Corrigé complet — Bac S 2010 La Réunion (ancien programme)

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

Ex 1	**Ondes sismiques et sismomètre** Ondes mécaniques progressives · Célérité et longueur d'onde · Écho et réflexion d'une onde · Deuxième loi de Newton · Oscillateur masse-ressort · Oscillations forcées et résonance	9 pts	1 h 57	21 questions	p. 2
Ex 2	**De la vitamine C dans la rose** Masse molaire · Réaction acido-basique · Titrage pH-métrique · Équivalence · Méthode des tangentes parallèles	3 pts	39 min	8 questions	p. 9
Ex 3	**Décomposition du pentaoxyde de diazote** Équation d'état des gaz parfaits · Tableau d'avancement · Avancement maximal · Suivi cinétique par mesure de pression · Vitesse volumique de réaction · Temps de demi-réaction	4 pts	52 min	9 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Synthèse de la lidocaïne** Groupe caractéristique amide · Chauffage à reflux · Chromatographie sur couche mince · Extraction et séchage d'une phase organique · Tableau d'avancement et réactif limitant · Rendement d'une synthèse	4 pts	52 min	12 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.

Ondes sismiques et sismomètre

Bac S 2010 La Réunion (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 57**

1.1 (Partie 1) Pour chacune des trois ondes du texte (P, S, Love), préciser en justifiant si elle est transversale ou longitudinale.

- Onde P : les roches sont comprimées puis étirées le long de la direction de propagation. Perturbation et propagation ont la même direction : onde **longitudinale**.
- Onde S : le cisaillement se fait à angle droit de la direction de propagation : onde **transversale**.
- Onde de Love L : le sol se déplace horizontalement, perpendiculairement à la direction de propagation : onde **transversale**.

P : longitudinale ; S et L : transversales.

MÉTHODE
Comparer deux directions : celle du déplacement de la matière et celle de la propagation. Parallèles : onde longitudinale. Perpendiculaires : onde transversale.

1.2 (Partie 1) Citer un autre exemple d'onde mécanique transversale.

L'onde qui se propage le long d'une corde tendue dont on agite une extrémité (ou les rides à la surface de l'eau).

PIÈGE
Le son est une onde mécanique longitudinale. La lumière est transversale mais n'est pas une onde mécanique : elle se propage dans le vide.

2 (Partie 1) Calculer la durée mise par les ondes les plus rapides pour parcourir la distance d entre Rouillac et Strasbourg.

Données utiles $d = 833$ km ; $v = 6{,}0\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$

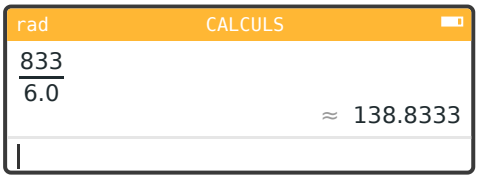
L'onde parcourt la distance d à la célérité v : $v = \dfrac{d}{\Delta t}$, donc $\Delta t = \dfrac{d}{v}$.

$$\Delta t = \frac{833}{6{,}0} = 139\ \text{s}$$

$\Delta t = 1{,}4 \times 10^2$ s, soit environ 2 min 20 s.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : la célérité $6{,}0\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ n'en a que deux, le résultat aussi. Avec d en km et v en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, la durée sort directement en secondes.

À LA CALCULATRICE



1 (Partie 2) Pendant la salve, l'onde est périodique. Calculer sa longueur d'onde.

Données utiles $f = 14{,}0$ Hz ; $v = 6{,}21\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$

Pour une onde périodique : $\lambda = \dfrac{v}{f}$, avec $v = 6{,}21 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\lambda = \frac{6{,}21 \times 10^3}{14{,}0} = 444\ \text{m}$$

$\lambda = 444$ m

PIÈGE
Laisser la célérité en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ donne $0{,}444$, qui est alors en kilomètres. Sans conversion ni unité cohérente, le résultat est compté faux.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{6.21 \times 10^3}{14.0} \approx 443.5714$$

2 (Partie 2) L'onde réfléchie par la première hétérogénéité atteint le premier capteur 0,580 s après l'émission. En déduire la profondeur h de la première couche.

Données utiles $\Delta t' = 0{,}580$ s ; $v = 6{,}21 \times 10^3$ m · s^{-1} ; indication : $EH \approx h$

L'onde parcourt le trajet $EH + HR$ pendant la durée $\Delta t'$. D'après l'indication, $EH = HR \approx h$, donc la distance parcourue vaut $2h$:

$$v = \frac{2h}{\Delta t'} \quad \text{donc} \quad h = \frac{v\,\Delta t'}{2}$$

$$h = \frac{6{,}21 \times 10^3 \times 0{,}580}{2} = 1{,}80 \times 10^3 \text{ m}$$

$$h = 1{,}80 \times 10^3 \text{ m} = 1{,}80 \text{ km}$$

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : la durée mesurée correspond à un aller-retour. Sans lui, on trouve une profondeur double.

COMPRENDRE
Le capteur est à 100 m du camion : le point H est décalé de 50 m seulement pour une profondeur de 1 800 m. L'approximation $EH \approx h$ est donc excellente.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{6.21 \times 10^3 \times 0.580}{2} \approx 1800.9$$

3 (Partie 2) Pour l'onde réfléchie, indiquer par oui ou par non si chaque grandeur est modifiée par rapport à l'onde incidente : longueur d'onde, fréquence, vitesse de propagation, amplitude.

- Fréquence : **non**, elle est imposée par la source.
- Vitesse de propagation : **non**, l'onde réfléchie revient dans le même milieu.
- Longueur d'onde : **non**, car $\lambda = \frac{v}{f}$ avec v et f inchangées.
- Amplitude : **oui**, elle diminue puisque l'onde perd de l'énergie.

Seule l'amplitude est modifiée.

