Corrigé complet — Bac S 2018 Nouvelle-Calédonie (ancien programme)

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

Ex 1	**Du vin au vinaigre** Formule topologique · Groupes caractéristiques · Spectroscopie infrarouge · Acide fort et acide faible · Bilan de matière · Masse volumique	4 pts	40 min	7 questions	p. 2
Ex 2	**Détecteur de fumées** Énergie d'un photon · Diffraction · Mouvement dans un champ électrique uniforme · Deuxième loi de Newton · Énergie cinétique · Niveau d'intensité sonore	11 pts	1 h 50	9 questions	p. 5
Ex 3	**Contrôle du dioxyde de carbone dans l'eau d'un aquarium** Couples acide-base et $\text{p}K_A$ · Diagrammes de distribution et de prédominance · Titrage suivi par pH-métrie · Relation à l'équivalence · Concentration en masse	5 pts	50 min	9 questions	p. 10
Ex 4	**Spécialité : Economiser de l'énergie en recyclant des canettes en aluminium** Énergie et puissance électriques · Électrolyse et charge échangée · Variation d'énergie interne · Rendement énergétique · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 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.

Du vin au vinaigre

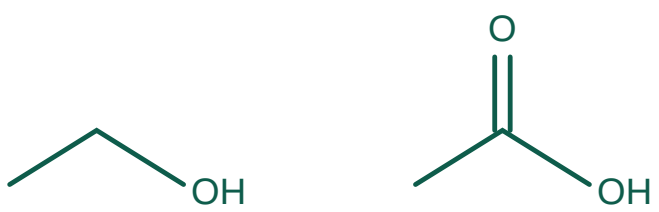
Bac S 2018 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 40 min**

1.1 Représenter les formules topologiques de l'éthanol et de l'acide éthanoïque.

Données utiles éthanol C_2H_6O ; acide éthanoïque $C_2H_4O_2$

Éthanol : CH_3-CH_2-OH. Acide éthanoïque : CH_3-COOH.

Formules topologiques : voir la figure (chaîne carbonée en ligne brisée, O et OH écrits).



éthanol — acide éthanoïque

1.1 · Formules topologiques de l'éthanol et de l'acide éthanoïque

PIÈGE
Écrire CH_3 au bout de la chaîne ou oublier le H du groupe OH : la formule n'est alors plus une formule topologique correcte.

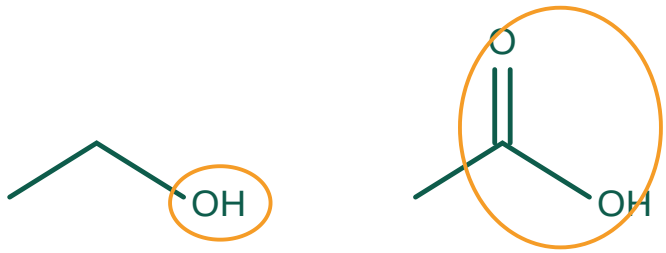
MÉTHODE
En formule topologique, chaque extrémité ou sommet de la ligne brisée est un atome de carbone. Les H portés par les carbones ne s'écrivent pas ; les autres atomes (O) et leurs H s'écrivent.

1.2 Entourer les groupes caractéristiques sur les formules topologiques précédentes. Nommer les familles chimiques associées à ces groupes.

Éthanol : groupe hydroxyle $-OH$, famille des **alcools**.

Acide éthanoïque : groupe carboxyle $-COOH$, famille des **acides carboxyliques**.

Éthanol : alcool ; acide éthanoïque : acide carboxylique (groupes entourés sur la figure).



groupe hydroxyle — alcool

groupe carboxyle — acide carboxylique

1.2 · Groupes caractéristiques entourés

PIÈGE
Entourer séparément C=O et OH dans l'acide et annoncer « cétone et alcool ». Portés par le même carbone, ils forment un seul groupe, le groupe carboxyle.

COMPRENDRE
Le sujet demande la famille (alcool, acide carboxylique), pas seulement le nom du groupe (hydroxyle, carboxyle). Donner les deux évite toute perte de points.

1.3 Écrire l'équation de la réaction de fermentation acétique.

Réactifs : l'éthanol et le dioxygène. Produits : l'acide éthanoïque et l'eau.

$$C_2H_6O + O_2 \longrightarrow C_2H_4O_2 + H_2O$$

COMPRENDRE
L'enzyme de la bactérie est un catalyseur : elle accélère la réaction mais n'apparaît pas dans l'équation. La flèche simple traduit une transformation totale.

MÉTHODE
Vérifier la conservation des éléments : 2 C, 6 H et 3 O de chaque côté. Tous les nombres stœchiométriques valent 1.

1.4 Indiquer si le spectre infrarouge est celui de l'éthanol ou celui de l'acide éthanoïque. Justifier.

Données utiles $\mathrm{O{-}H}$ alcool : 3200 – 3400 $\mathrm{cm^{-1}}$; $\mathrm{O{-}H}$ acide carboxylique : 2500 – 3300 $\mathrm{cm^{-1}}$; $\mathrm{C{=}O}$ acide carboxylique : 1700 – 1725 $\mathrm{cm^{-1}}$

Le spectre présente :

- une bande intense et fine vers 1700 $\mathrm{cm^{-1}}$, caractéristique d'une liaison $\mathrm{C{=}O}$; l'éthanol n'en possède pas ;
- une bande très large entre 2500 et 3300 $\mathrm{cm^{-1}}$, caractéristique de la liaison $\mathrm{O{-}H}$ d'un acide carboxylique.

Le spectre est celui de l'**acide éthanoïque**.

PIÈGE
Sur un spectre de transmittance, une bande d'absorption est un creux, et l'axe des nombres d'onde est gradué de droite à gauche. Les creux sous 1500 $\mathrm{cm^{-1}}$ ne s'interprètent pas.

MÉTHODE
Associer chaque bande citée à une liaison et à un intervalle de la table, puis conclure. Ici la bande $\mathrm{C{=}O}$ suffit à écarter l'éthanol.

1.5 Le pH d'une solution aqueuse d'acide éthanoïque de concentration molaire 2,5 mmol·L^{-1} est égal à 3,7. L'acide éthanoïque est-il un acide fort ? Justifier.

