Corrigé complet — Bac S 2011 Métropole rattrapage (ancien programme)

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

Ex 1	**Spécialité : Le sel dans les larmes artificielles** Titrage avec indicateur de fin de réaction · Équivalence · Dilution · Conductivité et loi de Kohlrausch · Dosage par étalonnage	4 pts	52 min	9 questions	p. 2
Ex 2	**Chaufferette chimique** Couple acide-base de Brönsted · pH et produit ionique de l'eau · Tableau et taux d'avancement · Titrage pH-métrique · Dilution · Solubilité et pourcentage massique	4 pts	52 min	12 questions	p. 6
Ex 3	**La bluecar** Décharge d'un circuit RC · Constante de temps · Énergie d'un condensateur · Photon et niveaux d'énergie · Pile et oxydoréduction · Quantité d'électricité	6,5 pts	1 h 18	21 questions	p. 10
Ex 4	**Pendule de Foucault** Deuxième loi de Newton · Période propre du pendule simple · Analyse dimensionnelle · Énergie mécanique et amortissement · Référentiel galiléen	5,5 pts	1 h 05	13 questions	p. 16

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.

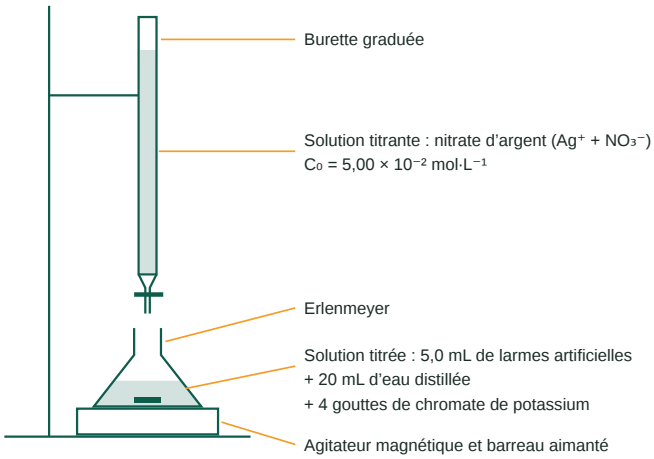
Spécialité : Le sel dans les larmes artificielles

Bac S 2011 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Faire un schéma légendé du dispositif de titrage en précisant toutes les solutions utilisées.

Le schéma comporte la burette graduée (solution titrante), l'erlenmeyer (solution titrée et indicateur) et l'agitateur magnétique avec son barreau aimanté.

Burette : nitrate d'argent $(Ag^+ + NO_3^-)$ à $C_0 = 5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; erlenmeyer : 5,0 mL de larmes artificielles, 20 mL d'eau distillée et 4 gouttes de chromate de potassium.



1.1 · Dispositif de titrage des ions chlorure

PIÈGE
Un schéma sans le nom des solutions, ou sans la concentration de la solution titrante, ne répond pas à la question : « légendé » vaut pour la verrerie et pour le contenu.

COMPRENDRE
Ce titrage repose sur une réaction de précipitation : ce type de titrage n'est plus au programme actuel de spécialité. Le schéma, la notion d'équivalence et les calculs restent ceux de tout titrage.

1.2 Calculer la quantité de matière $n(Cl^-)$ d'ions chlorure présents dans une dose de 5,0 mL de larmes artificielles.

Données utiles $C_0 = 5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 15{,}5\ \text{mL}$; $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) = AgCl(s)$

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction de titrage (une mole de Ag^+ pour une mole de Cl^-) :

$$n(Cl^-) = n_E(Ag^+) = C_0\, V_E$$

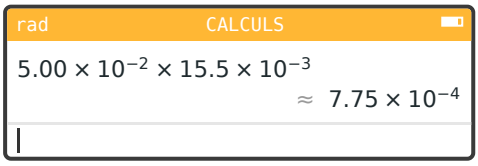
$$n(Cl^-) = 5{,}00 \times 10^{-2} \times 15{,}5 \times 10^{-3}$$

$$n(Cl^-) = 7{,}75 \times 10^{-4}\ \text{mol}$$

PIÈGE
Diviser par un volume (5,0 mL ou 25 mL) : la question porte sur une quantité de matière, et toute la dose est dans l'erlenmeyer. L'eau distillée ajoutée ne change pas $n(Cl^-)$.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme C_0 et V_E. Le volume de la dose (5,0 mL, deux chiffres) n'intervient pas dans ce calcul.

À LA CALCULATRICE



1.3 Calculer la masse $m(\mathrm{NaCl})$ de chlorure de sodium dissous contenu dans une dose de larmes artificielles et la comparer à celle indiquée sur l'étiquette.

Données utiles $n(\mathrm{Cl^-}) = 7{,}75 \times 10^{-4}$ mol (1.2) ; $M(\mathrm{Na}) = 23{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{Cl}) = 35{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; étiquette : 0,045 g

La dissolution $\mathrm{NaCl(s) = Na^+(aq) + Cl^-(aq)}$ est totale : $n(\mathrm{NaCl}) = n(\mathrm{Cl^-})$.

$M(\mathrm{NaCl}) = 23{,}0 + 35{,}5 = 58{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

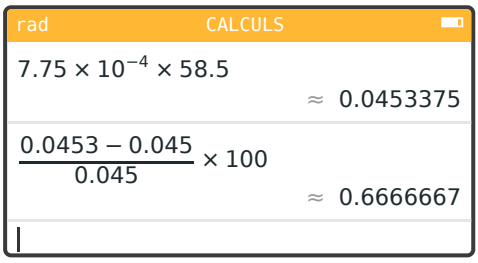
$m(\mathrm{NaCl}) = n(\mathrm{Cl^-}) \times M(\mathrm{NaCl}) = 7{,}75 \times 10^{-4} \times 58{,}5 = 4{,}53 \times 10^{-2}$ g

Écart relatif avec l'étiquette : $\dfrac{0{,}0453 - 0{,}045}{0{,}045} \approx 0{,}7\ \%$.

$m(\mathrm{NaCl}) = 4{,}53 \times 10^{-2}$ g, soit 0,045 g arrondi à deux chiffres : résultat en accord avec l'étiquette.

MÉTHODE
« Comparer » demande un argument chiffré : arrondir au même nombre de chiffres que la valeur de référence, ou calculer un écart relatif, puis conclure par une phrase.

À LA CALCULATRICE



2.1 Décrire le protocole détaillé permettant de préparer 50 mL de solution n° 1 à partir de la solution n° 5.

Données utiles $C_5 = 5{,}0\ \mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$; $C_1 = 1{,}0\ \mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$; $V_1 = 50$ mL

Lors d'une dilution, la quantité de matière de soluté se conserve : $C_5\,V_5 = C_1\,V_1$, donc

$$V_5 = \frac{C_1\,V_1}{C_5} = \frac{1{,}0 \times 50}{5{,}0} = 10\ \mathrm{mL}$$

Protocole :

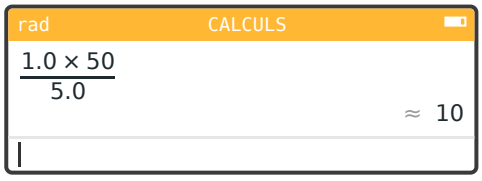
- verser un peu de solution n° 5 dans un bécher ;
- y prélever 10,0 mL avec une pipette jaugée de 10,0 mL munie d'une propipette ;
- les introduire dans une fiole jaugée de 50,0 mL ;
- ajouter de l'eau distillée aux trois quarts, boucher, agiter ;
- compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, boucher et homogénéiser.

On prélève $V_5 = 10$ mL de solution n° 5 (pipette jaugée) que l'on dilue dans une fiole jaugée de 50 mL.

PIÈGE
Citer une éprouvette graduée ou un bécher pour mesurer les volumes : seule la verrerie jaugée (pipette et fiole) est assez précise pour préparer une solution étalon.