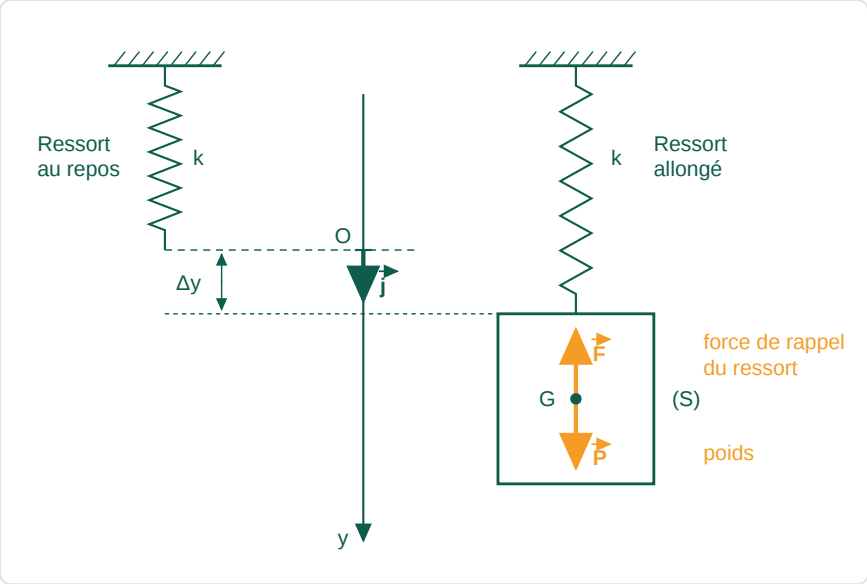
1.1 (Partie 3) Sur l'annexe (figure 4), représenter sans souci d'échelle les forces extérieures agissant sur le solide S.

Le solide S est soumis à deux forces :

- son poids $\vec{P} = m\,g\,\vec{j}$, vertical, vers le bas ;
- la force de rappel du ressort $\vec{F} = -k\,\Delta y\,\vec{j}$, verticale, vers le haut.

Deux forces verticales opposées, $\vec{P}$ et $\vec{F}$, tracées avec la même longueur.

COMPRENDRE
Le ressort est allongé : il tire le solide vers le haut, pour revenir à sa longueur au repos. Les deux forces sont ici tracées depuis G pour la lisibilité.



1.1 · Figure 4 complétée : le poids et la force de rappel, de même longueur à l'équilibre

1.2 (Partie 3) Le solide S étant à l'équilibre dans le référentiel terrestre supposé galiléen, trouver la relation reliant k, m, g et Δy. Justifier.

Le solide est immobile dans un référentiel galiléen : d'après la première loi de Newton (principe d'inertie), $\vec{P} + \vec{F} = \vec{0}$.

En projection sur l'axe (Oy) orienté vers le bas : $m\,g - k\,\Delta y = 0$.

$$k\,\Delta y = m\,g$$

1.3 (Partie 3) Vérifier que la constante de raideur k vaut $7{,}1 \times 10^{3}\ \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$.

Données utiles $\Delta y = 2{,}5$ mm ; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; $m = 1{,}8$ kg

D'après la relation précédente : $k = \dfrac{m\,g}{\Delta y}$, avec $\Delta y = 2{,}5 \times 10^{-3}$ m.

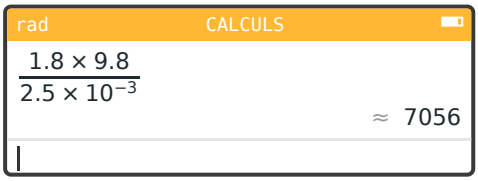
$$k = \frac{1{,}8 \times 9{,}8}{2{,}5 \times 10^{-3}} = 7{,}1 \times 10^{3}\ \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$k = 7{,}1 \times 10^{3}\ \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$: c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE

Laisser Δy en millimètres donne $7{,}1\ \text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$, mille fois trop petit une fois lu en $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



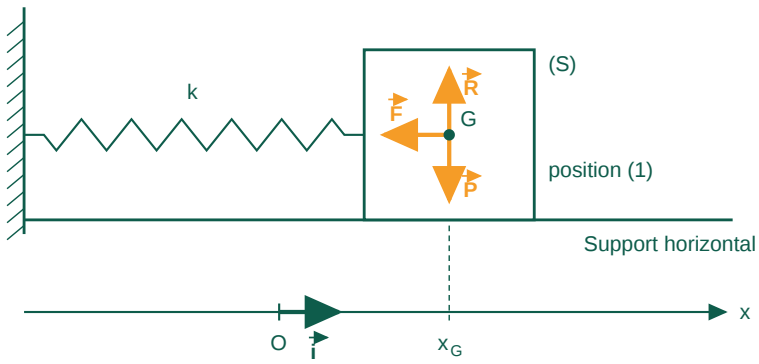
2.1 (Partie 3) Le solide S, écarté puis lâché sans vitesse initiale, oscille sur le support horizontal. Représenter sans souci d'échelle les forces extérieures agissant sur S en position (1) (annexe, figure 5).

En position (1), $x_G > 0$: le ressort est étiré. Le solide est soumis à trois forces :

- son poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas ;
- la réaction $\vec{R}$ du support, verticale, vers le haut (perpendiculaire au support car les frottements sont négligés) ;
- la force de rappel $\vec{F} = -k\,x_G\,\vec{i}$, horizontale, dirigée vers la gauche.

Trois forces : $\vec{P}$ et $\vec{R}$ verticales et opposées, $\vec{F}$ horizontale dirigée vers la position d'équilibre.

PIÈGE
Ajouter une « force de lancement » ou une force dans le sens du mouvement. Après le lâcher, seules ces trois forces existent.



2.1 · Figure 5 complétée : poids, réaction du support et force de rappel en position (1)

2.2 (Partie 3) Montrer que l'équation différentielle du mouvement s'écrit $\dfrac{\mathrm{d}^2x_G}{\mathrm{d}t^2} + \dfrac{k}{m}x_G = 0$.

Système {solide S}, de masse m ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\,\vec{a}_G$.

En projection sur l'axe (Ox), $\vec{P}$ et $\vec{R}$ étant perpendiculaires à l'axe :

$$0 + 0 - k\,x_G = m\,a_x \quad \text{avec} \quad a_x = \frac{\mathrm{d}^2x_G}{\mathrm{d}t^2}$$

En divisant par m :

$$\frac{\mathrm{d}^2x_G}{\mathrm{d}t^2} + \frac{k}{m}x_G = 0$$

MÉTHODE
Toujours le même plan : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi de Newton, projection sur l'axe du mouvement.

2.3.1 (Partie 3) Une solution s'écrit $x_G(t) = X_m \cos\left(2\pi\dfrac{t}{T_0}\right)$. Que représentent les grandeurs X_m et T_0 ?

X_m est l'amplitude des oscillations (valeur maximale de x_G, en mètres) ; T_0 est la période propre de l'oscillateur (en secondes).

2.3.2 (Partie 3) En utilisant l'équation différentielle, retrouver l'expression $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

On dérive deux fois la solution proposée :

$$\frac{\mathrm{d}x_G}{\mathrm{d}t} = -\frac{2\pi}{T_0} X_m \sin\left(2\pi\frac{t}{T_0}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}^2x_G}{\mathrm{d}t^2} = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 X_m \cos\left(2\pi\frac{t}{T_0}\right) = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 x_G$$

On reporte dans l'équation différentielle : $\left[\frac{k}{m} - \left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\right] x_G = 0$.