Données utiles $c = 2{,}5 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $\mathrm{pH} = 3{,}7$

Si l'acide était fort, sa réaction avec l'eau serait totale : $[\mathrm{H_3O^+}] = c$, donc

$$\mathrm{pH} = -\log c = -\log\left(2{,}5 \times 10^{-3}\right) = 2{,}6$$

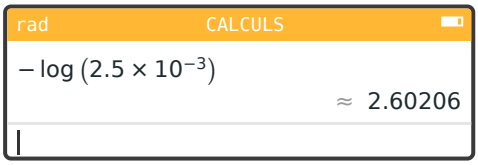
Le pH mesuré, 3,7, est supérieur à 2,6 : $[\mathrm{H_3O^+}] < c$, la réaction avec l'eau n'est pas totale.

$\mathrm{pH} = 3{,}7 > -\log c = 2{,}6$: l'acide éthanoïque n'est pas un acide fort, c'est un acide **faible**.

PIÈGE
Répondre « faible car le pH n'est pas très bas » ne rapporte rien : il faut comparer le pH mesuré à $-\log c$, avec c en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ et non en mmol·L^{-1}.

COMPRENDRE
Autre rédaction possible : $[\mathrm{H_3O^+}] = 10^{-3{,}7} = 2{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, environ douze fois plus petit que c. Seule une faible part des molécules d'acide a réagi avec l'eau.

À LA CALCULATRICE



2.1 Montrer que la fermentation acétique de 1,0 g d'éthanol permet d'obtenir 1,3 g d'acide éthanoïque.

Données utiles $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{C}) = 12{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; équation (1.3)

Masses molaires :

$M(\mathrm{C_2H_6O}) = 2 \times 12{,}0 + 6 \times 1{,}0 + 16{,}0 = 46{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

$M(\mathrm{C_2H_4O_2}) = 2 \times 12{,}0 + 4 \times 1{,}0 + 2 \times 16{,}0 = 60{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

La transformation est totale et, d'après l'équation, une mole d'éthanol consommée donne une mole d'acide : $n(\mathrm{C_2H_4O_2})_{\text{formé}} = n(\mathrm{C_2H_6O})_{\text{consommé}}$, soit

$$m(\mathrm{C_2H_4O_2}) = \frac{m(\mathrm{C_2H_6O})}{M(\mathrm{C_2H_6O})} \times M(\mathrm{C_2H_4O_2}) = \frac{1{,}0}{46{,}0} \times 60{,}0 = 1{,}3\ \mathrm{g}$$

$m(\mathrm{C_2H_4O_2}) = 1{,}3$ g : on retrouve bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Les masses ne se conservent pas d'une espèce à l'autre : l'égalité donnée par l'équation porte sur les quantités de matière. Il faut passer par $n = \frac{m}{M}$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse 1,0 g, donnée la moins précise. La masse augmente car chaque molécule gagne un atome d'oxygène et perd deux atomes d'hydrogène.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2 \times 12.0 + 6 \times 1.0 + 16.0$
≈ 46

$2 \times 12.0 + 4 \times 1.0 + 2 \times 16.0$
≈ 60

$\frac{1.0}{46.0} \times 60.0$
≈ 1.304348

2.2 Déterminer le degré alcoolique du vin qui a permis d'obtenir le vinaigre de vin blanc dont l'étiquette est reproduite en introduction.

Données utiles étiquette : vinaigre à 6° ; $\rho(\text{éthanol}) = 0{,}79\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; masses molaires (2.1)

Masse d'acide dans le vinaigre. Un vinaigre à 6° contient 6 g d'acide éthanoïque dans 100 g, soit environ 100 mL de vinaigre.

Masse d'éthanol dans le vin. La transformation se fait à volume constant : ces 100 mL de vinaigre proviennent de 100 mL de vin. Elle est totale : tout l'éthanol du vin a été transformé. D'après 2.1 :

$$m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = m(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) \times \frac{M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})}{M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)} = 6{,}0 \times \frac{46{,}0}{60{,}0} = 4{,}6\ \text{g}$$

Volume d'éthanol. $\rho = \frac{m}{V}$, donc

$$V(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})}{\rho} = \frac{4{,}6}{0{,}79} = 5{,}8\ \text{mL}$$

Il y avait 5,8 mL d'éthanol pur dans 100 mL de vin.

Le degré alcoolique du vin était d'environ $5{,}8^\circ$.

PIÈGE
Confondre les deux degrés : celui du vinaigre est une masse d'acide (g pour 100 g), celui du vin un volume d'éthanol (mL pour 100 mL). La masse volumique 0,79 est celle de l'éthanol, pas celle du vin.

COMPRENDRE
L'étiquette indique 6°, avec un seul chiffre significatif : répondre « environ 6° » est accepté. On garde ici deux chiffres, comme pour ρ et pour le résultat de 2.1.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer chaque étape (étiquette, acide dans 100 mL, éthanol correspondant, volume, degré) et citer les hypothèses utilisées (transformation totale, volume constant). Une démarche claire rapporte des points même inaboutie.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{6.0 \times 46.0}{60.0}$
≈ 4.6

$\frac{4.6}{0.79}$
≈ 5.822785

Détecteur de fumées

Bac S 2018 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **11 points** **Durée conseillée 1 h 50**

1.1 Vérifier que le rayonnement émis par la DEL du détecteur optique appartient bien au domaine de l'infrarouge.

Données utiles $E = 1{,}4$ eV ; $1\ \text{eV} = 1{,}6 \times 10^{-19}$ J ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

Énergie d'un photon : $E = h\nu = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc $\lambda = \dfrac{h\,c}{E}$, avec E en joules.

$$\lambda = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}4 \times 1{,}6 \times 10^{-19}} = 8{,}9 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

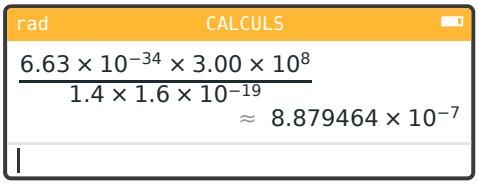
Le domaine visible s'étend de 400 nm à 800 nm environ ; l'infrarouge commence au-delà de 800 nm.

$\lambda = 8{,}9 \times 10^{2}\ \text{nm} > 800\ \text{nm}$: le rayonnement de la DEL est bien infrarouge.

PIÈGE
Laisser l'énergie en électronvolts dans la formule. Il faut la convertir en joules : $1{,}4 \times 1{,}6 \times 10^{-19}$ J.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise (1,4 eV). Les limites du visible (400 nm et 800 nm) sont à connaître : sans elles, impossible de conclure.

À LA CALCULATRICE



1.2 Les particules de fumée ont une taille comprise entre 0,1 µm et 100 µm. Quel phénomène physique peut contribuer à la déviation du faisceau lumineux ? Justifier.

