Corrigé complet — Bac S 2003 Centres étrangers (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **16 points** **3 h 30**

Ex 1	**Les ondes sismiques** Ondes longitudinales et transversales · Célérité et retard · Deuxième loi de Newton · Oscillateur masse-ressort · Période propre · Résonance	9,5 pts	1 h 57	23 questions	p. 2
Ex 2	**Réactions acido-basiques** Taux d'avancement final · Constante d'acidité et pKA · Indicateur coloré · Titrage conductimétrique · Dilution · Pourcentage massique	4 pts	52 min	12 questions	p. 9
Ex 3	**Pile à combustible** Pile à combustible · Demi-équations d'oxydoréduction · Polarité des électrodes · Volume molaire d'un gaz · Loi des gaz parfaits · Charge électrique et faraday	2,5 pts	26 min	11 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Synthèse du paracétamol** Groupes caractéristiques · Montage à reflux · Tableau d'avancement et réactif limitant · Rendement d'une synthèse · Recristallisation · Chromatographie sur couche mince	4 pts	52 min	18 questions	p. 17

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

Les ondes sismiques

Bac S 2003 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 1 **9,5 points** **Durée conseillée 1 h 57**

A.1.1 Définir une onde transversale.

Une onde est transversale si la perturbation se fait dans une direction **perpendiculaire** à la direction de propagation de l'onde.

COMPRENDRE
Pour une onde longitudinale, la perturbation est parallèle à la direction de propagation. Dans les deux cas, la matière se déplace localement puis revient : l'onde transporte de l'énergie, pas de matière.

A.1.2 Indiquer le schéma (A ou B) correspondant à chaque type d'onde.

Sur les deux schémas, l'onde se propage horizontalement.

Schéma A : les tranches de matériau se resserrent et s'écartent horizontalement, donc parallèlement à la propagation. C'est une onde longitudinale (compression).

Schéma B : le matériau se déforme verticalement, donc perpendiculairement à la propagation. C'est une onde transversale (cisaillement).

Schéma A : ondes P ; schéma B : ondes S.

A.2.1 À quel type d'onde (S ou P) correspond chaque train du sismogramme ? Justifier à l'aide du texte d'introduction.

D'après le texte, les ondes P sont les plus rapides. Les deux types d'ondes partent de l'épicentre au même instant et parcourent la même distance : les ondes P arrivent donc les premières à la station.

Le train A est enregistré avant le train B.

Train A : ondes P ; train B : ondes S.

A.2.2 Déterminer l'heure TU à laquelle le séisme s'est déclenché à l'épicentre.

Données utiles début du séisme détecté à Eureka à 8 h 15 min 20 s TU ; origine $t = 0$ s du sismogramme : début du séisme à San Francisco

Sur le sismogramme, le train A (ondes P) débute à $t_P = 40$ s : les premières ondes ont mis 40 s pour aller de l'épicentre à Eureka.

Heure du déclenchement : $8\text{ h }15\text{ min }20\text{ s} - 40\text{ s}$

Le séisme s'est déclenché à 8 h 14 min 40 s TU.

PIÈGE
Ajouter les 40 s au lieu de les retrancher : le séisme a lieu avant sa détection. Retirer 40 s à 15 min 20 s oblige à « emprunter » une minute : 14 min 80 s − 40 s.

A.2.3 Calculer la distance séparant l'épicentre du séisme de la station Eureka.

Données utiles $v_P = 10\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$; $t_P = 40$ s (A.2.2)

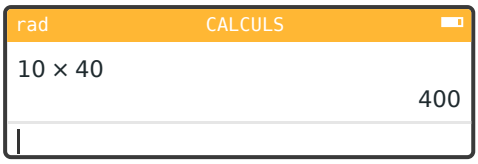
Les ondes P parcourent la distance d à la célérité v_P pendant la durée t_P :

$$d = v_P \times t_P = 10 \times 40 = 4{,}0 \times 10^2\text{ km}$$

$d = 4{,}0 \times 10^2$ km

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : la célérité (10) et la durée lue (40 s) en ont deux, le résultat aussi. On écrit donc $4{,}0 \times 10^2$ km plutôt que 400 km.

À LA CALCULATRICE



A.2.4 Calculer la célérité moyenne des ondes S.