MÉTHODE
Facteur de dilution $F = C_5/C_1 = V_1/V_5 = 5$: le volume de la fiole vaut cinq fois celui de la pipette. Les concentrations peuvent rester en $\mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$ puisqu'on en fait le rapport.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 Exprimer la conductivité σ d'une solution aqueuse de chlorure de sodium en fonction des concentrations et des conductivités molaires ioniques des espèces présentes.

Les ions présents en solution sont $\mathrm{Na^+}$ et $\mathrm{Cl^-}$. La relation $\sigma = \sum_i \lambda_i\,[X_i]$ donne :

$$\sigma = \lambda_{\mathrm{Na^+}}\,[\mathrm{Na^+}] + \lambda_{\mathrm{Cl^-}}\,[\mathrm{Cl^-}]$$

COMPRENDRE
Seuls les ions conduisent le courant : l'eau, molécule neutre, n'apparaît pas dans la somme. Les ions $\mathrm{H_3O^+}$ et $\mathrm{HO^-}$ de l'eau sont en quantité négligeable.

2.2.2 Sachant que la dissolution du chlorure de sodium est totale, montrer que l'expression précédente est en accord avec l'écriture $\sigma = k\,C$.

La dissolution $\mathrm{NaCl(s) = Na^+(aq) + Cl^-(aq)}$ étant totale, une mole de NaCl dissous donne une mole de chaque ion :

$$[\mathrm{Na^+}] = [\mathrm{Cl^-}] = C$$

Donc $\sigma = \lambda_{\mathrm{Na^+}}\,C + \lambda_{\mathrm{Cl^-}}\,C = (\lambda_{\mathrm{Na^+}} + \lambda_{\mathrm{Cl^-}})\,C$.

$\sigma = k\,C$ avec $k = \lambda_{\mathrm{Na^+}} + \lambda_{\mathrm{Cl^-}}$, constante à température donnée : σ est proportionnelle à C.

PIÈGE
S'arrêter à la factorisation sans dire que k est une constante : c'est ce qui justifie la proportionnalité, donc la droite passant par l'origine de la figure A6.

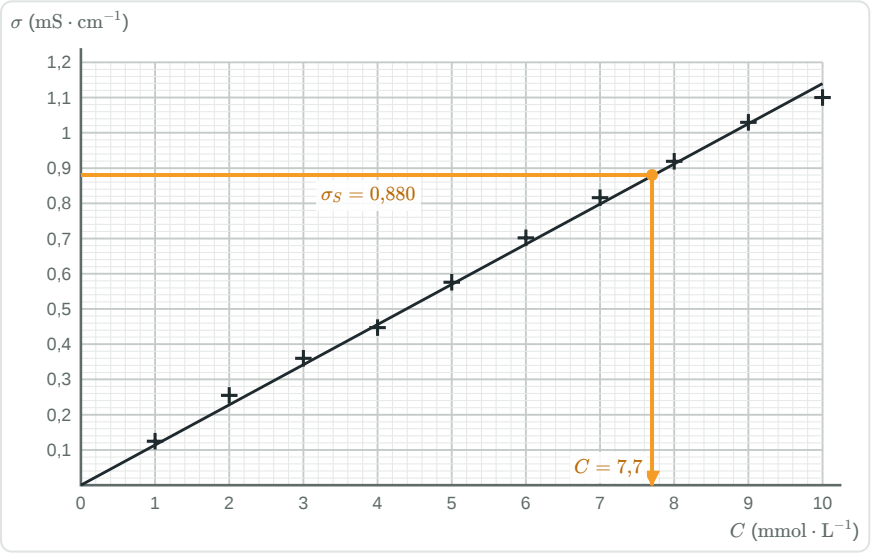
2.3 Déterminer la concentration molaire C en chlorure de sodium dans la solution diluée S.

Données utiles $\sigma_S = 0{,}880\ \mathrm{mS \cdot cm^{-1}}$; figure A6 de l'annexe

Sur la figure A6, on trace la droite passant par l'origine et au plus près des points expérimentaux.

On repère $\sigma_S = 0{,}880\ \mathrm{mS \cdot cm^{-1}}$ en ordonnée, on rejoint la droite puis on lit l'abscisse du point obtenu.

$C = 7{,}7\ \mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$

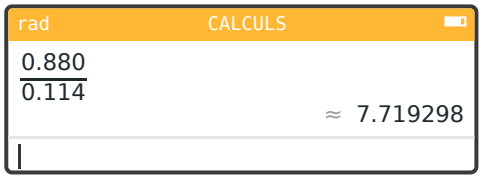


2.3 · Figure A6 complétée : droite d'étalonnage et lecture pour la solution S

PIÈGE
Relier les points un à un, ou lire C sur le point expérimental le plus proche : c'est la droite modèle qui sert à la lecture. Laisser les traits de construction sur l'annexe rendue.

COMPRENDRE
Une lecture graphique donne ici deux chiffres significatifs. Vérification : la droite passe par $(10\,;1{,}14)$, donc $k = 0{,}114\ \mathrm{mS \cdot cm^{-1} \cdot L \cdot mmol^{-1}}$ et $C = \sigma_S / k$.

À LA CALCULATRICE



2.4 Calculer la masse $m(\mathrm{NaCl})$ de chlorure de sodium dissous dans une dose de larmes artificielles et la comparer à celle indiquée sur l'étiquette.

Données utiles $C = 7{,}7\ \mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$ (2.3) ; dilution d'un facteur 20 ; $V = 5{,}0$ mL ; $M(\mathrm{NaCl}) = 58{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; étiquette : 0,045 g

Les larmes ont été diluées 20 fois : leur concentration est $C_L = 20\,C = 20 \times 7{,}7 \times 10^{-3} = 0{,}154\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

Dans une dose de volume $V = 5{,}0$ mL :

$$m(\mathrm{NaCl}) = C_L\,V\,M(\mathrm{NaCl}) = 0{,}154 \times 5{,}0 \times 10^{-3} \times 58{,}5$$

$m(\mathrm{NaCl}) = 4{,}5 \times 10^{-2}$ g : valeur identique à celle de l'étiquette (0,045 g).

PIÈGE
Oublier le facteur 20 (on trouve alors 2,3 mg) ou laisser C en $\mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$ et V en mL : pour une masse en grammes, il faut des $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ et des litres.

COMPRENDRE
Les deux méthodes (titrage et étalonnage) redonnent la masse annoncée : la composition indiquée par le fabricant est vérifiée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$20 \times 7.7 \times 10^{-3}$

≈ 0.154

$0.154 \times 5.0 \times 10^{-3} \times 58.5$

≈ 0.045045

2.5 Pourquoi a-t-on mesuré la conductivité d'une solution de larmes diluée par un facteur 20 et non par un facteur 10 ?

Données utiles $C_L = 0{,}154\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (2.4) ; solutions étalons de 1,0 à 10,0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

Diluées 10 fois, les larmes auraient une concentration $\frac{C_L}{10} = 15{,}4\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, supérieure à celle de la solution étalon la plus concentrée ($10{,}0\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$).

Le point serait hors du domaine étudié, où rien ne garantit que la relation $\sigma = k\,C$, valable pour des solutions diluées, s'applique encore.

Avec un facteur 20, $C = 7{,}7\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ se situe dans la gamme d'étalonnage ; avec un facteur 10, la concentration ($15{,}4\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) en sortirait.

MÉTHODE
Dans un dosage par étalonnage, la grandeur mesurée pour l'échantillon doit tomber entre celles des étalons extrêmes : on choisit le facteur de dilution pour cela, on n'extrapole pas la droite.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.154}{10} \times 1000$

≈ 15.4

Chaufferette chimique

Bac S 2011 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Pourquoi l'ion éthanoate est-il une base selon Brönsted ? En déduire le couple acido-basique correspondant.