Données utiles $\lambda = 8{,}9 \times 10^{-7}$ m (1.1)

La longueur d'onde du rayonnement vaut $\lambda = 0{,}89\ \mu\text{m}$.

Une onde est diffractée par un obstacle dont la taille est du même ordre de grandeur que sa longueur d'onde ; pour la lumière, le phénomène reste observable jusqu'à des obstacles d'une centaine de longueurs d'onde, soit ici environ $89\ \mu\text{m}$.

Les particules de fumée (de $0{,}1\ \mu\text{m}$ à $100\ \mu\text{m}$) ont des tailles qui entrent dans cet intervalle.

Le faisceau est dévié par **diffraction** sur les particules de fumée, car leur taille est comparable à $\lambda = 0{,}89\ \mu\text{m}$.

MÉTHODE
Pour justifier une diffraction : comparer la taille de l'obstacle à la longueur d'onde, dans la même unité. Plus l'obstacle est petit devant λ, plus l'onde s'étale.

1.3 Expliquer brièvement pourquoi l'alarme ne se déclenche qu'en présence de fumées.

Sur la figure 1, le récepteur n'est pas dans l'axe de la DEL : sans fumée, le faisceau se propage en ligne droite, ne l'atteint pas et finit sur le matériau absorbant, qui l'empêche d'être renvoyé par les parois.

Avec de la fumée dans la cavité, les particules dévient le rayonnement dans toutes les directions : une partie arrive sur le récepteur, qui produit alors un courant électrique.

Seule la lumière déviée par la fumée peut atteindre le récepteur : sans fumée, pas de courant, donc pas d'alarme.

2.1 Vérifier quantitativement que le poids de la particule α est négligeable devant la force électrostatique.

Données utiles $m_\alpha = 6{,}64 \times 10^{-27}$ kg ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $q_\alpha = 2e$; $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C ; $U = 9{,}0$ V ; $d = 3{,}0$ cm

Poids : $P = m_\alpha\, g = 6{,}64 \times 10^{-27} \times 9{,}81 = 6{,}51 \times 10^{-26}$ N

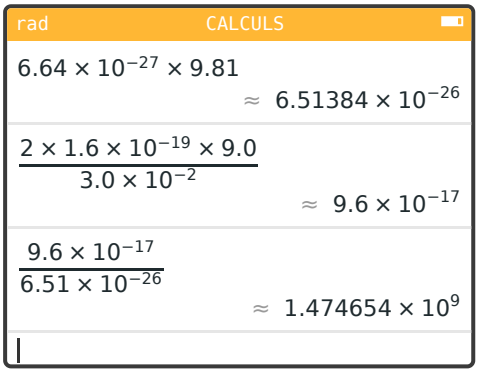
Force électrostatique : $F_e = q_\alpha\, E = \dfrac{2\,e\,U}{d}$

$$F_e = \frac{2 \times 1{,}6 \times 10^{-19} \times 9{,}0}{3{,}0 \times 10^{-2}} = 9{,}6 \times 10^{-17}\ \text{N}$$

$\dfrac{F_e}{P} \approx 1{,}5 \times 10^{9}$: la force électrostatique est environ un milliard de fois plus grande que le poids, qui est donc négligeable.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 de la charge $q_\alpha = 2e$, ou laisser d en centimètres. « Quantitativement » impose de calculer les deux forces et de les comparer par un rapport.

À LA CALCULATRICE



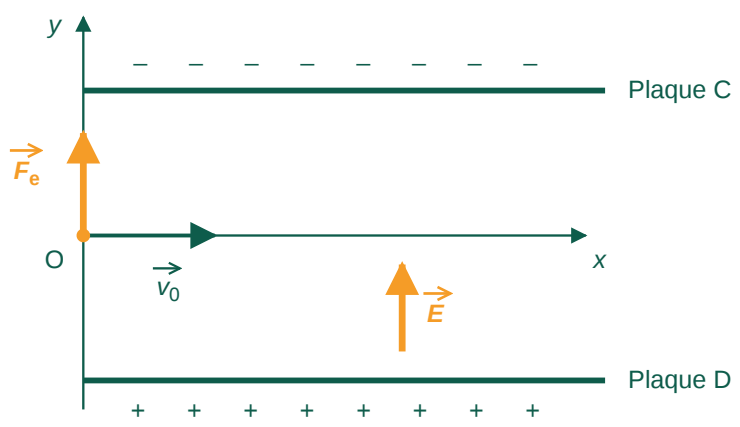
2.2 Reproduire le schéma de la figure 3 et y représenter le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{F}_e$ subie par la particule α au point O. Justifier.

Dans un condensateur plan, le champ $\vec{E}$ est uniforme, perpendiculaire aux plaques et orienté de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement : ici de D vers C, donc selon l'axe (Oy), vers le haut.

La force s'écrit $\vec{F}_e = q_\alpha\, \vec{E} = 2e\, \vec{E}$. La charge q_α est positive : $\vec{F}_e$ a la même direction et le même sens que $\vec{E}$.

$\vec{E}$ et $\vec{F}_e$ sont perpendiculaires aux plaques et dirigés de D vers C (sens des y croissants) ; $\vec{F}_e$ est appliquée en O.

PIÈGE
Orienter $\vec{E}$ vers la plaque positive. Le champ « descend les potentiels » : il part de la plaque $+$ et pointe vers la plaque $-$. Le sens de la force dépend ensuite du signe de la charge.



Champ uniforme : même vecteur en tout point entre les plaques, donc aussi en O.

2.2 · Figure 3 reproduite : champ et force au point O (sans souci d'échelle)

2.3 Établir que les équations horaires du mouvement de la particule α sont $x(t) = v_0\,t$ et $y(t) = \dfrac{e\,U}{m_\alpha\,d}\,t^2$.

Système {particule α}, de masse m_α constante ; référentiel terrestre supposé galiléen ; seule force retenue : $\vec{F}_e = 2e\,\vec{E}$ (poids négligé, 2.1).