Cette égalité doit être vraie à chaque instant, donc $\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 = \frac{k}{m}$, soit $\frac{T_0}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{k}}$ (T_0 positive).

$$\boxed{T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}$$

PIÈGE
Oublier le facteur $\frac{2\pi}{T_0}$ qui sort à chaque dérivation, ou le signe « $-$ » de la dérivée du cosinus.

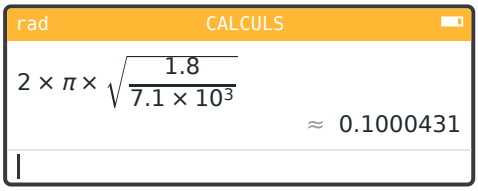
2.3.3 (Partie 3) Calculer T_0.

Données utiles $m = 1{,}8$ kg ; $k = 7{,}1 \times 10^3$ N · m^{-1} (1.3)

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{1{,}8}{7{,}1\times10^3}} = 0{,}10 \text{ s}$$

$$\boxed{T_0 = 0{,}10 \text{ s}}$$

À LA CALCULATRICE



2.3.4 (Partie 3) Exprimer puis calculer la fréquence propre f_0 du système.

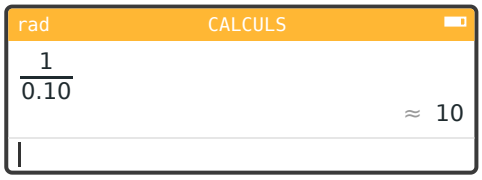
Données utiles $T_0 = 0{,}10$ s (2.3.3)

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$f_0 = \frac{1}{0{,}10} = 10 \text{ Hz}$$

$$\boxed{f_0 = 10 \text{ Hz}}$$

À LA CALCULATRICE



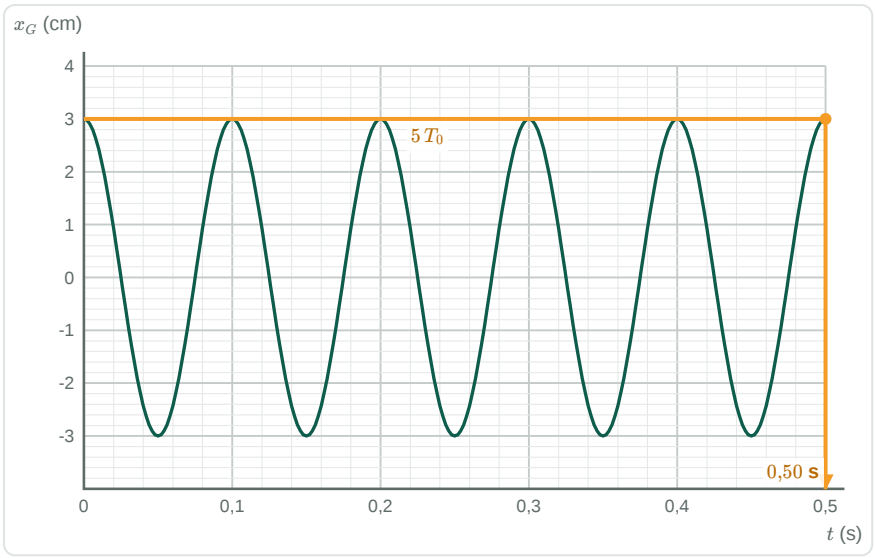
2.4.1 (Partie 3) Mesurer la valeur de la période propre sur la courbe $x_G(t)$ de l'annexe (figure 6).

Entre le maximum à $t = 0$ et le sixième maximum à $t = 0{,}50$ s, on compte 5 périodes :

$$5\,T_0 = 0{,}50 \text{ s} \quad \text{donc} \quad T_0 = \frac{0{,}50}{5} = 0{,}10 \text{ s}$$

$$\boxed{T_0 = 0{,}10 \text{ s}}$$

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes puis diviser : l'incertitude de lecture est répartie sur cinq périodes au lieu d'une seule.



2.4.1 · Figure 6 : cinq périodes entre le premier et le sixième maximum

2.4.2 (Partie 3) En déduire la valeur de la fréquence propre du système. Est-elle en accord avec le calcul de la question 2.3.4 ?

Données utiles $T_0 = 0{,}10$ s (2.4.1)

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{0{,}10} = 10 \text{ Hz}$$

$f_0 = 10$ Hz : la mesure graphique est en accord avec la valeur calculée à la question 2.3.4.

2.5 (Partie 3) Dans quelle proportion la fréquence propre d'oscillation est-elle modifiée si on double la valeur de la masse m ?

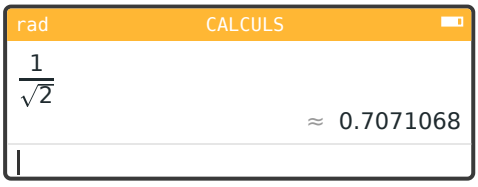
$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$: à k constant, f_0 est proportionnelle à $\frac{1}{\sqrt{m}}$.

Avec une masse $2m$: $f_0' = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{2m}} = \frac{f_0}{\sqrt{2}}$.

La fréquence propre est divisée par $\sqrt{2}$: $f_0' \approx 0{,}71\, f_0$, soit environ 7,1 Hz.

PIÈGE
Répondre « divisée par 2 ». La masse est sous une racine carrée : doubler m divise f_0 par $\sqrt{2}$ seulement.

À LA CALCULATRICE



3.1 (Partie 3) Dans le sismographe, l'onde sismique fait osciller périodiquement l'extrémité supérieure du ressort. À quelle fréquence f_S le système « solide S + ressort » oscille-t-il si l'onde est celle du camion vibreur de la partie 2 ?

L'onde sismique joue le rôle d'excitateur : elle impose sa fréquence au système « solide S + ressort » (le résonateur), qui effectue des oscillations forcées.

$f_S = f = 14{,}0$ Hz

COMPRENDRE
En oscillations libres, le système oscille à sa fréquence propre f_0. En oscillations forcées, il oscille à la fréquence de l'excitateur, quelle que soit f_0.

3.2 (Partie 3) Pourquoi avoir choisi, dans la construction du sismographe, une fréquence propre f_0 proche de f_S ?