Données utiles $d = 4{,}0 \times 10^2$ km (A.2.3)

Le train B (ondes S) débute à $t_S = 66$ s sur le sismogramme. Les ondes S parcourent la même distance d :

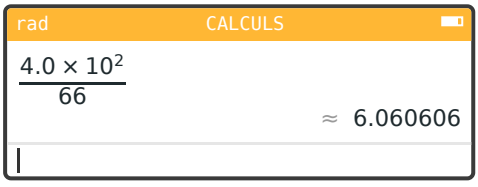
$$v_S = \frac{d}{t_S} = \frac{4{,}0 \times 10^2}{66} = 6{,}1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v_S = 6{,}1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Diviser par le retard entre les deux trains (26 s) au lieu de la durée totale du trajet des ondes S, comptée depuis $t = 0$.

COMPRENDRE
On trouve bien $v_S < v_P$, en accord avec le texte. La lecture de t_S se fait à 1 s près environ.

À LA CALCULATRICE



B.1.1 Donner le nom des forces qui s'exercent sur le solide lorsqu'il occupe sa position d'équilibre. Faire un schéma.

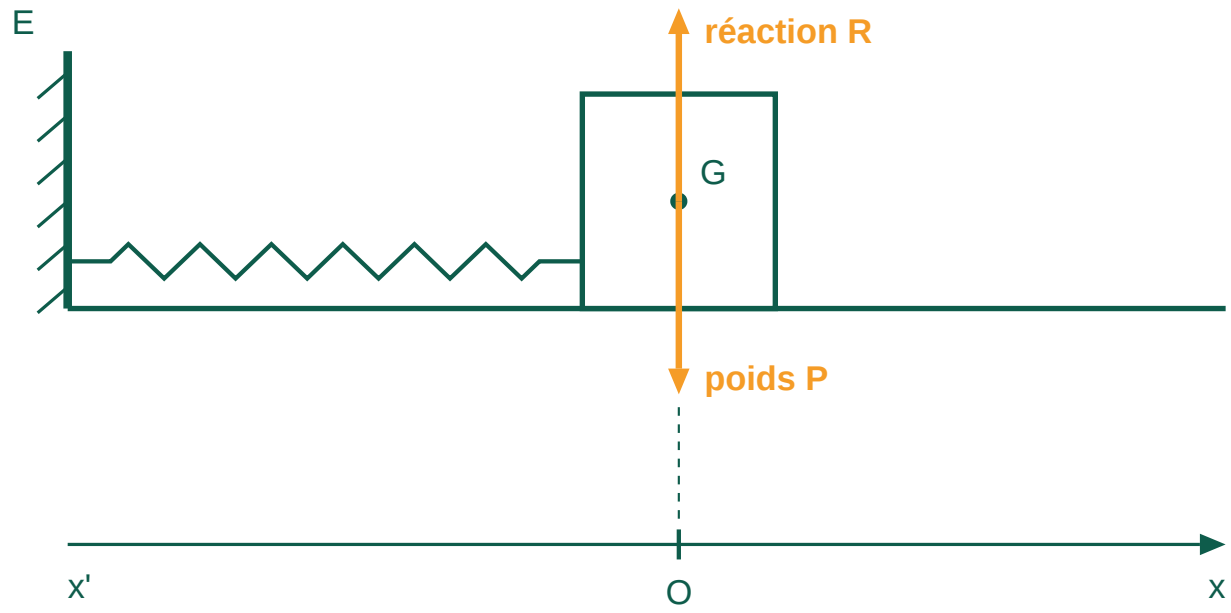
Système : le solide, dans le référentiel terrestre. À l'équilibre, le ressort n'est ni étiré ni comprimé : il n'exerce aucune force.

Le solide est soumis à :

- son poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas ;
- la réaction $\vec{R}$ du support, verticale et vers le haut puisqu'il n'y a pas de frottement.

Ces deux forces se compensent : $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$.

Deux forces : le poids $\vec{P}$ et la réaction du support $\vec{R}$, de même longueur sur le schéma.