Deuxième loi de Newton : $\vec{F}_e = m_\alpha\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \dfrac{2e}{m_\alpha}\,\vec{E}$. Comme $\vec{E}$ est selon (Oy) et que $E = \dfrac{U}{d}$:

$$a_x = 0 \qquad a_y = \frac{2\,e\,U}{m_\alpha\,d}$$

On intègre une première fois ($\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$). À $t = 0$, $\vec{v}_0$ est selon (Ox) : $v_x(0) = v_0$ et $v_y(0) = 0$.

$$v_x = v_0 \qquad v_y = \frac{2\,e\,U}{m_\alpha\,d}\,t$$

On intègre une seconde fois. À $t = 0$, la particule est en O : $x(0) = 0$ et $y(0) = 0$, les constantes d'intégration sont nulles.

$$x = v_0\,t \qquad y = \frac{1}{2} \times \frac{2\,e\,U}{m_\alpha\,d}\,t^2$$

$$\boxed{x(t) = v_0\,t \text{ et } y(t) = \frac{e\,U}{m_\alpha\,d}\,t^2}$$

PIÈGE
Le $\frac{1}{2}$ de l'intégration se simplifie avec le 2 de la charge $2e$: c'est pourquoi il n'apparaît pas dans $y(t)$. Écrire les constantes nulles sans citer les conditions initiales fait perdre des points.

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi de Newton, projection, puis deux intégrations en déterminant chaque constante avec les conditions initiales.

2.4 Déterminer la coordonnée y_L de la particule lorsqu'elle a parcouru $L = 4{,}0$ cm suivant l'axe (Ox). Expliquer pourquoi son mouvement peut être considéré comme rectiligne.

Données utiles $L = 4{,}0$ cm ; $v_0 = 1{,}6 \times 10^7$ m · s^{-1} ; $U = 9{,}0$ V ; $d = 3{,}0$ cm ; $m_\alpha = 6{,}64 \times 10^{-27}$ kg ; $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C

La particule atteint $x = L$ à la date t_L telle que $L = v_0\,t_L$, soit $t_L = \dfrac{L}{v_0}$.

On reporte dans $y(t)$:

$$y_L = \frac{e\,U}{m_\alpha\,d}\left(\frac{L}{v_0}\right)^2$$

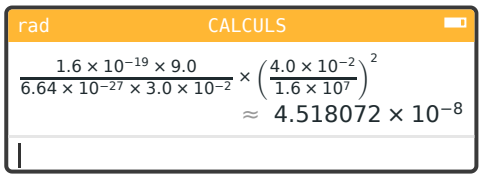
$$y_L = \frac{1{,}6 \times 10^{-19} \times 9{,}0}{6{,}64 \times 10^{-27} \times 3{,}0 \times 10^{-2}} \times \left(\frac{4{,}0 \times 10^{-2}}{1{,}6 \times 10^{7}}\right)^2 = 4{,}5 \times 10^{-8}\ \text{m}$$

La déviation à la sortie, 45 nm, est environ un million de fois plus petite que la longueur parcourue (4,0 cm) : la trajectoire, en toute rigueur parabolique, ne se distingue pas de l'axe (Ox).

$y_L = 4{,}5 \times 10^{-8}$ m, négligeable devant L : le mouvement est pratiquement rectiligne.

COMPRENDRE
La particule ne reste que $t_L = 2{,}5 \times 10^{-9}$ s entre les plaques : la force n'a pas le temps de la dévier. C'est cohérent avec la figure 2, qui annonce une trajectoire sans déviation.

À LA CALCULATRICE



2.5 Montrer que l'énergie cinétique initiale des particules α est suffisante pour ioniser des molécules de dioxygène.

Données utiles $m_\alpha = 6{,}64 \times 10^{-27}$ kg ; $v_0 = 1{,}6 \times 10^7$ m · s^{-1} ; énergie d'ionisation du dioxygène : 12 eV par molécule ; 1 eV $= 1{,}6 \times 10^{-19}$ J

$$E_c = \frac{1}{2}\,m_\alpha\,v_0^2 = \frac{1}{2} \times 6{,}64 \times 10^{-27} \times (1{,}6 \times 10^7)^2 = 8{,}5 \times 10^{-13}\ \text{J}$$

En électronvolts : $E_c = \dfrac{8{,}5 \times 10^{-13}}{1{,}6 \times 10^{-19}} = 5{,}3 \times 10^6$ eV, soit 5,3 MeV.

$E_c = 5{,}3 \times 10^6$ eV $\gg 12$ eV : l'énergie cinétique d'une particule α suffit très largement à ioniser une molécule de dioxygène.

COMPRENDRE
Avec 5,3 MeV, une seule particule α peut ioniser plusieurs centaines de milliers de molécules avant d'être arrêtée : c'est ce qui crée le courant mesuré dans la chambre.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times 6.64 \times 10^{-27} \times (1.6 \times 10^{7})^{2}$
$\approx 8.4992 \times 10^{-13}$

$$\frac{8.4992 \times 10^{-13}}{1.6 \times 10^{-19}}$$
≈ 5312000

3 À l'aide du plan de l'appartement, déterminer si l'emplacement du détecteur est satisfaisant pour réveiller une personne endormie.

Données utiles réveil si $L > 75$ dB ; $L_1 = 85$ dB à $d_1 = 3$ m ; $L_2 = L_1 + 20\log\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$; hauteur sous plafond : 2,5 m ; échelle du plan : flèche de 1,60 m

Démarche. Il faut calculer le niveau sonore L_2 au niveau de la tête du dormeur, à la distance d_2 du détecteur, et le comparer à 75 dB.

Distance horizontale. Sur le plan, la flèche de $1{,}60$ m mesure $2{,}6$ cm. Entre le détecteur et l'oreiller le plus éloigné (cas le moins favorable), on mesure $6{,}0$ cm :

$$D = \frac{1{,}60 \times 6{,}0}{2{,}6} = 3{,}7 \text{ m}$$

Distance verticale. Le détecteur est au plafond, à $2{,}5$ m du sol. On suppose la tête du dormeur à environ $0{,}5$ m du sol : le dénivelé vaut $H = 2{,}5 - 0{,}5 = 2{,}0$ m.