Lorsque la fréquence imposée f_S (14 Hz) est voisine de la fréquence propre f_0 (10 Hz), le système est proche de la résonance : l'amplitude des oscillations du solide S est grande.

Près de la résonance, l'amplitude du tracé est grande : le sismographe est plus sensible et détecte des ondes de faible amplitude.

3.3 (Partie 3) Le texte indique que le sismographe est équipé d'un « système d'amortissement ». Quel est l'intérêt d'un tel système ?

À la résonance, sans amortissement, l'amplitude des oscillations pourrait devenir très grande et détériorer l'appareil. L'amortissement limite cette amplitude.

Il permet aussi au solide de s'arrêter rapidement après le passage de l'onde : l'enregistrement reflète alors le mouvement du sol et non les oscillations propres de l'appareil.

L'amortissement limite l'amplitude à la résonance, protège le sismographe et évite que le solide continue d'osciller après le passage de l'onde.

De la vitamine C dans la rose

Bac S 2010 La Réunion (ancien programme) · Exercice 2 **3 points** **Durée conseillée 39 min**

1 Calculer la masse molaire moléculaire M_{AH} de l'acide ascorbique.

Données utiles $M_H = 1{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_C = 12{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_O = 16{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

On compte les atomes sur la formule développée : 6 atomes de carbone, 8 d'hydrogène et 6 d'oxygène. La formule brute est $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$.

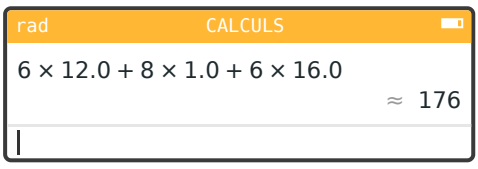
$M_{AH} = 6\,M_C + 8\,M_H + 6\,M_O = 6\times 12{,}0 + 8\times 1{,}0 + 6\times 16{,}0$

$\boxed{M_{AH} = 176{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}}$

PIÈGE
Oublier des atomes d'hydrogène : le groupe HOH_2C en porte trois, CHOH deux, les deux groupes OH du cycle un chacun, et il reste le H isolé lié au cycle.

COMPRENDRE
Les masses molaires atomiques sont données au dixième : la somme s'écrit aussi au dixième, soit $176{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



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

L'acide AH du couple AH/A^- réagit avec l'ion hydroxyde HO^-, base du couple $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$, apporté par la solution d'hydroxyde de sodium.

$\boxed{\text{AH}\,(\text{aq}) + \text{HO}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{A}^-\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l})}$

COMPRENDRE
L'acide cède un ion H^+ à la base. L'ion sodium Na^+ est spectateur : il ne figure pas dans l'équation. Une réaction de titrage est totale et rapide, d'où la flèche simple.

3.1 Définir par une phrase l'équivalence acido-basique.

L'équivalence est l'état du système pour lequel le réactif titré et le réactif titrant ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction de titrage : ils sont alors tous deux entièrement consommés.

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, le réactif limitant est l'ion HO^- versé ; après, c'est l'acide AH. L'équivalence est le moment où le réactif limitant change.

3.2 Donner la relation entre les quantités de matière des réactifs introduits à l'équivalence.

Dans l'équation, les nombres stœchiométriques de AH et de HO^- valent tous deux 1.

$\boxed{n_{AH}(\text{initial}) = n_{\text{HO}^-}(\text{versé à l'équivalence})}$

PIÈGE
Écrire seulement « $n_{AH} = n_{\text{HO}^-}$ » sans préciser : il s'agit de la quantité d'acide présente au départ dans la fiole et de la quantité d'ions hydroxyde versée jusqu'à l'équivalence.

4.1 En précisant la méthode employée, déterminer les coordonnées du point d'équivalence de ce titrage.

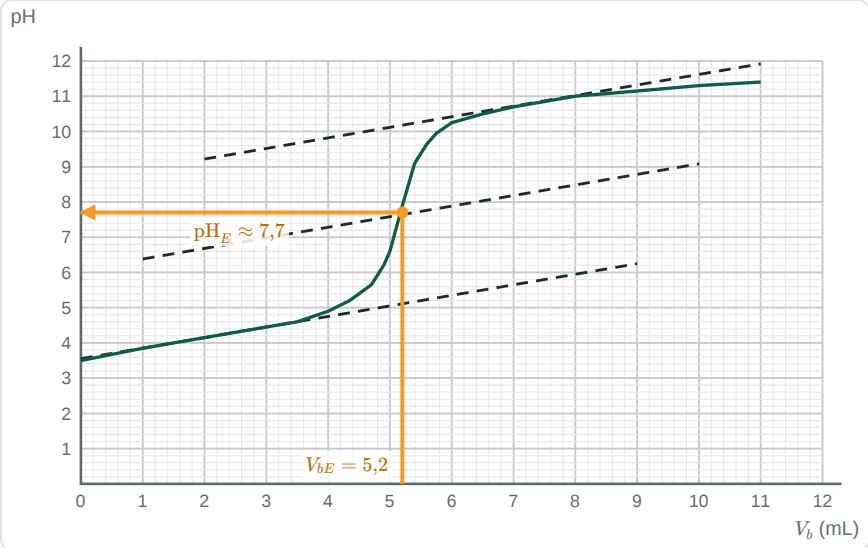
On applique la méthode des tangentes parallèles sur la courbe de l'annexe :

- on trace deux tangentes à la courbe, parallèles entre elles, de part et d'autre du saut de pH ;
- on trace la droite parallèle à ces deux tangentes et située à égale distance de chacune ;
- cette droite coupe la courbe au point d'équivalence E.

$\boxed{E\ (V_{bE} = 5{,}2\ \text{mL}\ ;\ \text{pH}_E \approx 7{,}7)}$

COMPRENDRE
Le saut est presque vertical : le volume V_{bE} se lit bien (5,1 à 5,3 mL), le pH beaucoup moins (toute valeur entre 7,5 et 8 convient). Seul V_{bE} sert ensuite. $\text{pH}_E > 7$ car la solution contient alors la base A^-.

MÉTHODE
La parallèle médiane se place en mesurant, perpendiculairement aux tangentes, la distance qui les sépare, puis en prenant le milieu. On lit ensuite l'abscisse de E, puis son ordonnée.