B.1.1 · Solide à l'équilibre : G à la verticale de O, ressort au repos

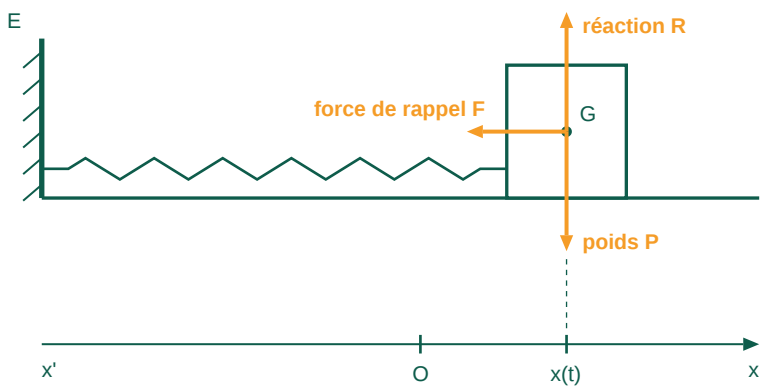
B.1.2 Donner le nom des forces qui s'exercent sur le solide à un instant t où l'élongation est $x(t)$. Faire un schéma pour $x(t) > 0$.

Aux deux forces précédentes s'ajoute la force de rappel $\vec{F}$ exercée par le ressort, horizontale.

Pour $x(t) > 0$, le ressort est étiré : il tire le solide vers la gauche, vers la position d'équilibre. En notant $\vec{i}$ le vecteur unitaire de l'axe : $\vec{F} = -k\,x(t)\,\vec{i}$.

Trois forces : le poids $\vec{P}$, la réaction du support $\vec{R}$ et la force de rappel du ressort $\vec{F}$.

PIÈGE
Dessiner $\vec{F}$ dans le sens du déplacement. La force de rappel est toujours dirigée vers la position d'équilibre O, quel que soit le sens du mouvement.



B.1.2 · Solide à la date t, avec x(t) > 0 : ressort étiré

B.1.3 En appliquant la deuxième loi de Newton au solide, écrire l'équation différentielle du mouvement du centre d'inertie.

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, la deuxième loi de Newton appliquée au solide de masse m s'écrit :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\,\vec{a}_G$$

En projetant sur l'axe $x'x$ ($\vec{P}$ et $\vec{R}$ sont verticaux) :

$$0 + 0 - k\,x = m\,\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$$

$$\boxed{\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + \frac{k}{m}\,x = 0}$$

COMPRENDRE
L'oscillateur masse-ressort ne figure plus au programme actuel de spécialité. La démarche (bilan des forces, deuxième loi de Newton, projection sur un axe) reste, elle, exigible.

B.1.4 Donner le nom, la signification et l'unité SI des grandeurs x_{max}, T_0, t et φ_0 de la solution $x(t) = x_{max}\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi_0\right)$.
Puis (B.1.5) donner l'expression de la période propre en fonction de k et de m.

- x_{max} : amplitude des oscillations, valeur la plus grande atteinte par l'élongation $x(t)$; en mètres (m).
- T_0 : période propre, durée d'une oscillation complète (un aller-retour) de l'oscillateur libre ; en secondes (s).
- t : date à laquelle on repère la position de G ; en secondes (s).
- φ_0 : phase à l'origine des dates, fixée par les conditions initiales car $x(0) = x_{max}\cos\varphi_0$; en radians (rad).

B.1.5 Expression de la période propre :

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

MÉTHODE
Pour retrouver la formule : k est en $\mathrm{N\cdot m^{-1}}$, soit en $\mathrm{kg\cdot s^{-2}}$. Le rapport m/k est donc en $\mathrm{s^2}$ et sa racine en secondes. L'écriture $\sqrt{k/m}$ donnerait des $\mathrm{s^{-1}}$.

B.2.1 La période lue sur les graphes 1, 2 et 3 est d'environ 1 s. Vérifier par le calcul la valeur de T_0.

Données utiles $m = 250$ g ; $k = 10\ \mathrm{N\cdot m^{-1}}$

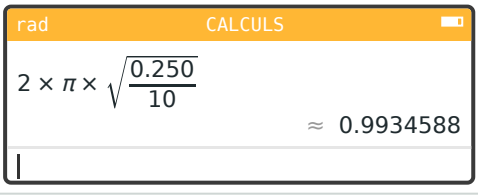
Avec $m = 0{,}250$ kg :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}250}{10}} = 0{,}99\ \mathrm{s}$$

$\boxed{T_0 = 0{,}99\ \mathrm{s}}$, en accord avec la valeur lue d'environ 1 s.

PIÈGE
Laisser la masse en grammes : on obtiendrait 31 s. Dans la formule, m est en kilogrammes.