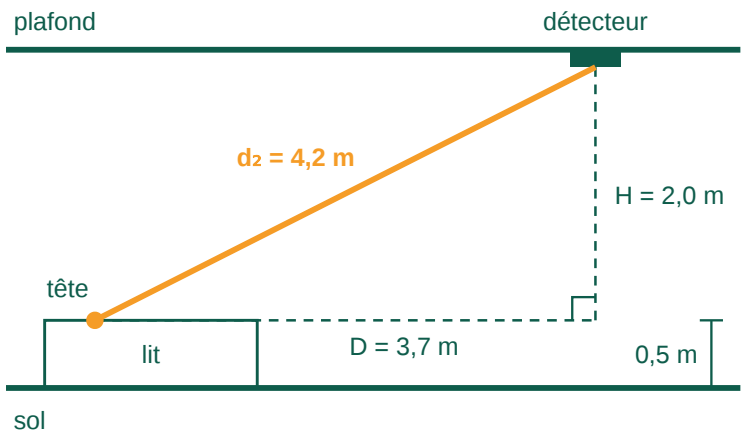
Distance détecteur–dormeur (théorème de Pythagore) :

$$d_2 = \sqrt{D^2 + H^2} = \sqrt{3{,}7^2 + 2{,}0^2} = 4{,}2 \text{ m}$$

Niveau sonore reçu :

$$L_2 = L_1 + 20\log\left(\frac{d_1}{d_2}\right) = 85 + 20\log\left(\frac{3}{4{,}2}\right) = 82 \text{ dB}$$

$L_2 \approx 82$ dB > 75 dB : le dormeur est réveillé, l'emplacement du détecteur est satisfaisant.



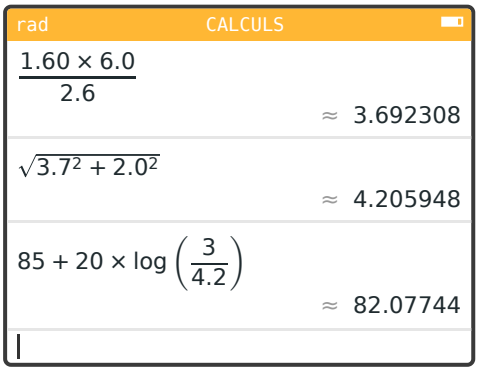
3 · Vue de côté : distance entre le détecteur et la tête du dormeur

PIÈGE
Se contenter de la distance lue sur le plan : le détecteur est au plafond, la distance réelle est dans l'espace. Ne pas confondre non plus le niveau L (en dB) avec la longueur L de la partie 2.

COMPRENDRE
La conclusion ne dépend pas de la hauteur choisie pour le lit : même avec la tête au sol ($H = 2{,}5$ m), on trouve $d_2 = 4{,}5$ m et $L_2 \approx 82$ dB. L'essentiel est d'annoncer clairement son hypothèse.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la grandeur à comparer, convertir la mesure avec l'échelle, poser les hypothèses, calculer, conclure par une comparaison chiffrée. Une démarche claire rapporte des points même si elle n'aboutit pas.

À LA CALCULATRICE



Contrôle du dioxyde de carbone dans l'eau d'un aquarium

Bac S 2018 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 À l'aide du diagramme de distribution, montrer que $\text{p}K_{A1} = 6{,}4$, puis déterminer $\text{p}K_{A2}$.

Données utiles couples $(CO_2, H_2O)/HCO_3^-$ ($\text{p}K_{A1}$) et HCO_3^-/CO_3^{2-} ($\text{p}K_{A2}$) ; diagramme de distribution du sujet

Pour un couple acide/base : $\text{pH} = \text{p}K_A + \log\dfrac{[\text{base}]}{[\text{acide}]}$.

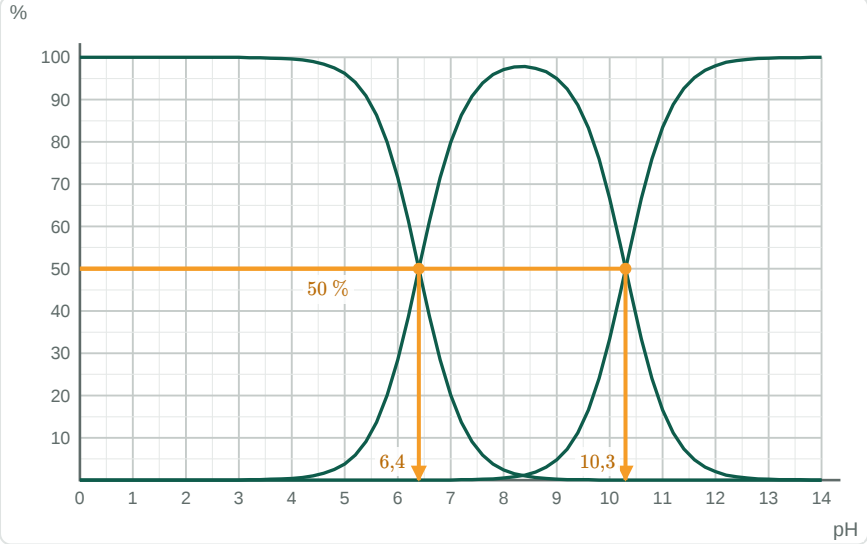
Quand l'acide et la base du couple sont en proportions égales, $[\text{base}] = [\text{acide}]$ et $\log 1 = 0$, donc $\text{pH} = \text{p}K_A$. Sur le diagramme, c'est l'abscisse du point où les deux courbes du couple se coupent, à 50 %.

- Les courbes de (CO_2, H_2O) et de HCO_3^- se coupent à $\text{pH} = 6{,}4$: on retrouve bien $\text{p}K_{A1} = 6{,}4$.
- Les courbes de HCO_3^- et de CO_3^{2-} se coupent à $\text{pH} = 10{,}3$.

$\text{p}K_{A1} = 6{,}4$ (valeur attendue) et $\text{p}K_{A2} = 10{,}3$

PIÈGE
Lire le pH au sommet de la courbe de HCO_3^- (vers 8,3). Le $\text{p}K_A$ se lit à un croisement de deux courbes, à l'ordonnée 50 %.

COMPRENDRE
Une graduation horizontale vaut 0,2 unité de pH : la lecture se fait au dixième, d'où 6,4 et 10,3.



1.1 · Diagramme de distribution du sujet (de gauche à droite : (CO_2, H_2O), HCO_3^-, CO_3^{2-}) et lecture des deux croisements à 50 %

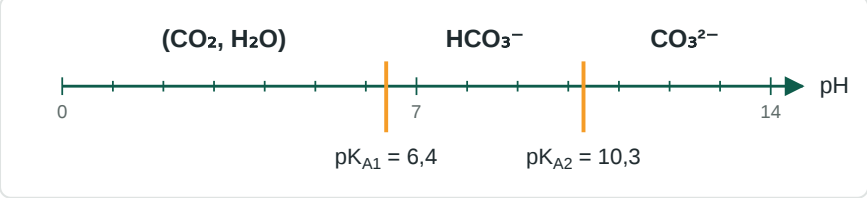
1.2 Sur un même axe gradué de pH, faire figurer les domaines de prédominance de (CO_2, H_2O), HCO_3^- et CO_3^{2-}.