Une base de Brönsted est une espèce capable de capter un ion hydrogène H^+. C'est le cas de l'ion éthanoate :

$$CH_3COO^- + H^+ = CH_3COOH$$

Couple acide/base : CH_3COOH / CH_3COO^- (acide éthanoïque / ion éthanoate).

PIÈGE
Dans l'écriture d'un couple, l'acide se place à gauche et la base à droite. Inverser les deux espèces fait perdre le point.

1.2.1 Construire le tableau d'avancement de la réaction de l'ion éthanoate avec l'eau, en utilisant n et l'avancement x.

Quantités de matière en mol :

État	CH_3COO^-	H_2O	CH_3COOH	HO^-
initial	n	solvant	0	0
en cours	$n - x$	solvant	x	x
équilibre	$n - x_{éq}$	solvant	$x_{éq}$	$x_{éq}$

À l'équilibre : $n(HO^-)_{éq} = n(CH_3COOH)_{éq} = x_{éq}$ et $n(CH_3COO^-)_{éq} = n - x_{éq}$.

COMPRENDRE
L'eau est le solvant, en très large excès : sa quantité n'est pas suivie et elle ne peut pas être le réactif limitant.

1.2.2 Calculer la concentration à l'équilibre en ions oxonium, puis en déduire celle en ions hydroxyde à 25 °C.

Données utiles $\text{pH} = 8{,}9$; $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$

$[H_3O^+]_{éq} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-8{,}9} = 1{,}3 \times 10^{-9}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Produit ionique de l'eau : $K_e = [H_3O^+]_{éq} \times [HO^-]_{éq}$, donc

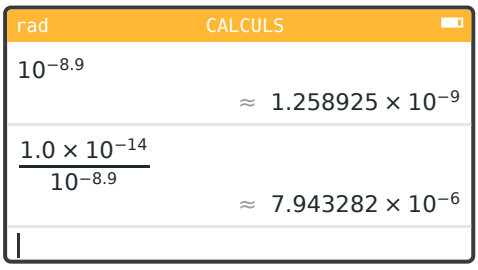
$$[HO^-]_{éq} = \frac{K_e}{[H_3O^+]_{éq}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-14}}{10^{-8{,}9}} = 7{,}9 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$[H_3O^+]_{éq} = 1{,}3 \times 10^{-9}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[HO^-]_{éq} = 7{,}9 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

PIÈGE
Diviser K_e par la valeur arrondie $1{,}3 \times 10^{-9}$ donne $7{,}7 \times 10^{-6}$. Il faut garder $10^{-8{,}9}$ dans la calculatrice.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme K_e et les autres données de l'exercice.

À LA CALCULATRICE



1.2.3 Pour la solution préparée, calculer l'avancement à l'équilibre $x_{éq}$.

Données utiles $V = 100\ \text{mL} = 0{,}100\ \text{L}$; $[HO^-]_{éq} = 7{,}9 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (1.2.2)

D'après le tableau d'avancement, $x_{éq} = n(HO^-)_{éq} = [HO^-]_{éq} \times V$.

$x_{éq} = 7{,}9 \times 10^{-6} \times 0{,}100$

$x_{éq} = 7{,}9 \times 10^{-7}\ \text{mol}$

PIÈGE
Le volume doit être converti en litres. Avec $V = 100$, le résultat est mille fois trop grand.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$7.9 \times 10^{-6} \times 0.100$

$\approx 7.9 \times 10^{-7}$

1.2.4 Définir le taux d'avancement τ à l'équilibre, calculer sa valeur et dire si la transformation est totale.

Données utiles $n = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol ; $x_{éq} = 7{,}9 \times 10^{-7}$ mol (1.2.3)

Le taux d'avancement est le rapport de l'avancement à l'équilibre sur l'avancement maximal : $\tau = \dfrac{x_{éq}}{x_{max}}$.

Si la transformation était totale, l'ion éthanoate serait entièrement consommé : $n - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = n$.

$$\tau = \frac{x_{éq}}{n} = \frac{7{,}9 \times 10^{-7}}{1{,}0 \times 10^{-2}} = 7{,}9 \times 10^{-5}$$

$\tau = 7{,}9 \times 10^{-5}$, très inférieur à 1 : la transformation n'est pas totale, elle est très limitée.

COMPRENDRE

Moins d'un ion éthanoate sur dix mille a réagi avec l'eau. C'est une base faible, ce qui explique un pH à peine basique.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{7.9 \times 10^{-7}}{1.0 \times 10^{-2}}$

$\approx 7.9 \times 10^{-5}$

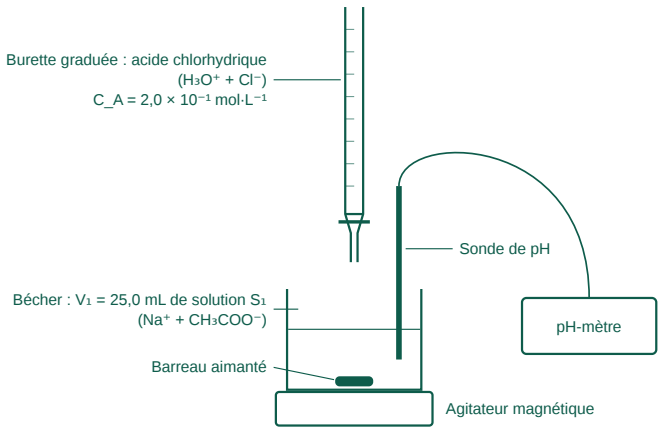
2.1.1 Schématiser et légender le dispositif de titrage.

Voir le schéma. La solution titrante (acide chlorhydrique) est dans la burette graduée ; la solution titrée S_1 est dans le bécher, sous agitation, avec la sonde du pH-mètre.

Schéma légendé : burette, bécher, sonde et pH-mètre, agitateur magnétique et barreau aimanté.

PIÈGE

Un schéma sans le nom et la concentration des solutions, ou sans le pH-mètre, est incomplet. Le prélèvement de V_1 se fait à la pipette jaugée.



2.1.1 · Dispositif du titrage pH-métrique

2.1.2 Définir l'équivalence, puis écrire la relation entre $n_i(CH_3COO^-)$ présente initialement dans le bécher et $n_E(H_3O^+)$ versée pour atteindre l'équivalence.

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

L'équation $CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq) = CH_3COOH(aq) + H_2O(l)$ montre qu'un ion éthanoate réagit avec un ion oxonium.

$n_i(CH_3COO^-) = n_E(H_3O^+)$

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, l'ion oxonium versé est le réactif limitant ; après, c'est l'ion éthanoate. L'équivalence est le changement de réactif limitant.

2.1.3 Déterminer le volume à l'équivalence V_E en expliquant la méthode utilisée.

Données utiles figure 5

À l'équivalence, le pH varie le plus brutalement : la courbe $\left|\frac{dpH}{dV_A}\right| = f(V_A)$ passe par un maximum. V_E est l'abscisse de ce maximum.

Sur la figure 5, le sommet du pic se trouve juste avant la graduation 9 mL.

$V_E \approx 8{,}9$ mL

COMPRENDRE
La lecture est précise à 0,1 mL près : une valeur de 8,8 à 9,0 mL est acceptable, à condition de la conserver dans la suite.

MÉTHODE
Sans courbe dérivée, on utilise la méthode des tangentes parallèles sur le saut de pH : même résultat, mais plus long à tracer.

2.1.4 Calculer la concentration C_1 en ions éthanoate de la solution dosée.

Données utiles $C_A = 2{,}0 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; $V_1 = 25{,}0$ mL ; $V_E = 8{,}9$ mL (2.1.3)

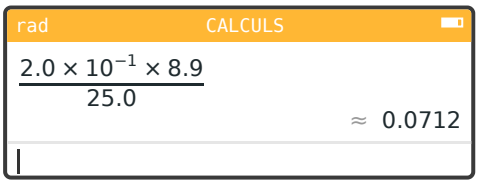
À l'équivalence : $n_i(CH_3COO^-) = n_E(H_3O^+)$, soit $C_1 \times V_1 = C_A \times V_E$.

$$C_1 = \frac{C_A \times V_E}{V_1} = \frac{2{,}0 \times 10^{-1} \times 8{,}9}{25{,}0} = 7{,}12 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_1 = 7{,}1 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1}

MÉTHODE
Les deux volumes peuvent rester en mL, car ils interviennent par leur rapport. La concentration obtenue a l'unité de C_A.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 Calculer la concentration C_0 en éthanoate de sodium apporté dans la chaufferette. La solution est-elle saturée ?

