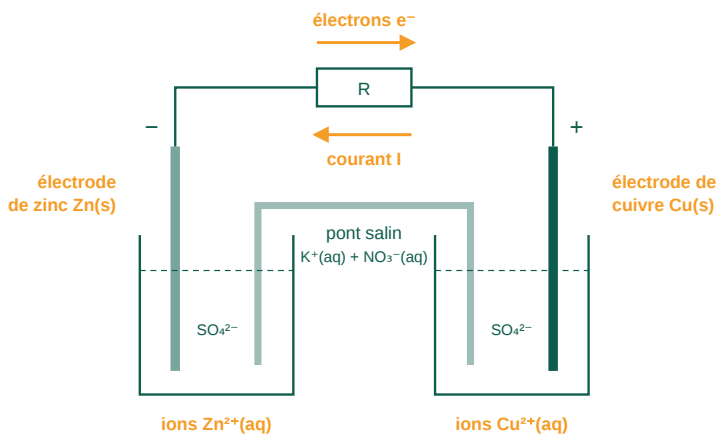
Données utiles l'électrode positive est l'électrode de cuivre

La borne $+$ est en cuivre : l'électrode de droite est en cuivre, celle de gauche (borne $-$) en zinc. Chaque métal plonge dans la solution de son cation : $\mathrm{Zn^{2+}\,(aq)}$ à gauche, $\mathrm{Cu^{2+}\,(aq)}$ à droite.

Dans le circuit extérieur, le courant sort par la borne $+$ et va du cuivre vers le zinc à travers la résistance ; les électrons circulent en sens inverse.

Voir la figure 1 complétée : zinc $(-)$ et $\mathrm{Zn^{2+}}$ à gauche, cuivre $(+)$ et $\mathrm{Cu^{2+}}$ à droite, courant du cuivre vers le zinc, électrons du zinc vers le cuivre.

PIÈGE
Dessiner les électrons dans le pont salin ou dans les solutions. Ils ne circulent que dans les métaux (électrodes, fils, résistance) ; en solution, ce sont les ions qui portent le courant.



1.1 · Figure 1 de l'annexe complétée (en orange : ce que l'élève ajoute)

1.2 Écrire les équations des réactions aux électrodes en précisant, pour chacune, s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.

Les électrons quittent l'électrode de zinc : le zinc en cède, il est oxydé. Ils arrivent à l'électrode de cuivre, où les ions cuivre(II) les captent : ils sont réduits.

Électrode de zinc, oxydation : $\mathrm{Zn\,(s) = Zn^{2+}\,(aq) + 2\,e^-}$; électrode de cuivre, réduction : $\mathrm{Cu^{2+}\,(aq) + 2\,e^- = Cu\,(s)}$

MÉTHODE
Partir du sens des électrons. L'électrode qui les envoie dans le circuit est le siège d'une oxydation (anode) ; celle qui les reçoit est le siège d'une réduction (cathode). Dans une pile, l'anode est la borne négative.

1.3 En déduire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile.

Chaque demi-équation met en jeu 2 électrons : on les additionne membre à membre.

$\mathrm{Cu^{2+}\,(aq) + Zn\,(s) = Cu\,(s) + Zn^{2+}\,(aq)}$

1.4.1 Donner l'expression littérale du quotient de réaction associé à l'équation de la question 1.3.

Les solides $\mathrm{Zn(s)}$ et $\mathrm{Cu(s)}$ n'apparaissent pas dans le quotient de réaction.

$$Q_r = \frac{[\mathrm{Zn^{2+}}]}{[\mathrm{Cu^{2+}}]}$$

1.4.2 Calculer la valeur $Q_{r,i}$ du quotient de réaction dans l'état initial.

Données utiles $[\mathrm{Cu^{2+}}]_i = [\mathrm{Zn^{2+}}]_i = 1{,}0 \text{ mol} \cdot \mathrm{L}^{-1}$

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

$Q_{r,i} = 1{,}0$ (sans unité)

1.4.3 Cette valeur est-elle en accord avec la polarité de la pile indiquée dans l'énoncé ? Justifier.

Données utiles $K = 1{,}9 \times 10^{37}$ pour $\mathrm{Cu^{2+}(aq) + Zn(s) = Cu(s) + Zn^{2+}(aq)}$; $Q_{r,i} = 1{,}0$ (1.4.2)

$Q_{r,i} = 1{,}0 < K = 1{,}9 \times 10^{37}$: le système évolue spontanément dans le sens direct de l'équation.

Dans ce sens, le zinc est oxydé : il fournit des électrons au circuit extérieur, l'électrode de zinc est donc la borne négative. Les ions $\mathrm{Cu^{2+}}$ consomment des électrons à l'électrode de cuivre, qui est la borne positive.

Oui : $Q_{r,i} < K$ impose le sens direct, donc le cuivre est bien l'électrode positive.