Données utiles $\text{p}K_{A1} = 6{,}4$ et $\text{p}K_{A2} = 10{,}3$ (1.1)

L'acide d'un couple prédomine si $\text{pH} < \text{p}K_A$, sa base conjuguée si $\text{pH} > \text{p}K_A$. Les frontières sont donc placées à 6,4 et à 10,3 (voir l'axe ci-contre).

(CO_2, H_2O) prédomine pour $\text{pH} < 6{,}4$; HCO_3^- pour $6{,}4 < \text{pH} < 10{,}3$; CO_3^{2-} pour $\text{pH} > 10{,}3$.

COMPRENDRE
L'ion HCO_3^- est une espèce amphotère : base du premier couple et acide du second. Son domaine se trouve donc entre les deux $\text{p}K_A$.



1.2 · Domaines de prédominance sur un axe de pH

1.3 Le pH d'une eau vaut 7,4. Par un raisonnement qualitatif, indiquer comment il évolue lorsqu'on y introduit du dioxyde de carbone.

Le dioxyde de carbone qui se dissout forme l'espèce (CO_2, H_2O), qui est un acide. Il réagit avec l'eau en lui cédant un ion H^+ :

$$(CO_2, H_2O)\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCO_3^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

La concentration en ions oxonium H_3O^+ augmente. Comme $pH = -\log \dfrac{[H_3O^+]}{c^\circ}$, le pH diminue.

L'ajout de dioxyde de carbone fait **diminuer** le pH de l'eau (il devient inférieur à 7,4).

MÉTHODE
Autre raisonnement possible : $pH = pK_{A1} + \log \dfrac{[HCO_3^-]}{[CO_2, H_2O]}$. Ajouter l'acide du couple diminue le quotient, donc le pH.

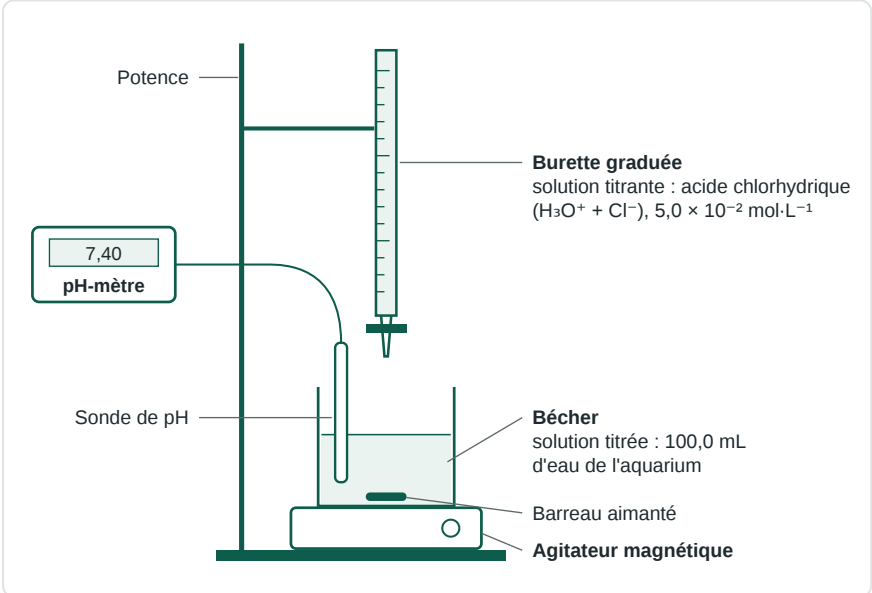
2.1 Faire un schéma légendé du dispositif expérimental de titrage.

Données utiles prise d'essai : 100,0 mL d'eau de l'aquarium ; solution titrante : acide chlorhydrique à $5{,}0 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$; suivi par pH-métrie

Le schéma ci-contre doit montrer et nommer : la burette graduée et la solution titrante qu'elle contient, le bécher et la solution titrée, la sonde reliée au pH-mètre, l'agitateur magnétique et son barreau aimanté.

Burette : acide chlorhydrique (solution titrante) ; bécher : 100,0 mL d'eau de l'aquarium (solution titrée) ; pH-mètre et agitation magnétique.

PIÈGE
Schéma sans légende complète : il faut indiquer la nature des deux solutions (titrante dans la burette, titrée dans le bécher), pas seulement le nom de la verrerie. Ne pas oublier le pH-mètre, propre à ce suivi.



2.1 · Montage du titrage suivi par pH-métrie

2.2 Déterminer l'espèce prédominante dans l'eau de l'aquarium, puis dans la solution à l'équivalence du titrage.

Données utiles figure 1 (pH en fonction du volume d'acide versé) ; domaines de prédominance (1.2)

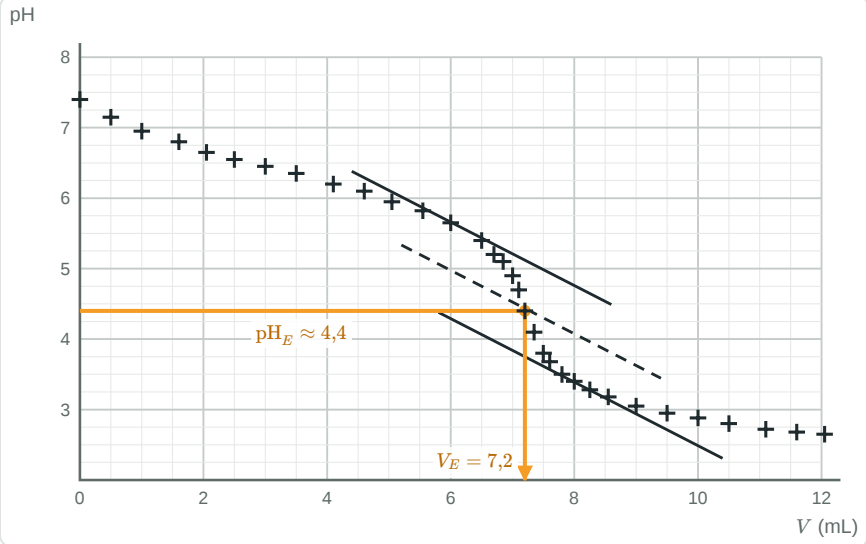
Eau de l'aquarium. Son pH est celui lu avant tout ajout d'acide ($V = 0$) : $\mathrm{pH}_i = 7{,}4$. Comme $6{,}4 < 7{,}4 < 10{,}3$, l'espèce prédominante est l'ion hydrogénocarbonate $\mathrm{HCO_3^-}$.