Données utiles dilution au centième ; $C_1 = 7{,}12 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} (2.1.4) ; solubilité : $4{,}5$ mol · L^{-1}

La solution S_0 a été diluée 100 fois pour obtenir S_1 : $C_0 = 100 \times C_1$.

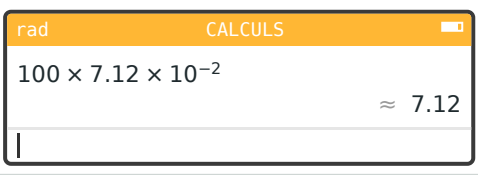
$C_0 = 100 \times 7{,}12 \times 10^{-2} = 7{,}1$ mol · L^{-1}

Cette concentration dépasse la solubilité à 25 °C : $7{,}1 > 4{,}5$ mol · L^{-1}.

$C_0 = 7{,}1$ mol · L^{-1} : la solution contient plus de soluté que la quantité maximale soluble, elle est saturée.

COMPRENDRE
La solution est même sursaturée : elle contient plus de soluté dissous que la solubilité ne le permet. Cet état instable explique la solidification brutale quand on actionne le disque.

À LA CALCULATRICE



2.2.2 Calculer la masse d'éthanoate de sodium dans la chaufferette.

Données utiles $C_0 = 7{,}12\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (2.2.1) ; $V_0 = 100\ \text{mL} = 0{,}100\ \text{L}$; $M = 82{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

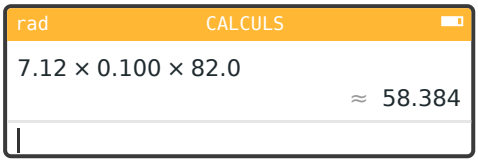
$$m_0 = n_0 \times M = C_0 \times V_0 \times M$$

$$m_0 = 7{,}12 \times 0{,}100 \times 82{,}0 = 58{,}4\ \text{g}$$

$m_0 \approx 58\ \text{g}$

PIÈGE
Ne pas confondre cette masse m_0 de soluté avec la masse $m = 130$ g de la solution entière.

À LA CALCULATRICE



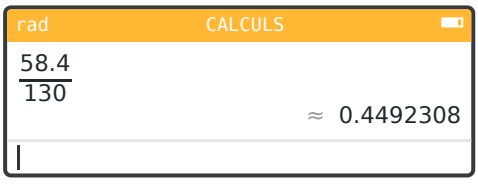
2.2.3 La solution de masse 130 g contenue dans la chaufferette est-elle au moins à 20 % en masse d'éthanoate de sodium, comme l'indique le texte ?

Données utiles $m_0 = 58{,}4\ \text{g}$ (2.2.2) ; $m = 130\ \text{g}$

Pourcentage massique : $p = \dfrac{m_0}{m} = \dfrac{58{,}4}{130} = 0{,}45$

$p \approx 45\ \%$, supérieur à 20 % : l'indication du texte introductif est vérifiée.

À LA CALCULATRICE



La bluecar

Bac S 2011 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1.1 Exprimer la tension u_R en fonction de R et de i, puis en fonction de R, C et $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$.

Données utiles $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$; $u_C = \dfrac{q}{C}$

Le conducteur ohmique est orienté en convention récepteur (flèche de u_R opposée au sens de i). Loi d'Ohm : $u_R = R\,i$.

Or $q = C\,u_C$ avec C constante, donc $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$.

$$u_R = R\,i = RC\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$$

PIÈGE
Ajouter un signe « $-$ » parce qu'il s'agit d'une décharge. Avec l'orientation de la figure 2, les relations s'écrivent sans signe : c'est la valeur de i qui sera négative.

1.1.2 Établir la relation entre u_R et u_C et en déduire l'équation différentielle vérifiée par u_C.

Données utiles $u_R = RC\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ (1.1.1)

Les points P et M sont reliés par un fil : $u_{PM} = 0$. Loi d'additivité des tensions : $u_{PM} = u_{PN} + u_{NM}$, soit $u_R + u_C = 0$.

En remplaçant u_R par son expression :

$$RC\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + u_C = 0$$

MÉTHODE
Circuit RC : 1) loi des mailles ; 2) loi d'Ohm ; 3) $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$. On obtient toujours une équation du premier ordre en u_C, avec ou sans second membre.

1.1.3 En vérifiant que $u_C(t) = E\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ est solution de l'équation différentielle, montrer que $\tau = RC$.

On dérive : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{E}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$.

On reporte dans l'équation différentielle :

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

Comme $E\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ ne s'annule jamais, l'égalité est vraie à tout instant seulement si $1 - \dfrac{RC}{\tau} = 0$.

$\tau = RC$: la fonction proposée est alors bien solution.

COMPRENDRE
La condition initiale est aussi respectée : $u_C(0) = E\,\mathrm{e}^0 = E$, le condensateur étant chargé sous la tension E au début de la décharge.

1.1.4 L'intensité se met sous la forme $i(t) = I_0\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$. Montrer que $I_0 = -\dfrac{E}{R}$.

$i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{CE}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ et $\tau = RC$, donc $i(t) = -\dfrac{E}{R}\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$.

Par identification avec $i(t) = I_0\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$:

$$I_0 = i(0) = -\frac{E}{R}$$

COMPRENDRE
I_0 est négative : le courant réel circule dans le sens opposé à la flèche de la figure 2, car la charge q de l'armature N diminue.

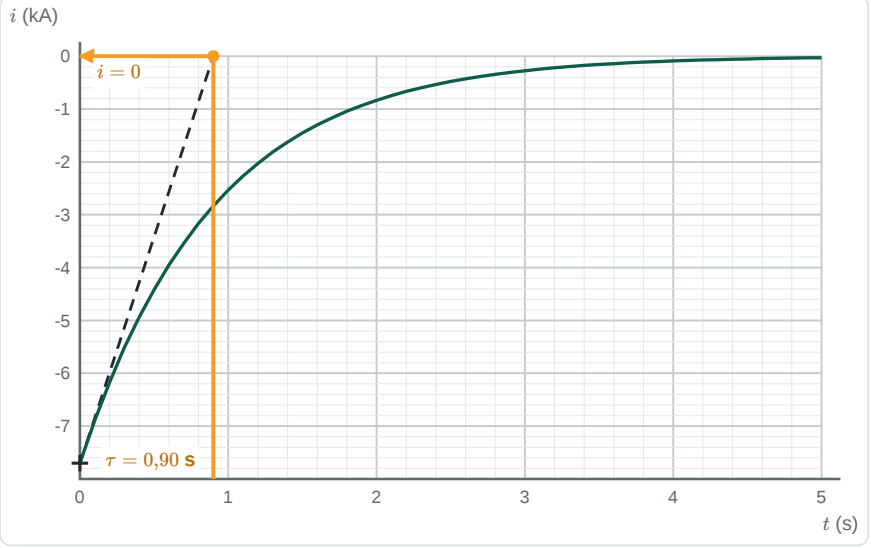
1.2.1 Déterminer graphiquement la valeur de I_0. En déduire la valeur de la résistance R et vérifier l'accord avec le tableau.