4.1 · Annexe complétée : méthode des tangentes parallèles

4.2 En déduire la quantité de matière d'acide ascorbique n_{AH} contenue dans une gélule de cynorhodon.

Données utiles $C_b = 0{,}10\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_{bE} = 5{,}2\ \text{mL}$ (4.1)

Tout le contenu de la fiole, donc toute la gélule, est titré. D'après la relation à l'équivalence (3.2) :

$n_{AH} = n_{HO^-}(\text{versé}) = C_b \times V_{bE}$

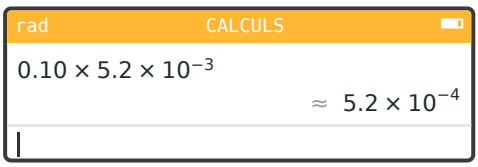
$n_{AH} = 0{,}10 \times 5{,}2 \times 10^{-3}$

$\boxed{n_{AH} = 5{,}2 \times 10^{-4}\ \text{mol}}$

PIÈGE
Laisser V_{bE} en millilitres, ou faire intervenir les 100,0 mL de la fiole : ce volume ne sert pas, puisque la quantité d'acide ne dépend pas de l'eau ajoutée.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C_b et V_{bE}, qui sont les données les moins précises.

À LA CALCULATRICE



4.3 En déduire la masse m_{AH} d'acide ascorbique présente dans une gélule.

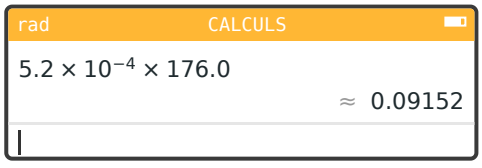
Données utiles $n_{AH} = 5{,}2 \times 10^{-4}\ \text{mol}$ (4.2) ; $M_{AH} = 176{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ (1)

$m_{AH} = n_{AH} \times M_{AH}$

$m_{AH} = 5{,}2 \times 10^{-4} \times 176{,}0 = 9{,}2 \times 10^{-2}\ \text{g}$

$\boxed{m_{AH} = 9{,}2 \times 10^{-2}\ \text{g} = 92\ \text{mg}}$

À LA CALCULATRICE



4.4 Un comprimé de Laroscorbine 500 contient 500 mg d'acide ascorbique. Lequel, de la gélule de cynorhodon ou du comprimé, est le plus riche en vitamine C ?

Données utiles $m_{AH} = 92\ \text{mg}$ (4.3)

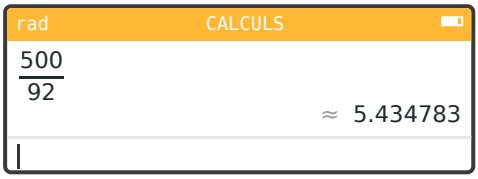
La gélule contient 92 mg d'acide ascorbique, le comprimé 500 mg :
$92\ \text{mg} < 500\ \text{mg}$.
$\frac{500}{92} \approx 5{,}4$

Le comprimé de Laroscorbine 500 est le plus riche en vitamine C : il en contient environ 5 fois plus qu'une gélule de cynorhodon.

MÉTHODE

Pour comparer deux masses, on les exprime dans la même unité, puis on conclut par une phrase chiffrée (inégalité ou rapport).

À LA CALCULATRICE



Décomposition du pentaoxyde de diazote

Bac S 2010 La Réunion (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Montrer que la quantité de matière initiale de pentaoxyde de diazote vaut $n_0 = 8{,}8 \times 10^{-3}$ mol.

Données utiles $P_0 = 4{,}638 \times 10^4$ Pa ; $V = 0{,}50$ L ; $T = 318$ K ; $R = 8{,}31$ J · mol^{-1} · K^{-1}

À $t = 0$, l'enceinte ne contient que N_2O_5 gazeux : $n_G = n_0$. L'équation d'état donne $P_0 V = n_0 RT$, donc

$$n_0 = \frac{P_0\, V}{R\, T}$$

Avec $V = 0{,}50\ \text{L} = 0{,}50 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$:

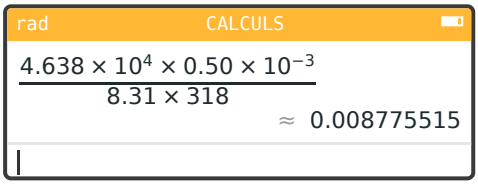
$$n_0 = \frac{4{,}638 \times 10^4 \times 0{,}50 \times 10^{-3}}{8{,}31 \times 318}$$

$n_0 = 8{,}8 \times 10^{-3}$ mol : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Laisser le volume en litres donne $8{,}8$ mol, mille fois trop. Dans $PV = nRT$, le volume est en m³ et la pression en Pa : $1\ \text{L} = 10^{-3}\ \text{m}^3$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : le volume $V = 0{,}50$ L est la donnée la moins précise du calcul.

À LA CALCULATRICE



1.2 Compléter le tableau d'avancement de la transformation (figure 1 de l'annexe).

État initial : seul le réactif est présent, en quantité n_0.

À l'avancement x, les nombres stœchiométriques 2, 4 et 1 donnent : $2x$ mol de N_2O_5 consommées, $4x$ mol de NO_2 et x mol de O_2 formées.

$n(N_2O_5) = n_0 - 2x$; $n(NO_2) = 4x$; $n(O_2) = x$

PIÈGE
Oublier les nombres stœchiométriques et écrire $n_0 - x$ pour le réactif ou x pour NO_2. Chaque quantité varie de « nombre stœchiométrique $\times\ x$ ».

Équation de la réaction		2 N₂O₅ (g)	=	4 NO₂ (g)	+	O₂ (g)
État	Avancement	n(N₂O₅)		n(NO₂)		n(O₂)
Initial	0	n₀		0		0
Intermédiaire	x	n₀ − 2x		4x		x

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

1.3 Montrer que l'avancement maximal x_{max} de la réaction vaut 4,4 mmol.

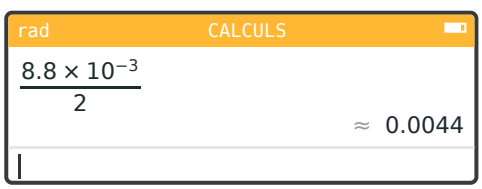
Données utiles $n_0 = 8{,}8 \times 10^{-3}$ mol (1.1)

La réaction est totale et N_2O_5 est le seul réactif : il est entièrement consommé à l'état final, soit $n_0 - 2x_{max} = 0$.

$$x_{max} = \frac{n_0}{2} = \frac{8{,}8 \times 10^{-3}}{2} = 4{,}4 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

$x_{max} = 4{,}4$ mmol : c'est la valeur attendue.

À LA CALCULATRICE



2.1 À l'aide du tableau d'avancement, exprimer la quantité de matière totale de gaz n_G en fonction de n_0 et de l'avancement x.