MÉTHODE
Critère d'évolution : comparer $Q_{r,i}$ à K. Si $Q_{r,i} < K$, sens direct ; si $Q_{r,i} > K$, sens inverse. On en déduit quelle espèce est oxydée, donc d'où partent les électrons, donc la borne négative.

1.5 Comment évoluent les concentrations des ions métalliques dans chacun des béchers ?

D'après l'équation de fonctionnement, les ions $\mathrm{Cu^{2+}}$ sont consommés et les ions $\mathrm{Zn^{2+}}$ sont formés.

$[\mathrm{Cu^{2+}}]$ diminue dans le bécher de droite ; $[\mathrm{Zn^{2+}}]$ augmente dans le bécher de gauche.

1.6 En déduire le sens du mouvement des ions présents dans le pont salin.

Chaque solution doit rester électriquement neutre. Côté zinc, des charges positives ($\mathrm{Zn^{2+}}$) apparaissent : des anions viennent les compenser. Côté cuivre, des charges positives ($\mathrm{Cu^{2+}}$) disparaissent : des cations viennent les remplacer.

Les ions $\mathrm{NO_3^-}$ migrent vers le bécher contenant le zinc, les ions $\mathrm{K^+}$ vers le bécher contenant le cuivre.

COMPRENDRE
Le pont salin ferme le circuit. Sans lui, les charges s'accumuleraient dans les béchers et la pile cesserait aussitôt de débiter. Les cations y vont dans le sens du courant, les anions en sens inverse.

2.1 Identifier les deux couples oxydant/réducteur qui interviennent dans le fonctionnement de l'accumulateur en générateur.

Données utiles $PbO_2\,(s) + 4\,H^+\,(aq) + Pb\,(s) = Pb^{2+}\,(aq) + Pb^{2+}\,(aq) + 2\,H_2O\,(l)$

Le plomb est oxydé : $Pb\,(s) = Pb^{2+}\,(aq) + 2\,e^-$.

L'oxyde de plomb est réduit :
$PbO_2\,(s) + 4\,H^+\,(aq) + 2\,e^- = Pb^{2+}\,(aq) + 2\,H_2O\,(l)$.

La somme des deux demi-équations redonne bien l'équation de l'énoncé.

Couples : $Pb^{2+}\,(aq)$ / $Pb\,(s)$ et $PbO_2\,(s)$ / $Pb^{2+}\,(aq)$

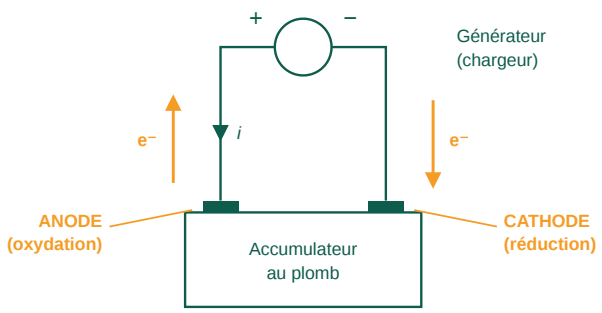
COMPRENDRE
L'ion Pb^{2+} est écrit deux fois dans l'équation car il a deux origines. Il est l'oxydant du premier couple et le réducteur du second : il appartient aux deux.

2.2 Sur la figure 2, indiquer l'anode et la cathode de l'accumulateur pendant la charge.

Les électrons circulent en sens inverse du courant i imposé par le chargeur. Ils quittent donc l'électrode de gauche, reliée à la borne $+$ du générateur : il s'y produit une oxydation, c'est l'anode. Ils arrivent à l'électrode de droite, reliée à la borne $-$: il s'y produit une réduction, c'est la cathode.

Anode : électrode de gauche (reliée au $+$ du chargeur) ; cathode : électrode de droite (reliée au $-$).

PIÈGE
Associer « anode » à « borne négative » comme pour la pile. L'anode est toujours le siège de l'oxydation ; dans un électrolyseur, elle est reliée à la borne positive du générateur.



2.2 · Figure 2 de l'annexe complétée : les électrons circulent en sens inverse du courant i

2.3 La transformation qui a lieu lors de la charge est-elle spontanée ou forcée ?

Le chargeur impose un courant de sens opposé à celui que l'accumulateur débiterait seul. Le système évolue alors dans le sens inverse de son sens spontané, grâce à l'énergie électrique reçue.

La transformation est forcée.

2.4 Écrire l'équation de la réaction qui modélise, dans le sens direct, la transformation qui se produit lors de la charge.

La charge est la réaction inverse de celle de la décharge.

$2\,Pb^{2+}\,(aq) + 2\,H_2O\,(l) = PbO_2\,(s) + 4\,H^+\,(aq) + Pb\,(s)$

2.5 Comment évolue le quotient de cette réaction par rapport à la constante d'équilibre lors de la charge ?

Pour l'équation de la question 2.4 : $Q_r = \dfrac{[\mathrm{H^+}]^4}{[\mathrm{Pb^{2+}}]^2}$, de constante d'équilibre K.