Données utiles $E = 2{,}7$ V ; tableau : $R = 0{,}35\ \text{m}\Omega$

À $t = 0$, la courbe de la figure A1 part de $I_0 = -7{,}7\ \text{kA} = -7{,}7 \times 10^3$ A.

$$I_0 = -\frac{E}{R} \text{ donc } R = -\frac{E}{I_0} = -\frac{2{,}7}{-7{,}7 \times 10^3} = 3{,}5 \times 10^{-4}\ \Omega$$

$R = 0{,}35\ \text{m}\Omega$: valeur en accord avec celle du tableau.

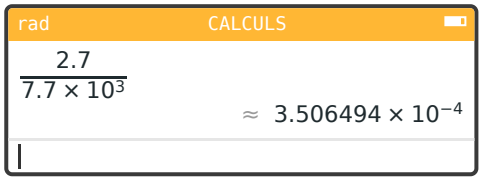


1.2.1 · Figure A1 complétée : I_0 se lit à $t = 0$, τ là où la tangente à l'origine coupe l'axe $i = 0$

PIÈGE
Laisser I_0 en kiloampères : on trouverait $0{,}35\ \Omega$, mille fois trop.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme E et la lecture de I_0. Chaque petit carreau vertical vaut $0{,}2$ kA.

À LA CALCULATRICE



1.2.2 Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ.

La tangente à l'origine coupe l'asymptote de la courbe (ici l'axe $i = 0$) à la date $t = \tau$. Sur la figure A1, ce point a pour abscisse $0{,}9$ s.

$\tau = 0{,}90$ s

MÉTHODE
Autre lecture possible : à $t = \tau$, $i = 0{,}37\, I_0 \approx -2{,}8$ kA. La courbe atteint cette valeur vers $0{,}9$ s, ce qui confirme le résultat.

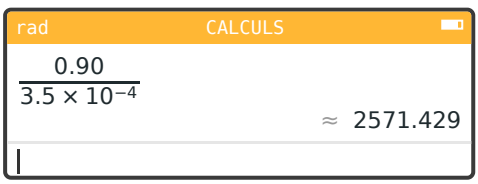
1.2.3 En déduire la valeur de la capacité C. Est-elle en accord avec la valeur des caractéristiques techniques ?

Données utiles $\tau = 0{,}90$ s (1.2.2) ; $R = 3{,}5 \times 10^{-4}\ \Omega$ (1.2.1) ; tableau : $C = 2{,}6 \times 10^3$ F

$$\tau = RC \text{ donc } C = \frac{\tau}{R} = \frac{0{,}90}{3{,}5 \times 10^{-4}}$$

$C = 2{,}6 \times 10^3$ F : valeur en accord avec celle du constructeur.

À LA CALCULATRICE



1.3.1 Calculer l'énergie électrique maximale E_C emmagasinée puis restituée par le condensateur, avec la capacité du tableau.

Données utiles $C = 2{,}6 \times 10^3$ F ; $E = 2{,}7$ V

L'énergie est maximale quand la tension aux bornes du condensateur vaut E :

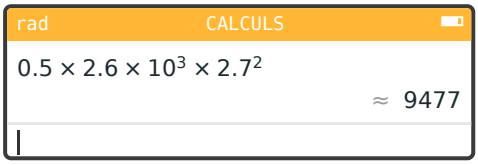
$$E_C = \frac{1}{2} C E^2 = \frac{1}{2} \times 2{,}6 \times 10^3 \times 2{,}7^2$$

$E_C = 9{,}5 \times 10^3$ J $= 9{,}5$ kJ

PIÈGE

Oublier le carré de la tension ou le facteur $\frac{1}{2}$. Ne pas confondre non plus E (tension, en volts) et E_C (énergie, en joules).

À LA CALCULATRICE



1.3.2 Comparer cette énergie avec celle obtenue à partir de la masse et de l'énergie spécifique du supercondensateur.

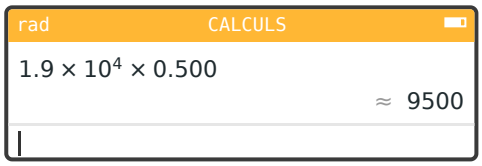
Données utiles $m = 0{,}500$ kg ; énergie spécifique $1{,}9 \times 10^4$ J · kg^{-1} ; $E_C = 9{,}5 \times 10^3$ J (1.3.1)

L'énergie spécifique est une énergie par kilogramme. L'énergie restituable vaut donc :

$1{,}9 \times 10^4 \times 0{,}500 = 9{,}5 \times 10^3$ J

Les deux valeurs sont égales (9,5 kJ) : les données du constructeur sont cohérentes entre elles.

À LA CALCULATRICE



2.1 Calculer la longueur d'onde dans le vide λ du rayonnement correspondant à la transition d'énergie ΔE.

Données utiles $\Delta E = 1{,}1$ eV ; $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

L'énergie du photon absorbé est $\Delta E = h\nu = \frac{h\,c}{\lambda}$, avec ΔE en joules.

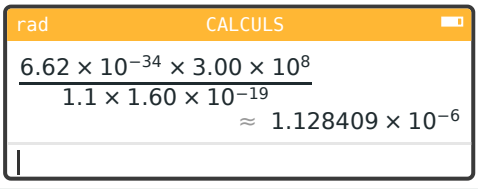
$$\lambda = \frac{h\,c}{\Delta E} = \frac{6{,}62 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^8}{1{,}1 \times 1{,}60 \times 10^{-19}}$$

$\lambda = 1{,}1 \times 10^{-6}$ m

PIÈGE

Laisser ΔE en électronvolts : la relation $\Delta E = \frac{h\,c}{\lambda}$ exige des joules.

À LA CALCULATRICE



2.2 Cette radiation appartient-elle au domaine du visible ? Justifier.

Données utiles $\lambda = 1{,}1 \times 10^{-6}$ m (2.1)

$\lambda = 1{,}1 \times 10^{-6}$ m $= 1{,}1 \times 10^3$ nm. Le domaine visible s'étend d'environ 400 nm à 800 nm dans le vide.

$\lambda > 800$ nm : la radiation n'est pas visible, elle appartient à l'infrarouge.

COMPRENDRE

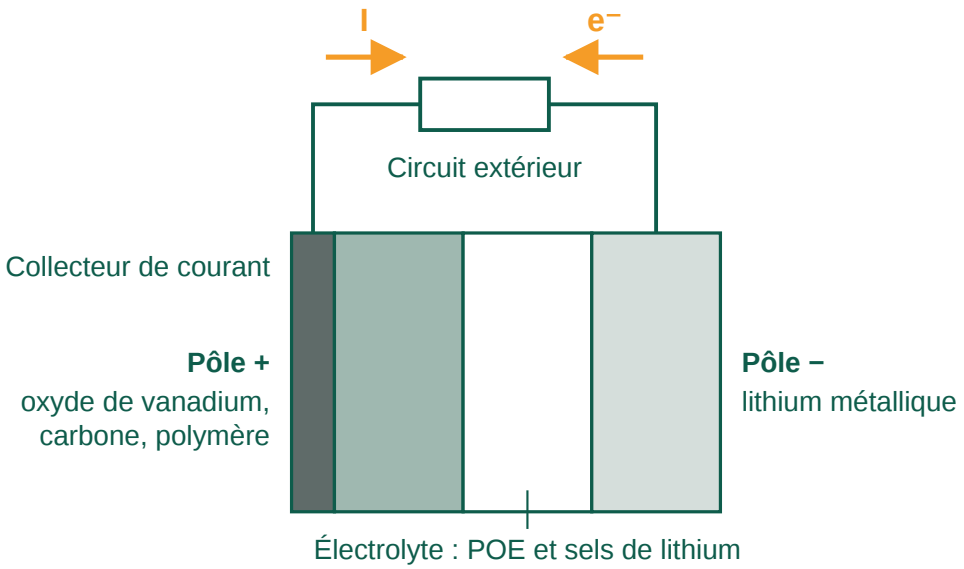
ΔE est une énergie minimale. Les photons visibles, de longueur d'onde plus courte donc d'énergie plus grande, sont eux aussi absorbés par le silicium.