Les trois espèces sont gazeuses : $n_G = n(\mathrm{N_2O_5}) + n(\mathrm{NO_2}) + n(\mathrm{O_2}) = (n_0 - 2x) + 4x + x$

$$\boxed{n_G = n_0 + 3x}$$

COMPRENDRE
Deux moles de gaz en donnent cinq : la quantité de gaz augmente pendant la réaction. À volume et température fixés, la pression augmente donc aussi, ce qui permet le suivi par mesure de pression.

2.2 En déduire, avec l'équation d'état des gaz parfaits, la relation $\dfrac{P}{P_0} = 1 + \dfrac{3x}{n_0}$.

À la date t : $P\,V = n_G\,R\,T = (n_0 + 3x)\,R\,T$.

À $t = 0$: $P_0\,V = n_0\,R\,T$.

V et T sont constants ; en divisant membre à membre :

$$\frac{P}{P_0} = \frac{n_0 + 3x}{n_0}$$

$$\boxed{\frac{P}{P_0} = 1 + \frac{3x}{n_0}}$$

MÉTHODE
Pour éliminer des grandeurs constantes (V, T, R), écrire la même loi à deux instants et faire le quotient. Inversée, la relation donne $x = \dfrac{n_0}{3}\left(\dfrac{P}{P_0} - 1\right)$: c'est ainsi que la figure 2 a été tracée.

2.3 À l'aide du résultat du 1.3, calculer le rapport $\dfrac{P_{max}}{P_0}$, où P_{max} est la pression lorsque l'avancement maximal est atteint.

Données utiles $x_{max} = 4{,}4 \times 10^{-3}$ mol (1.3) ; $n_0 = 8{,}8 \times 10^{-3}$ mol (1.1)

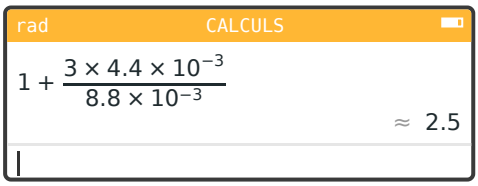
Pour $x = x_{max}$, la relation du 2.2 s'écrit :

$$\frac{P_{max}}{P_0} = 1 + \frac{3\,x_{max}}{n_0} = 1 + \frac{3 \times 4{,}4 \times 10^{-3}}{8{,}8 \times 10^{-3}}$$

$$\boxed{\frac{P_{max}}{P_0} = 2{,}5}$$

COMPRENDRE
Comme $x_{max} = \dfrac{n_0}{2}$, le rapport vaut exactement $1 + \dfrac{3}{2}$: il ne dépend pas de la valeur de n_0. Un rapport de deux pressions n'a pas d'unité.

À LA CALCULATRICE



2.4 Justifier, à l'aide du tableau de mesures, que la réaction n'est pas terminée à $t = 100$ s.

Données utiles à $t = 100$ s : $\dfrac{P}{P_0} = 2{,}422$; $\dfrac{P_{max}}{P_0} = 2{,}5$ (2.3)

À $t = 100$ s, le tableau donne $\dfrac{P}{P_0} = 2{,}422$, valeur inférieure à $\dfrac{P_{max}}{P_0} = 2{,}5$.

Or $\dfrac{P}{P_0}$ augmente avec x : l'avancement est donc encore inférieur à x_{max}.

$2{,}422 < 2{,}5$: la réaction n'est pas terminée à $t = 100$ s.

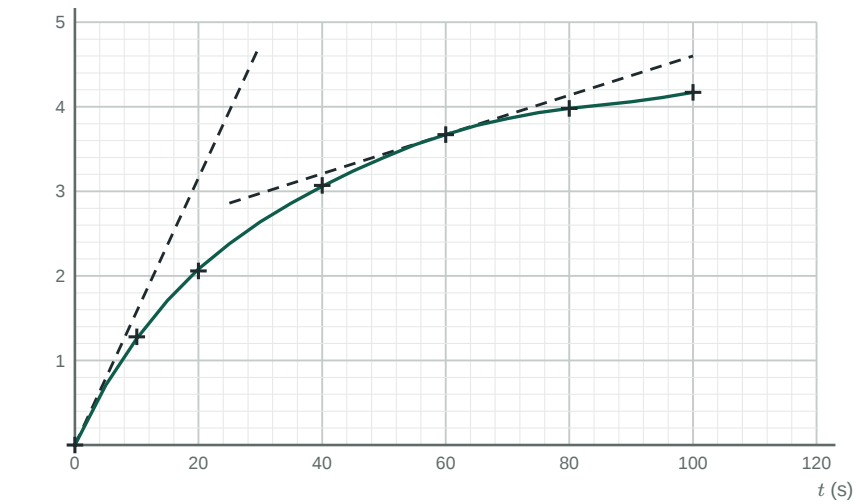
COMPRENDRE
Même conclusion sur la figure 2 : à $t = 100$ s, $x \approx 4{,}2$ mmol, en dessous de $x_{max} = 4{,}4$ mmol, et la courbe monte encore.

3.1 Comment varie la vitesse volumique de réaction $v = \frac{1}{V}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ au cours du temps ? Justifier à l'aide de la courbe de la figure 2.

$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ est le coefficient directeur de la tangente à la courbe $x(t)$ à la date considérée.

Sur la figure 2, la tangente est de moins en moins inclinée quand t augmente : $\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ diminue. Comme V est constant :

La vitesse volumique de réaction diminue au cours du temps.



3.1 · Figure 2 : tangentes à $t = 0$ et à $t = 60$ s (tirets), de moins en moins inclinées

COMPRENDRE
La concentration du réactif est un facteur cinétique : elle diminue à mesure que N_2O_5 est consommé, donc la réaction ralentit, la température restant constante.

COMPRENDRE
Le programme actuel de Terminale définit plutôt la vitesse volumique de disparition d'un réactif ou d'apparition d'un produit, à partir de sa concentration. Le raisonnement sur la pente de la tangente est le même.

3.2 Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ et déterminer sa valeur à l'aide du graphe.