Équivalence. Par la méthode des tangentes parallèles sur la figure 1, le point d'équivalence a pour coordonnées $V_E = 7{,}2\ \mathrm{mL}$ et $\mathrm{pH}_E \approx 4{,}4$. Comme $4{,}4 < 6{,}4$, l'espèce prédominante est $(\mathrm{CO_2, H_2O})$.

Dans l'aquarium : $\mathrm{HCO_3^-}$ ($\mathrm{pH}_i = 7{,}4$) ; à l'équivalence : $(\mathrm{CO_2, H_2O})$ ($\mathrm{pH}_E \approx 4{,}4$).

COMPRENDRE
À l'équivalence, le pH se lit à quelques dixièmes près : toute valeur entre 4 et 5 est acceptable et mène à la même espèce.

MÉTHODE
Tangentes parallèles : tracer deux tangentes parallèles de part et d'autre du saut de pH, puis la parallèle équidistante. Elle coupe la courbe au point d'équivalence.



2.2 · Figure 1 du sujet : méthode des tangentes parallèles et lecture du point d'équivalence

2.3 Écrire l'équation de la réaction support du titrage des ions hydrogénocarbonate par l'acide chlorhydrique.

L'ion $\mathrm{HCO_3^-}$, qui prédomine au départ, est transformé en $(\mathrm{CO_2, H_2O})$, qui prédomine à l'équivalence : il joue le rôle de base et capte un ion $\mathrm{H^+}$ cédé par l'ion oxonium $\mathrm{H_3O^+}$ de l'acide chlorhydrique.

$$\mathrm{HCO_3^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \longrightarrow (CO_2, H_2O)\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

PIÈGE
Faire figurer les ions chlorure $\mathrm{Cl^-}$: ils sont spectateurs. Une réaction support de titrage est totale, elle s'écrit avec une flèche simple.

2.4 Estimer la concentration molaire des ions hydrogénocarbonate dans l'eau prélevée dans l'aquarium.

Données utiles $V = 100{,}0\ \mathrm{mL}$; $c_A = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_E = 7{,}2\ \mathrm{mL}$ (2.2)

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation du titrage (un pour un) :

$$n(\mathrm{HCO_3^-})_{\text{initial}} = n(\mathrm{H_3O^+})_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad [\mathrm{HCO_3^-}] \times V = c_A \times V_E$$

$$[\mathrm{HCO_3^-}] = \frac{c_A \times V_E}{V} = \frac{5{,}0 \times 10^{-2} \times 7{,}2}{100{,}0}$$

$$[\mathrm{HCO_3^-}] = 3{,}6 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

PIÈGE
Diviser par le volume total du mélange ou par V_E. La concentration cherchée est celle de la prise d'essai : on divise par $V = 100{,}0\ \mathrm{mL}$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c_A et V_E, les données les moins précises. Les deux volumes peuvent rester en mL : seul leur rapport intervient.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{5.0 \times 10^{-2} \times 7.2}{100.0}$

≈ 0.0036

2.5 Déterminer la concentration massique en dioxyde de carbone dissous dans l'eau de l'aquarium.

Données utiles $[CO_2, H_2O] = [HCO_3^-] \times 10^{(pK_{A1} - pH)}$; $[HCO_3^-] = 3{,}6 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$ (2.4) ; $pK_{A1} = 6{,}4$; $pH = 7{,}4$ (2.2) ; $M(CO_2) = 44{,}0\ g \cdot mol^{-1}$

Le pH de l'eau de l'aquarium vaut 7,4, donc :

$$[CO_2\ \text{dissous}] = [HCO_3^-] \times 10^{(pK_{A1} - pH)} = 3{,}6 \times 10^{-3} \times 10^{(6{,}4 - 7{,}4)}$$

$$[CO_2\ \text{dissous}] = 3{,}6 \times 10^{-4}\ mol \cdot L^{-1}$$

La concentration massique est $t = [CO_2\ \text{dissous}] \times M(CO_2)$:

$$t = 3{,}6 \times 10^{-4} \times 44{,}0 = 1{,}6 \times 10^{-2}\ g \cdot L^{-1}$$

$$t = 1{,}6 \times 10^{-2}\ g \cdot L^{-1} = 16\ mg \cdot L^{-1}$$

PIÈGE
Utiliser le pH à l'équivalence (4,4) : c'est l'eau de l'aquarium qui est étudiée, donc $pH = 7{,}4$. Autre erreur : inverser l'exposant et écrire $10^{(7{,}4 - 6{,}4)}$.

COMPRENDRE
La relation fournie est $pH = pK_{A1} + \log \dfrac{[HCO_3^-]}{[CO_2, H_2O]}$ réarrangée. La « concentration massique » de l'ancien programme s'appelle aujourd'hui concentration en masse.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$3.6 \times 10^{-3} \times 10^{6.4-7.4}$

$\approx 3.6 \times 10^{-4}$

$3.6 \times 10^{-4} \times 44.0$

≈ 0.01584

2.6 Les conditions pour les plantes et les poissons sont-elles optimales ? Justifier.

Données utiles $pH = 7{,}4$ (2.2) ; $t = 16\ mg \cdot L^{-1}$ (2.5) ; tableau du sujet (cellules grisées : conditions optimales)

Dans le tableau, sur la ligne $pH = 7{,}4$, les cellules grisées vont de 11 à $23\ mg \cdot L^{-1}$. La concentration massique trouvée, $16\ mg \cdot L^{-1}$, appartient à cet intervalle.

Oui : avec $pH = 7{,}4$ et $16\ mg \cdot L^{-1}$ de dioxyde de carbone dissous, les conditions sont optimales pour les plantes et les poissons.

PIÈGE
Comparer $1{,}6 \times 10^{-2}$ aux valeurs du tableau sans convertir : le tableau est en $mg \cdot L^{-1}$.

Spécialité : Economiser de l'énergie en recyclant des canettes en aluminium

Bac S 2018 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Montrer que l'énergie électrique consommée lors d'une électrolyse, où la charge totale échangée est Q sous la tension $U_{\text{él}}$, s'écrit $E_{\text{électrolyse}} = Q \cdot U_{\text{él}}$.