Spontanément, le système évolue dans le sens inverse de cette équation (décharge) : c'est donc que $Q_r > K$.

Pendant la charge, $[\mathrm{Pb^{2+}}]$ diminue et $[\mathrm{H^+}]$ augmente : Q_r augmente.

Q_r, déjà supérieur à K, augmente : il s'éloigne de K.

COMPRENDRE
C'est la signature d'une transformation forcée. Une évolution spontanée rapproche toujours Q_r de K ; ici, l'énergie fournie par le générateur l'en écarte.

3.1 Calculer la quantité de matière de dihydrogène consommée pendant la durée du trajet.

Données utiles $m(\mathrm{H_2}) = 2{,}5$ kg ; $M(\mathrm{H}) = 1{,}00\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

$M(\mathrm{H_2}) = 2 \times M(\mathrm{H}) = 2{,}00\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$ et $m(\mathrm{H_2}) = 2{,}5 \times 10^3$ g.

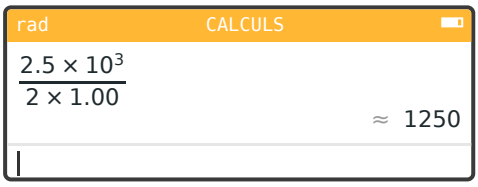
$$n(\mathrm{H_2}) = \frac{m(\mathrm{H_2})}{M(\mathrm{H_2})} = \frac{2{,}5 \times 10^3}{2{,}00} = 1{,}25 \times 10^3\ \mathrm{mol}$$

$n(\mathrm{H_2}) \approx 1{,}3 \times 10^3$ mol (valeur non arrondie $1{,}25 \times 10^3$ mol conservée pour la suite)

PIÈGE
Laisser la masse en kilogrammes alors que la masse molaire est en $\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$, ou prendre $M(\mathrm{H}) = 1{,}00$ au lieu de $M(\mathrm{H_2}) = 2{,}00\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse 2,5 kg, donnée la moins précise. On garde cependant la valeur non arrondie dans les calculs suivants pour ne pas cumuler les arrondis.

À LA CALCULATRICE



3.2 En déduire la quantité d'électrons (en mol) qui circule dans le circuit extérieur.

Données utiles $\mathrm{H_2\,(g) = 2\,H^+\,(aq) + 2\,e^-}$; $n(\mathrm{H_2}) = 1{,}25 \times 10^3$ mol (3.1)

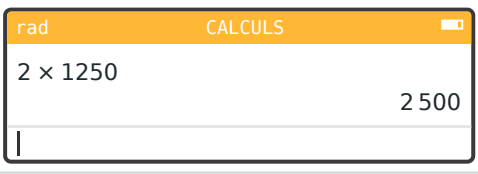
D'après la demi-équation à la borne négative, chaque mole de dihydrogène consommée libère 2 moles d'électrons :

$n(e^-) = 2\,n(\mathrm{H_2}) = 2 \times 1{,}25 \times 10^3$

$n(e^-) = 2{,}5 \times 10^3$ mol

MÉTHODE
Avec un tableau d'avancement de $\mathrm{O_2 + 2\,H_2 = 2\,H_2O}$: pour un avancement x, $n(\mathrm{H_2})$ consommée vaut $2x$ et 4 électrons sont échangés, soit $n(e^-) = 4x = 2\,n(\mathrm{H_2})$. Même résultat.

À LA CALCULATRICE



3.3 Calculer la quantité d'électricité totale débitée par la pile, puis l'intensité du courant, supposée constante pendant le trajet.

Données utiles $F = 9{,}65 \times 10^4$ C · mol^{-1} ; $\Delta t = 6$ h 40 min ; $n(e^-) = 2{,}5 \times 10^3$ mol (3.2)

Quantité d'électricité : $Q = n(e^-) \times F = 2{,}5 \times 10^3 \times 9{,}65 \times 10^4 = 2{,}4 \times 10^8$ C

Durée : $\Delta t = 6 \times 3600 + 40 \times 60 = 2{,}40 \times 10^4$ s

Intensité constante : $Q = I \times \Delta t$, donc

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{2{,}41 \times 10^8}{2{,}40 \times 10^4} = 1{,}0 \times 10^4 \text{ A}$$

$Q = 2{,}4 \times 10^8$ C et $I = 1{,}0 \times 10^4$ A

PIÈGE

Laisser la durée en heures ou écrire 6 h 40 min = 6,40 h. Dans $Q = I \times \Delta t$, la durée est en secondes : 40 min valent 2 400 s, soit 0,67 h.

COMPRENDRE

Le faraday est la charge d'une mole d'électrons : $F = N_A \times e = 6{,}02 \times 10^{23} \times 1{,}60 \times 10^{-19} \approx 9{,}6 \times 10^4$ C · mol^{-1}. Les deux dernières données de l'énoncé permettent de le retrouver.

À LA CALCULATRICE