3.1.1 Sur la figure A2, représenter le sens conventionnel du courant et le sens de circulation des porteurs de charge à l'extérieur de la batterie quand elle débite.

À l'extérieur du générateur, le courant circule par convention du pôle + vers le pôle −.

Dans les fils, les porteurs de charge sont les électrons, chargés négativement : ils se déplacent en sens inverse du courant.

Courant I : du pôle + vers le pôle − ; électrons : du pôle − vers le pôle +, dans le circuit extérieur.



3.1.1 · Figure A2 complétée : courant I du pôle + vers le pôle − dans le circuit extérieur, électrons en sens inverse

3.1.2 Quelle est la nature de la réaction se produisant au pôle négatif ? Au pôle positif ?

Le pôle négatif fournit des électrons au circuit extérieur : le lithium y cède des électrons, c'est une oxydation.

Le pôle positif reçoit ces électrons : une espèce y capte des électrons, c'est une réduction.

Pôle − : oxydation (anode) ; pôle + : réduction (cathode).

PIÈGE
Inverser les deux. Repère : oxydation = perte d'électrons, et les électrons sortent de la pile par la borne négative.

3.1.3 Écrire la demi-équation d'oxydoréduction de la réaction se produisant au pôle négatif.

Données utiles couple $\mathrm{Li^+}$ / Li

Au pôle négatif, le lithium métallique est oxydé en ion lithium :

$$\mathrm{Li = Li^+ + e^-}$$

3.2.1 Calculer en coulombs la quantité d'électricité maximale disponible q_{max}.

Données utiles $q_{max} = 75\ \mathrm{A \cdot h}$; $1\ \mathrm{A \cdot h} = 3600\ \mathrm{C}$

$q_{max} = 75 \times 3600$

$$q_{max} = 2{,}7 \times 10^5\ \mathrm{C}$$

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

75×3600

$270\,000$

3.2.2 En déduire la quantité de matière maximale d'électrons échangés $n(\mathrm{e}^-)_{éch}$ pour une décharge complète.

Données utiles $q_{max} = 2{,}7 \times 10^5$ C (3.2.1) ; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} ; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C

Une mole d'électrons porte, en valeur absolue, la charge $N_A\, e$, donc $q_{max} = n(\mathrm{e}^-)_{éch}\, N_A\, e$.

$$n(\mathrm{e}^-)_{éch} = \frac{q_{max}}{N_A\, e} = \frac{2{,}7 \times 10^5}{6{,}02 \times 10^{23} \times 1{,}60 \times 10^{-19}}$$

$n(\mathrm{e}^-)_{éch} = 2{,}8$ mol

COMPRENDRE
Le produit $N_A\, e \approx 9{,}63 \times 10^4$ C · mol^{-1} est la constante de Faraday F : on écrit aussi $q = n(\mathrm{e}^-)\, F$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2.7 \times 10^5}{6.02 \times 10^{23} \times 1.60 \times 10^{-19}}$

$\approx$ 2.803156

3.2.3 Calculer la masse de lithium correspondante.

Données utiles $n(\mathrm{e}^-)_{éch} = 2{,}8$ mol (3.2.2) ; $M(\mathrm{Li}) = 6{,}9$ g · mol^{-1}

D'après $\mathrm{Li} = \mathrm{Li}^+ + \mathrm{e}^-$, un atome de lithium libère un électron : $n(\mathrm{Li}) = n(\mathrm{e}^-)_{éch}$.

$m(\mathrm{Li}) = n(\mathrm{Li})\, M(\mathrm{Li}) = 2{,}8 \times 6{,}9$

$m(\mathrm{Li}) = 19$ g

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

2.8×6.9

$\approx$ 19.32

3.2.4 À l'aide des caractéristiques électriques, déterminer l'intensité du courant I_{max} que peut débiter cette batterie.

Données utiles $P_{max} = 45$ kW ; $U_{NOM} = 400$ V

La puissance électrique fournie est $P = U\, I$. Sous la tension nominale : $P_{max} = U_{NOM}\, I_{max}$.

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{U_{NOM}} = \frac{45 \times 10^3}{400}$$

$I_{max} = 1{,}1 \times 10^2$ A

PIÈGE
Garder la puissance en kilowatts : on obtiendrait 0,11 A, valeur absurde pour une voiture.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{45 \times 10^3}{400}$

$\approx$ 112.5

3.2.5 La batterie débite un courant d'intensité $I = 100$ A sous sa tension nominale. Calculer la durée maximale Δt_{max} de fonctionnement.

Données utiles $q_{max} = 2{,}7 \times 10^5$ C (3.2.1) ; $I = 100$ A

Pour un courant d'intensité constante : $q_{max} = I\,\Delta t_{max}$.

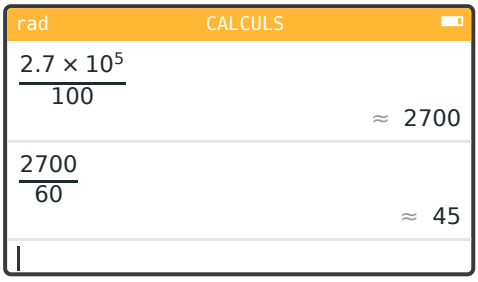
$$\Delta t_{max} = \frac{q_{max}}{I} = \frac{2{,}7 \times 10^5}{100}$$

$\Delta t_{max} = 2{,}7 \times 10^3$ s, soit 45 min

MÉTHODE

Vérification directe : $75\ \text{A} \cdot \text{h}$ débités à 100 A durent $\frac{75}{100} = 0{,}75$ h, soit 45 min. L'ampère-heure rend ce calcul immédiat.

À LA CALCULATRICE



3.3.1 Nommer le groupe caractéristique écrit en gras dans la formule du polyoxyéthylène.

Le groupe en gras est $-\text{OH}$.

C'est le groupe hydroxyle.

3.3.2 À quelle famille de composés organiques appartient le polyoxyéthylène ?

Le groupe hydroxyle est porté par un atome de carbone tétraédrique ($-\text{CH}_2-\text{OH}$).

Le polyoxyéthylène appartient à la famille des alcools.

COMPRENDRE

La question porte sur le groupe en gras. Le long de la chaîne, les enchaînements $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ne sont pas des groupes hydroxyle : seule l'extrémité $-\text{OH}$ justifie le classement parmi les alcools.

Pendule de Foucault

Bac S 2011 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

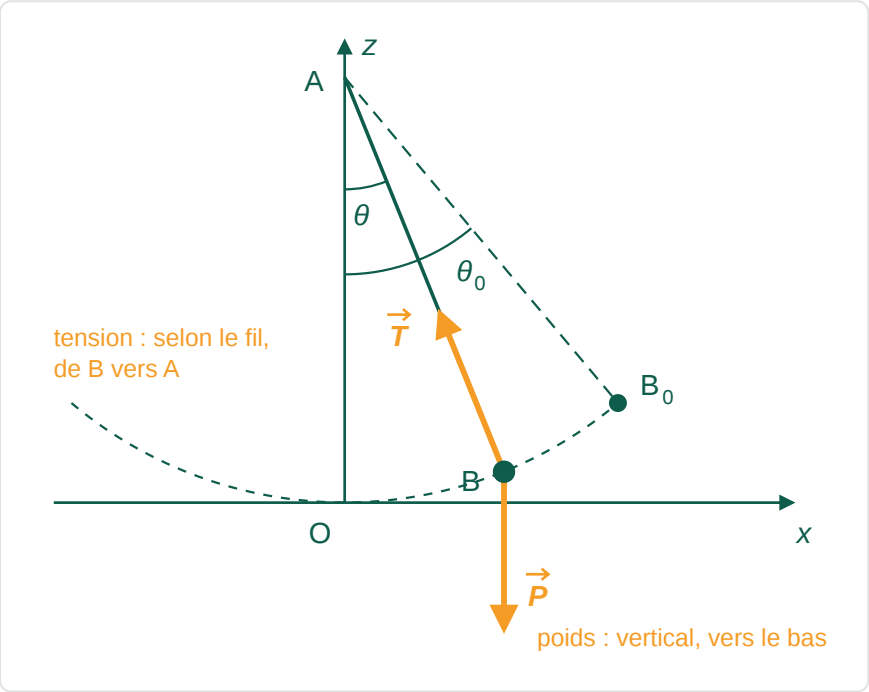
1.1.1 Sur la figure A3 de l'annexe, représenter sans souci d'échelle les forces qui s'exercent sur la sphère B pour un angle θ quelconque (actions de l'air négligées).