Données utiles $P = U_{\text{él}} \cdot I$; $I = \dfrac{Q}{\Delta t}$

L'électrolyseur consomme la puissance P pendant la durée Δt de l'électrolyse :

$E_{\text{électrolyse}} = P \cdot \Delta t = U_{\text{él}} \cdot I \cdot \Delta t$

Or $I = \dfrac{Q}{\Delta t}$, donc $I \cdot \Delta t = Q$.

$$\boxed{E_{\text{électrolyse}} = Q \cdot U_{\text{él}}}$$

COMPRENDRE
Vérification par les unités : $1\ \text{V} = 1\ \text{J} \cdot \text{C}^{-1}$, donc le produit d'une charge en coulombs par une tension en volts donne bien des joules.

2 Calculer la variation d'énergie interne ΔU de 1,0 kg d'aluminium solide chauffé de 20 °C à 660 °C. Problème : montrer que recycler une canette consomme bien moins d'énergie que la fabriquer à partir de la bauxite, puis commenter l'affirmation « une télévision pendant 3 heures ».

Données utiles $m = 13{,}3$ g ; $M(\text{Al}) = 27{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $c_S = 9{,}0 \times 10^2\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $F = 9{,}65 \times 10^4\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$; $U_{\text{él}} = 4{,}5$ V ; électrolyse : 20 % de l'énergie totale ; rendement du recyclage : 45 % ; fusion : $4{,}0 \times 10^5$ J ; chauffage du liquide : $6{,}5 \times 10^4$ J (pour 1,0 kg) ; téléviseurs : 131 W, 211 W, 287 W

Question 2. L'aluminium reste solide entre 20 °C et 660 °C : $\Delta U = m_{\text{Al}} \cdot c_S \cdot (T_f - T_i)$, avec $m_{\text{Al}} = 1{,}0$ kg.

$\Delta U = 1{,}0 \times 9{,}0 \times 10^2 \times (660 - 20) = 5{,}76 \times 10^5$ J

$$\boxed{\Delta U = 5{,}8 \times 10^5\ \text{J}}$$

Problème. On calcule l'énergie totale consommée pour une canette par chacune des deux voies, puis l'énergie économisée, que l'on compare à la consommation d'un téléviseur en 3 h.

Recyclage d'une canette

- Énergie utile pour 1,0 kg (chauffage du solide, fusion, chauffage du liquide) : $E_{\text{utile}} = 5{,}76 \times 10^5 + 4{,}0 \times 10^5 + 6{,}5 \times 10^4 = 1{,}04 \times 10^6$ J
- Rendement de 45 % : $E_{\text{totale}} = \dfrac{E_{\text{utile}}}{r} = \dfrac{1{,}04 \times 10^6}{0{,}45} = 2{,}31 \times 10^6$ J pour 1,0 kg
- Pour une canette de masse $m = 13{,}3 \times 10^{-3}$ kg : $E_{\text{recyclage}} = 2{,}31 \times 10^6 \times 13{,}3 \times 10^{-3} = 3{,}1 \times 10^4$ J

Fabrication à partir de la bauxite

- Quantité d'aluminium : $n(\text{Al}) = \dfrac{m}{M(\text{Al})} = \dfrac{13{,}3}{27{,}0} = 0{,}493$ mol
- À la cathode, $\text{Al}^{3+} + 3\,\text{e}^- \longrightarrow \text{Al}$: $n(e^-) = 3\,n(\text{Al})$
- Charge échangée : $Q = n(e^-) \times F = 3 \times 0{,}493 \times 9{,}65 \times 10^4 = 1{,}43 \times 10^5$ C
- D'après la question 1 : $E_{\text{électrolyse}} = Q \cdot U_{\text{él}} = 1{,}43 \times 10^5 \times 4{,}5 = 6{,}4 \times 10^5$ J
- L'électrolyse représente 20 % de l'énergie totale : $E_{\text{bauxite}} = \dfrac{E_{\text{électrolyse}}}{0{,}20} = 3{,}2 \times 10^6$ J

Comparaison

PIÈGE
Laisser 13,3 g en grammes dans le calcul du recyclage (énergies données pour 1,0 kg), oublier le facteur 3 entre électrons et aluminium, ou multiplier par 0,45 et 0,20 au lieu de diviser.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs pour les résultats, comme c_S, $U_{\text{él}}$ et les pourcentages. Les valeurs intermédiaires sont gardées dans la calculatrice. Un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile de convertir.

MÉTHODE
Résolution de problème : annoncer la démarche, calculer séparément chaque énergie pour une même canette, comparer par un rapport, puis confronter l'économie aux données sur les téléviseurs et conclure par une phrase.

$\frac{E_{\text{bauxite}}}{E_{\text{recyclage}}} = \frac{3{,}2 \times 10^6}{3{,}1 \times 10^4} \approx 1 \times 10^2$: le recyclage consomme environ cent fois moins d'énergie, ce qui est bien très inférieur.

Énergie économisée et téléviseur

$E_{\text{éco}} = E_{\text{bauxite}} - E_{\text{recyclage}} = 3{,}21 \times 10^6 - 3{,}1 \times 10^4 = 3{,}2 \times 10^6$ J

Durée de fonctionnement d'un téléviseur de puissance P avec cette énergie : $\Delta t = \frac{E_{\text{éco}}}{P}$

- écran plasma (287 W) : $\Delta t = \frac{3{,}18 \times 10^6}{287} = 1{,}11 \times 10^4 \text{ s} = 3{,}1 \text{ h}$
- écran LCD classique (211 W) : $\Delta t = 4{,}2$ h
- écran LCD à LED (131 W) : $\Delta t = 6{,}7$ h

$E_{\text{éco}} \approx 3{,}2 \times 10^6$ J, soit de 3 h (plasma) à près de 7 h (LED) de télévision : l'affirmation est valide, et même prudente pour les écrans les plus économes.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.0 \times 9.0 \times 10^2 \times (660 - 20) \approx 576000$

$\frac{5.76 \times 10^5 + 4.0 \times 10^5 + 6.5 \times 10^4}{0.45} \times 13.3 \times 10^{-3} \approx 30767.33$

$\frac{\frac{3 \times 13.3}{27.0} \times 9.65 \times 10^4 \times 4.5}{0.20} \approx 3208625$

$\frac{3\,208\,625}{30\,767.33333} \approx 104.2867$

$\frac{\frac{3\,208\,625 - 30\,767.33333}{287}}{3600} \approx 3.075743$

$\frac{\frac{3\,208\,625 - 30\,767.33333}{211}}{3600} \approx 4.183594$

$\frac{\frac{3\,208\,625 - 30\,767.33333}{131}}{3600} \approx 6.73846$