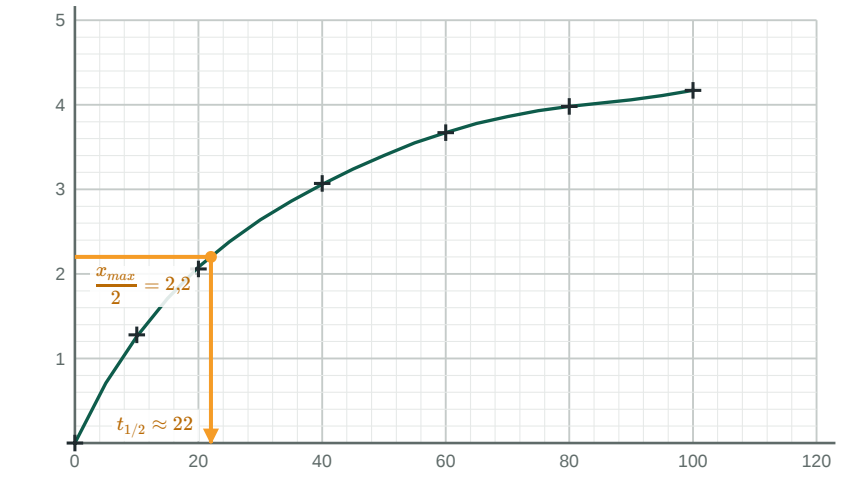
Données utiles $x_{max} = 4{,}4$ mmol (1.3)

Le temps de demi-réaction est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale. La réaction étant totale, $x_f = x_{max}$:

$$x(t_{1/2}) = \frac{x_{max}}{2} = \frac{4{,}4}{2} = 2{,}2 \text{ mmol}$$

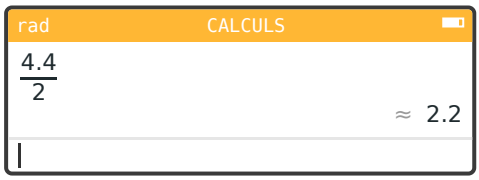
Sur la figure 2, on trace l'horizontale d'ordonnée 2,2 mmol jusqu'à la courbe, puis on lit l'abscisse du point d'intersection.

$t_{1/2} \approx 22$ s



3.2 · Figure 2 : lecture graphique du temps de demi-réaction

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Prendre la moitié de la dernière valeur du graphe (4,2 mmol à 100 s) : la réaction n'y est pas terminée. Il faut la moitié de $x_{max} = 4{,}4$ mmol. Et $t_{1/2}$ n'est pas la moitié de la durée totale.

COMPRENDRE

La lecture graphique est précise à 1 ou 2 s près : toute valeur entre 21 et 23 s convient.

Spécialité : Synthèse de la lidocaïne

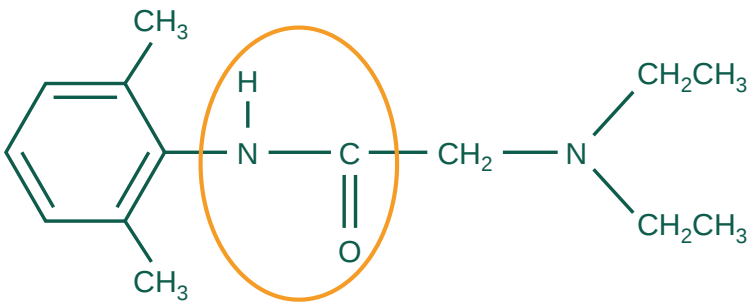
Bac S 2010 La Réunion (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 La lidocaïne est un amide. Recopier sa formule et entourer le groupe caractéristique amide.

Le groupe amide associe un carbone doublement lié à un oxygène et un azote directement lié à ce carbone (voir la formule recopiée).

Groupe amide : $-CO-NH^-$, entre le cycle et le groupe CH_2.

PIÈGE
La molécule contient deux atomes d'azote. Celui de droite, lié seulement à des carbones tétraédriques, appartient à un groupe amine : il ne faut pas l'entourer.



1 · Formule de la lidocaïne, groupe amide entouré

2 Choisir dans la liste la verrerie à utiliser pour mesurer les volumes V_2 et V_3. Justifier.

Données utiles $V_2 = 10{,}0$ mL de diéthylamine (réactif) ; $V_3 = 50$ mL de toluène (solvant)

$V_2 = 10{,}0$ mL est donné au dixième de millilitre : c'est le volume d'un réactif, il doit être mesuré avec précision, donc avec une verrerie jaugée.

$V_3 = 50$ mL est donné au millilitre près : le toluène n'est que le solvant, une verrerie graduée suffit.

V_2 : pipette jaugée de 10 mL ; V_3 : éprouvette graduée de 50 mL.

PIÈGE
La fiole jaugée de 50 mL sert à préparer une solution, pas à délivrer un volume. Un bécher n'est pas un instrument de mesure : ses graduations sont seulement indicatives.

COMPRENDRE
Le nombre de chiffres donnés dans l'énoncé indique la précision attendue : « 10,0 mL » appelle une verrerie jaugée, « 50 mL » une verrerie graduée.

3.1 Indiquer, parmi les trois montages proposés, celui qui représente un chauffage à reflux.

Dans un chauffage à reflux, le réfrigérant est vertical, placé directement au-dessus du ballon chauffé, et aucun récipient ne recueille de liquide.

C'est le montage (3).

COMPRENDRE
Les montages (1) et (2) possèdent un réfrigérant incliné qui conduit le liquide condensé vers un autre récipient : ce sont des montages de distillation.

3.2 Quel est l'intérêt de ce type de montage ?

Chauffer accélère la transformation, car la température est un facteur cinétique. Les vapeurs formées se liquéfient dans le réfrigérant et retombent dans le ballon : il n'y a aucune perte de matière.

Le chauffage à reflux accélère la réaction sans perte de réactifs ni de produits.

PIÈGE
Deux idées sont attendues : la durée de réaction diminue (facteur cinétique) et la matière est conservée. Écrire que le chauffage « augmente le rendement » n'est pas la réponse attendue.

4 D'après le chromatogramme, à partir de quelle date peut-on considérer avec certitude que la réaction est terminée ? Justifier.

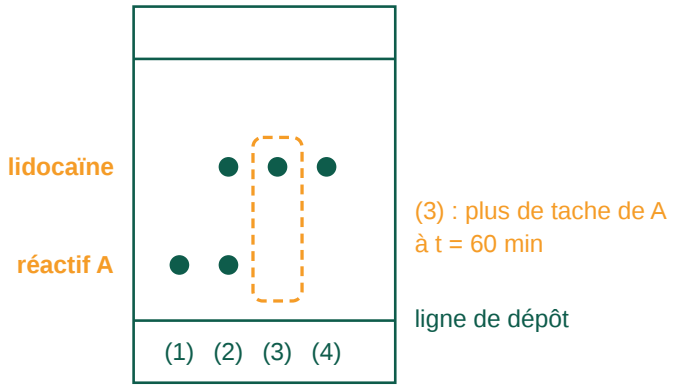
Données utiles dépôts (1) à (4) prélevés à $t_1 = 0$ min ; $t_2 = 20$ min ; $t_3 = 60$ min ; $t_4 = 90$ min

Le dépôt (1), à $t_1 = 0$, ne contient que le réactif A : la tache basse est celle de A, la tache haute celle de la lidocaïne.