À LA CALCULATRICE



B.2.2 Déterminer les conditions initiales $x_0(3)$ et $v_0(3)$ de l'expérience 3.

Sur le graphe 3, à $t = 0$ la courbe part de $x = 7$ cm : $x_0(3) = 7$ cm.

La vitesse est la dérivée de $x(t)$, c'est-à-dire le coefficient directeur de la tangente à la courbe. À $t = 0$, la courbe passe par un maximum : sa tangente est horizontale, donc la vitesse initiale est nulle. C'est bien ce que dit l'énoncé : le solide est écarté de 7 cm et lâché sans vitesse.

$\boxed{x_0(3) = 7\ \mathrm{cm} \text{ et } v_0(3) = 0\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}}$

COMPRENDRE
Sur le graphe 2, au contraire, la courbe descend dès $t = 0$: la tangente a une pente négative, ce qui traduit le lancer vers la gauche.

B.2.3 La période de l'oscillateur dépend-elle des conditions initiales de mise en oscillation ? Justifier avec les graphes.

Les expériences 1, 2 et 3 utilisent le même solide et le même ressort, avec des conditions initiales différentes (élongation de 5 cm ou 7 cm, vitesse nulle ou non).

Sur les trois graphes, deux périodes occupent 2,0 s : la période vaut 1,0 s dans les trois cas.

La période ne dépend pas des conditions initiales.

B.2.4 Pour chacune des expériences 1, 2 et 3, déterminer graphiquement l'amplitude des oscillations.

L'amplitude est la valeur maximale de x lue sur chaque graphe.

- Expérience 1 ($x_0 = 5$ cm, vitesse initiale nulle) : amplitude de 5 cm.
- Expérience 2 ($x_0 = 5$ cm, vitesse initiale non nulle) : amplitude de 7 cm.
- Expérience 3 ($x_0 = 7$ cm, vitesse initiale nulle) : amplitude de 7 cm.

$x_{max}(1) = 5$ cm ; $x_{max}(2) = 7$ cm ; $x_{max}(3) = 7$ cm

PIÈGE
Confondre amplitude et élongation initiale : elles ne sont égales que si le solide est lâché sans vitesse. Ne pas lire non plus l'écart crête à crête, qui vaut le double de l'amplitude.

B.2.4.1 Préciser si l'amplitude dépend de la vitesse initiale.

On compare les expériences 1 et 2 : même élongation initiale (5 cm), vitesses initiales différentes. L'amplitude passe de 5 cm à 7 cm.

L'amplitude dépend de la vitesse initiale.

MÉTHODE
Pour tester l'influence d'un paramètre, on compare deux expériences qui ne diffèrent que par ce paramètre. Ici : 1 et 2 pour la vitesse, 1 et 3 pour l'élongation.

B.2.4.2 Préciser si l'amplitude dépend de l'élongation initiale.

On compare les expériences 1 et 3 : même vitesse initiale (nulle), élongations initiales différentes (5 cm et 7 cm). L'amplitude passe de 5 cm à 7 cm.

L'amplitude dépend de l'élongation initiale.

B.3 Déterminer graphiquement la période de l'oscillateur pour les expériences 4 et 5. L'amplitude des oscillations dépend-elle de la période de l'oscillateur ?

Données utiles amplitude de 7 cm dans les deux expériences

Graphe 4 : on compte 4,5 périodes entre $t = 0$ et $t = 2{,}0$ s, donc $T_0(4) = \dfrac{2{,}0}{4{,}5} = 0{,}44$ s.

Graphe 5 : la courbe part d'un maximum et retrouve son maximum suivant à $t = 1{,}2$ s, donc $T_0(5) = 1{,}2$ s.

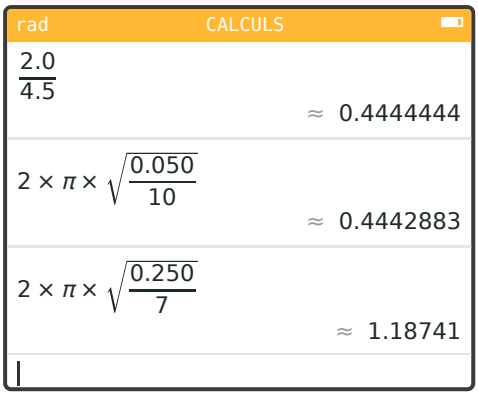
Les périodes sont différentes alors que l'amplitude est la même (7 cm).