Système {sphère B}, étudié dans le référentiel terrestre. Sans l'air, deux forces s'exercent sur la sphère :

- son poids $\vec{P}$, vertical, dirigé vers le bas ;
- la tension du fil $\vec{T}$, portée par le fil, dirigée de B vers A.

Deux forces, tracées à partir de B : le poids $\vec{P}$ et la tension du fil $\vec{T}$ (voir la figure A3 complétée).

PIÈGE
Ne pas ajouter une « force du mouvement » tangente à la trajectoire : seuls la Terre et le fil agissent sur la sphère. La tension suit le fil, elle n'est pas verticale.



1.1.1 · Figure A3 complétée : les deux forces qui s'exercent sur la sphère B

1.1.2 a. Énoncer la deuxième loi de Newton sous la forme d'une phrase. b. Quels éléments permettent de justifier que le mouvement est plan ?

a. Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un système de masse m constante est égale au produit de sa masse par le vecteur accélération de son centre d'inertie : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$.

b. Ici, $\vec{P} + \vec{T} = m\,\vec{a}$.

- Le poids est vertical et la tension est portée par le fil : tant que B est dans le plan (xOz), ces deux forces sont dans ce plan, donc $\vec{a}$ aussi : $a_y = 0$.
- La sphère est lâchée sans vitesse initiale : $v_y(0) = 0$, donc v_y reste nulle.
- La position initiale B_0 est dans le plan : $y(0) = 0$, donc y reste nulle.

À chaque instant $y(t) = 0$: le mouvement se fait dans le plan (xOz), car les forces sont dans ce plan et la vitesse initiale est nulle.

PIÈGE
Citer seulement les forces ne suffit pas. Avec une vitesse initiale ayant une composante selon (Oy), le pendule sortirait du plan : la condition « lâché sans vitesse initiale » fait partie de la justification.

1.1.3 Parmi les trois expressions proposées pour $x(t)$, choisir celle qui vérifie les conditions initiales (pendule lâché sans vitesse initiale à $t = 0$ depuis la position de la figure A3).

Conditions initiales : sur la figure A3, B_0 est du côté des x positifs, donc $x(0) > 0$; le pendule est lâché sans vitesse, donc $v_x(0) = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}(0) = 0$.

- (a) : $x(0) = K \sin 0 = 0$. Ne convient pas.
- (b) : $x(0) = -K \cos 0 = -K < 0$. Ne convient pas.
- (c) : $x(0) = K \cos 0 = K > 0$ et $\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -K\,\dfrac{2\pi}{T_0}\,\sin\left(\dfrac{2\pi}{T_0}\,t\right)$, qui vaut 0 à $t = 0$.

L'expression (c) convient : $x(t) = K \cos\left(\dfrac{2\pi}{T_0}\,t\right)$

COMPRENDRE
La constante K est l'amplitude du mouvement : $K = x(0) = L \sin\theta_0$.

MÉTHODE
Pour choisir entre plusieurs solutions, tester deux conditions à $t = 0$: la position, puis la vitesse (dérivée). Un cosinus part d'un extremum avec une vitesse nulle, un sinus part de zéro avec une vitesse maximale.

1.2.1 Vérifier par analyse dimensionnelle l'homogénéité de l'expression $T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$.

L est une longueur : $[L] = \mathrm{L}$.

g s'exprime en $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$, c'est une accélération : $[g] = \mathrm{L \cdot T^{-2}}$.

2π est un nombre sans dimension. Donc :

$$\left[2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\right] = \left(\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{L \cdot T^{-2}}}\right)^{1/2} = \left(\mathrm{T^2}\right)^{1/2} = \mathrm{T}$$

$\sqrt{\dfrac{L}{g}}$ a la dimension d'un temps, comme T_0 : l'expression est homogène.

MÉTHODE
Remplacer chaque grandeur par sa dimension (L, T, M), simplifier, puis comparer les deux membres. L'unité donnée par l'énoncé ($\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ pour g) fournit directement la dimension.

1.2.2 a. Calculer la période propre du balancier ($L = 1{,}0$ m) d'une horloge située à Paris. b. Pourquoi dit-on que cette horloge « bat la seconde » ? c. Que penser de ses indications dans un lieu de latitude différente ?

Données utiles $L = 1{,}0$ m ; $g_{\text{Paris}} = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

a. $T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g_{\text{Paris}}}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{1{,}0}{9{,}8}} = 2{,}0$ s

b. Une oscillation complète (un aller-retour) dure $2{,}0$ s, donc un aller simple dure $\dfrac{T_0}{2} = 1{,}0$ s. Le balancier passe par sa position d'équilibre une fois par seconde : chaque battement marque une seconde.

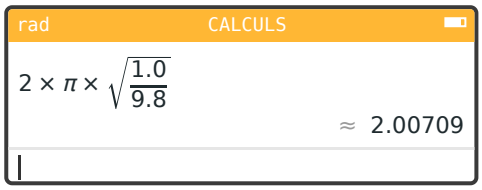
c. La valeur de g dépend de la latitude. Ailleurs qu'à Paris, $g \neq g_{\text{Paris}}$, donc $T_0 \neq 2{,}0$ s : l'horloge ne bat plus exactement la seconde, elle avance ou retarde. Il faut ajuster la longueur du balancier pour la régler.

$T_0 = 2{,}0$ s à Paris ; une demi-oscillation dure $1{,}0$ s ; l'horloge se dérègle si la latitude change.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme L et g_{Paris} : on écrit $2{,}0$ s et non 2 s ou $2{,}007$ s.

COMPRENDRE
Si g diminue, T_0 augmente : chaque battement dure plus d'une seconde et l'horloge retarde. Si g augmente, elle avance.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Déterminer graphiquement la valeur de la pseudo-période T des oscillations à 0,1 seconde près.

Sur la figure 3, on mesure la durée de plusieurs oscillations pour gagner en précision. Le premier maximum est à $t = 0$; le onzième maximum, dix pseudo-périodes plus tard, est à $t = 164$ s.

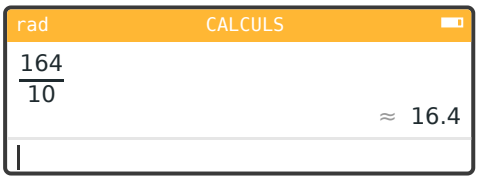
$10\,T = 164$ s, donc $T = \dfrac{164}{10}$

$T = 16{,}4$ s

PIÈGE
Bien compter les intervalles et non les sommets : entre le premier et le onzième maximum, il y a dix pseudo-périodes.

MÉTHODE
Mesurer $10\,T$ divise par dix l'incertitude de lecture : une erreur de 1 s sur 164 s ne donne que 0,1 s sur T. Lire une seule période sur le graphe ne permet pas la précision demandée.

À LA CALCULATRICE



2.1.2 À partir de la valeur de la pseudo-période, retrouver la longueur du pendule de Foucault décrit dans le texte d'introduction.

Données utiles $T = 16{,}4$ s (2.1.1) ; $g_{\text{Paris}} = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; longueur annoncée : 67 m

L'amortissement est faible : $T \approx T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g_{\text{Paris}}}}$.