À $t_2 = 20$ min, les deux taches sont présentes : il reste du réactif A. À $t_3 = 60$ min, la tache de A a disparu, il ne reste que celle de la lidocaïne ; il en est de même à t_4.

La réaction est terminée de façon certaine à partir de $t_3 = 60$ min.

COMPRENDRE
La réaction a pu se terminer entre 20 et 60 min, mais aucun prélèvement ne le montre. « Avec certitude » impose de retenir le premier dépôt sans tache de A.



4 · Chromatogramme du sujet, annoté

5 Dans l'étape 2 du protocole, à quoi sert le sulfate de magnésium anhydre ?

Après l'extraction, la phase organique contient encore un peu d'eau. Le sulfate de magnésium anhydre est un solide desséchant : il capte cette eau, puis il est retiré par filtration.

Il sèche la phase organique (élimination des traces d'eau).

6 Pendant la deuxième étape de l'extraction, quelle gamme de température choisir pour évaporer la totalité du pentane et cristalliser la lidocaïne ?

Données utiles pentane : $\theta_{éb} = 36$ °C ; lidocaïne : $\theta_{fus} = 68$ °C

Le pentane s'évapore entièrement si la température dépasse sa température d'ébullition : $\theta > 36$ °C.

La lidocaïne est solide si la température reste inférieure à sa température de fusion : $\theta < 68$ °C.

$36\ ^\circ\text{C} < \theta < 68\ ^\circ\text{C}$

PIÈGE
Pour la lidocaïne, la grandeur utile est la température de fusion (68 °C) et non la température d'ébullition (180 °C) : on veut un solide, pas seulement éviter qu'elle s'évapore.

7.1 Déterminer les quantités de matière des réactifs initialement versés.

Données utiles $m_1 = 4{,}0$ g ; $M_A = 197{,}7\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $V_2 = 10{,}0$ mL ; $\rho_2 = 0{,}707\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M_2 = 73{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Réactif A (solide) : $n_1 = \dfrac{m_1}{M_A} = \dfrac{4{,}0}{197{,}7} = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol.

Diéthylamine (liquide) : sa masse est $m_2 = \rho_2 V_2$, donc

$$n_2 = \frac{\rho_2 V_2}{M_2} = \frac{0{,}707 \times 10{,}0}{73{,}0} = 9{,}68 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$n_1 = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol (20 mmol) ; $n_2 = 9{,}68 \times 10^{-2}$ mol (96,8 mmol)

PIÈGE
Le toluène est le solvant, pas un réactif : sa quantité de matière n'est pas demandée. Avec ρ en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, le volume reste en mL.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{4.0}{197.7} \approx 0.02023268$

$\frac{0.707 \times 10.0}{73.0} \approx 0.09684932$

COMPRENDRE

Chiffres significatifs : $m_1 = 4{,}0$ g en compte deux, donc n_1 aussi. Pour n_2, toutes les données en comptent trois.

7.2 Construire le tableau d'avancement.

Tous les nombres stœchiométriques valent 1 : chaque réactif perd x mol, chaque produit en gagne x (voir tableau).

État final si la transformation est totale : $n_1 - x_{max}$; $n_2 - x_{max}$; x_{max} ; x_{max}.

Équation de la réaction		A + diéthylamine = lidocaïne + HCl			
État du système	Avancement	Quantités de matière (mol)			
État initial	0	n_1	n_2	0	0
En cours	x	$n_1 - x$	$n_2 - x$	x	x
État final (total)	x_{max}	$n_1 - x_{max}$	$n_2 - x_{max}$	x_{max}	x_{max}

7.2 · Tableau d'avancement de la synthèse

7.3 Montrer que la quantité de matière de lidocaïne que l'on devrait théoriquement obtenir est 20 mmol.

Données utiles $n_1 = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol et $n_2 = 9{,}68 \times 10^{-2}$ mol (7.1)

Si A est limitant : $n_1 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol.

Si la diéthylamine est limitante : $n_2 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = 9{,}68 \times 10^{-2}$ mol.

On retient la plus petite valeur : A est le réactif limitant et $x_{max} = n_1$.
D'après le tableau, $n_{théo}(\text{lidocaïne}) = x_{max}$.

$n_{théo} = x_{max} = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol $= 20$ mmol, valeur attendue.

MÉTHODE

Réactif limitant : annuler tour à tour chaque quantité finale de réactif, puis garder le plus petit x_{max}. La quantité maximale de produit se lit ensuite dans la dernière ligne du tableau.

7.4 Calculer la quantité de matière de lidocaïne obtenue expérimentalement.

Données utiles $m = 3{,}8$ g ; $M(\text{lidocaïne}) = 234{,}3$ g · mol^{-1}

$$n_{exp} = \frac{m}{M(\text{lidocaïne})} = \frac{3{,}8}{234{,}3}$$

$n_{exp} = 1{,}6 \times 10^{-2}$ mol $= 16$ mmol

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3.8}{234.3} \approx 0.01621852$

7.5 Définir et calculer le rendement de cette synthèse.

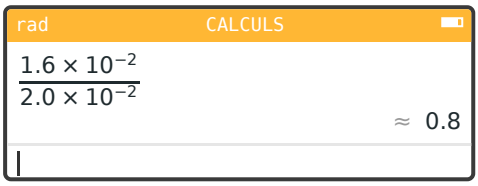
Données utiles $n_{\text{exp}} = 1{,}6 \times 10^{-2}$ mol (7.4) ; $n_{\text{théo}} = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol (7.3)

Le rendement est le rapport de la quantité de produit réellement obtenue à la quantité maximale que l'on obtiendrait si la transformation était totale et sans perte :

$$\eta = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{théo}}} = \frac{1{,}6 \times 10^{-2}}{2{,}0 \times 10^{-2}} = 0{,}80$$

$\eta = 0{,}80$, soit un rendement de 80 %.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Un rendement est toujours inférieur ou égal à 1. Il se calcule par rapport au réactif limitant (A), jamais par rapport à la diéthylamine en excès.

COMPRENDRE
Le chromatogramme montre que A est entièrement consommé : les 20 % manquants ne viennent pas d'une réaction incomplète, mais des pertes lors des extractions, de la filtration et des transvasements.