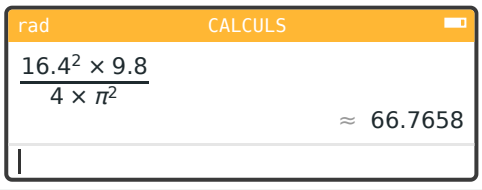
En élevant au carré : $T^2 = 4\pi^2\,\dfrac{L}{g_{\text{Paris}}}$, d'où $L = \dfrac{T^2\,g_{\text{Paris}}}{4\pi^2}$.

$$L = \frac{16{,}4^2 \times 9{,}8}{4\pi^2} = 67\ \text{m}$$

$L = 67$ m : on retrouve la longueur du fil annoncée dans le texte (67 m).

PIÈGE
Isoler L avant de calculer et ne pas oublier le carré sur T et sur π. Un résultat de quelques mètres ou de plusieurs kilomètres doit alerter.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 Quelle est l'origine de l'amortissement constaté dans les oscillations ?

Sur la figure 3, l'amplitude diminue légèrement au cours du temps. La sphère se déplace dans l'air, qui exerce sur elle des forces de frottement.

L'amortissement est dû aux frottements, principalement ceux de l'air sur la sphère et le fil.

2.2.2 Préciser la nature des conversions d'énergie mises en jeu lors des oscillations du pendule.

- Quand la sphère descend vers sa position d'équilibre, son énergie potentielle de pesanteur est convertie en énergie cinétique.
- Quand elle remonte, son énergie cinétique est convertie en énergie potentielle de pesanteur.
- À chaque oscillation, une petite partie de l'énergie mécanique est dissipée par les frottements, sous forme de transfert thermique vers l'air.

Échanges permanents entre énergie potentielle de pesanteur et énergie cinétique, avec une faible dissipation due aux frottements.

COMPRENDRE
Aux positions extrêmes, la vitesse est nulle : l'énergie est entièrement potentielle. Au passage par la verticale, l'altitude est minimale et la vitesse maximale : l'énergie cinétique est maximale.

2.2.3 Comment évolue l'énergie mécanique du pendule au cours du temps ?

L'énergie mécanique est $E_m = E_c + E_{pp}$. Les forces de frottement ne sont pas conservatives et leur travail est négatif (résistant).

L'énergie mécanique du pendule diminue lentement au cours du temps.

COMPRENDRE
Cette diminution se lit sur la figure 3 : les maximums de x baissent un peu. Or, à un maximum, toute l'énergie est potentielle et elle est d'autant plus petite que la sphère monte moins haut.

2.3.1 Le mouvement observé n'est pas plan, en désaccord avec l'application de la deuxième loi de Newton faite en 1.1.2. Que peut-on en conclure quant au référentiel terrestre ?

En 1.1.2, la deuxième loi de Newton a été appliquée en supposant le référentiel terrestre galiléen ; elle prévoit un mouvement plan. L'observation sur plusieurs heures contredit cette prévision, alors que les forces sont les mêmes. C'est donc l'hypothèse faite sur le référentiel qui n'est pas valable.

Le référentiel terrestre n'est pas rigoureusement galiléen : il ne peut être considéré comme tel que pour des durées courtes devant la période de rotation de la Terre.

COMPRENDRE
La Terre tourne sur elle-même par rapport au référentiel géocentrique. Sur quelques minutes (2.1), cette rotation est négligeable ; sur plusieurs heures, elle ne l'est plus. C'est ce que Foucault a mis en évidence en 1851.

2.3.2 Calculer, pour le pendule du Panthéon, la période τ de rotation du plan d'oscillation. Compléter la case vide du tableau de la figure A4.

Données utiles le plan tourne de 270° en 24 h, à vitesse constante

La période τ est la durée d'un tour complet (360°) du plan d'oscillation. La rotation se fait à vitesse constante, donc la durée est proportionnelle à l'angle :

$$\tau = \frac{360}{270} \times 24 = 32 \text{ h}$$

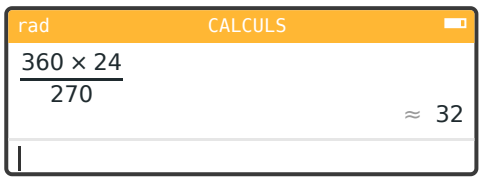
Dans le tableau de la figure A4, ligne « Paris » ($\lambda = 48{,}85^\circ$), on écrit : 32 h 00 min.

$\tau = 32$ h

PIÈGE

Ne pas répondre $\tau = 24$ h : en un jour, le plan ne fait que les trois quarts d'un tour. La période est donc plus longue qu'un jour.

À LA CALCULATRICE



2.3.3 Reporter le point correspondant sur le graphe $\tau = f\left(\frac{1}{|\sin\lambda|}\right)$ de la figure A5. En déduire une méthode pour déterminer, à l'aide d'un pendule de Foucault, la latitude d'un lieu.

Données utiles Paris : $\lambda = 48{,}85^\circ$; $\tau = 32$ h (2.3.2)

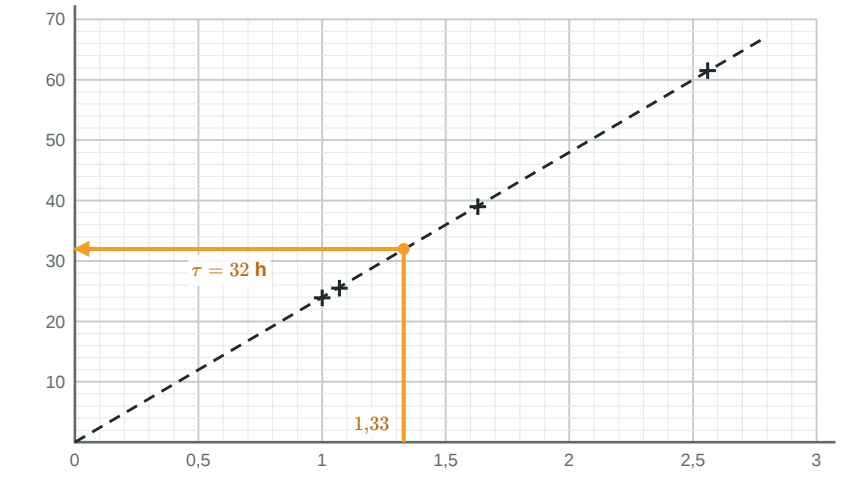
Abscisse du point de Paris : $\frac{1}{|\sin\lambda|} = \frac{1}{\sin(48{,}85^\circ)} = 1{,}33$; ordonnée : $\tau = 32$ h.

Ce point s'aligne avec les quatre autres sur une droite passant par l'origine : τ est proportionnelle à $\frac{1}{|\sin\lambda|}$.

Méthode :

- installer un pendule de Foucault au lieu étudié et mesurer la période τ de rotation de son plan d'oscillation (par exemple l'angle balayé en quelques heures, puis une proportionnalité) ;
- placer τ en ordonnée sur la droite d'étalonnage et lire l'abscisse $\frac{1}{|\sin\lambda|}$;
- en déduire $|\sin\lambda|$, puis la latitude avec la touche $\arcsin$.

Point à placer : $(1{,}33\ ;\ 32\ \text{h})$. La mesure de τ, reportée sur la droite, donne $\frac{1}{|\sin\lambda|}$ donc la latitude.



2.3.3 · Figure A5 complétée : le point de Paris (en orange) s'aligne avec les autres

COMPRENDRE

La droite a pour coefficient directeur environ 24 h, soit T_{Terre} : $\tau \approx \frac{T_{\text{Terre}}}{|\sin\lambda|}$. Vérification pour Paris : $\sin\lambda = \frac{24}{32} = 0{,}75$ donne $\lambda \approx 49^\circ$.

COMPRENDRE

La valeur absolue fait perdre le signe de λ : le graphe ne dit pas si le lieu est dans l'hémisphère nord ou sud. Près de l'équateur, τ devient très grande (6329 h à Quito) et la méthode est inutilisable.

À LA CALCULATRICE