$T_0(4) = 0{,}44$ s ; $T_0(5) = 1{,}2$ s ; l'amplitude ne dépend pas de la période.

COMPRENDRE
Le calcul confirme ces lectures : $2\pi\sqrt{m/k}$ donne 0,44 s pour l'expérience 4 et 1,2 s pour l'expérience 5.

MÉTHODE
Pour lire une période courte, mesurer la durée de plusieurs périodes puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur le nombre de périodes comptées.

À LA CALCULATRICE



B.4.1 Avec le graphe 6, déterminer l'amplitude x_{max} et la période T de l'oscillateur. Comparer ces valeurs respectivement à A_E et T_E.

Données utiles $T_E = 0{,}60$ s ; $A_E = 5$ cm

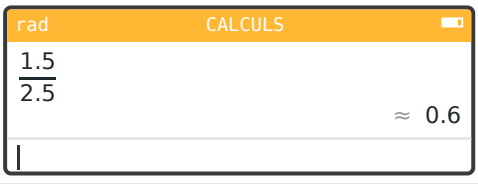
Amplitude : la courbe oscille entre -3 cm et $+3$ cm, donc $x_{max} = 3$ cm. Elle est inférieure à l'amplitude de l'excitateur : $x_{max} < A_E$.

Période : la courbe passe par zéro en montant à $t = 0$ et à $t = 1{,}5$ s, soit 2,5 périodes : $T = \dfrac{1{,}5}{2{,}5} = 0{,}60$ s. Elle est égale à la période de l'excitateur.

$x_{max} = 3$ cm $< A_E$ et $T = 0{,}60$ s $= T_E$

COMPRENDRE
L'oscillateur n'oscille pas à sa période propre (0,99 s) mais à celle qu'on lui impose : c'est le propre des oscillations forcées.

À LA CALCULATRICE



B.4.2 Quel renseignement sur la période de l'oscillateur donne le graphe de l'expérience 7 ? Justifier.

Le graphe 7 est une portion de droite qui relie les points (0,6 s ; 0,6 s) et (1,2 s ; 1,2 s). Son coefficient directeur vaut 1 et son prolongement passe par l'origine : en chaque point, $T = T_E$.

La période de l'oscillateur est toujours égale à celle de l'excitateur : $T = T_E$.

B.4.3 Quel phénomène le graphe de l'expérience 8 met-il en évidence ? Évaluer la période T_R de ce phénomène et la comparer à la période propre T_0.

Données utiles $T_0 = 0{,}99$ s (B.2.1)

L'amplitude de l'oscillateur passe par un maximum marqué (environ 12,5 cm) pour une valeur particulière de la période de l'excitateur : c'est le phénomène de **résonance**.

Le maximum est atteint pour $T_R = 1{,}0$ s.

Résonance, pour $T_R = 1{,}0$ s : aux incertitudes de lecture près, $T_R = T_0$.

COMPRENDRE
À la résonance, l'amplitude de l'oscillateur (12,5 cm) dépasse largement celle de l'excitateur (5 cm). C'est ce qui rend ce phénomène dangereux pour une construction.

B.5.1 L'oscillateur est dans le plan horizontal. Quelle doit être la direction privilégiée de l'onde sismique longitudinale pour que l'excitation soit maximale ?

Pour une onde longitudinale, la perturbation est parallèle à la direction de propagation. L'oscillateur ne peut osciller que le long de l'axe $x'x$ du ressort : l'excitation est maximale si le sol est secoué selon cet axe.

L'onde doit se propager dans la direction de l'axe $x'x$ de l'oscillateur.

B.5.2.1 Après le régime transitoire, quelle sera la période T des oscillations de l'oscillateur soumis à l'onde sismique de période T_S ?

L'onde sismique joue le rôle de l'excitateur. D'après l'expérience 7, l'oscillateur prend la période de l'excitateur.

$T = T_S$

B.5.2.2 Avec le graphe 8, que dire de l'amplitude des oscillations, pour une même amplitude A_S : a) si T_S est égale à la période propre ; b) si T_S est supérieure ou inférieure à la période propre ?

a) Si $T_S = T_0$, il y a résonance : l'amplitude de l'oscillateur est maximale et nettement supérieure à A_S.

b) Si $T_S \neq T_0$, l'amplitude est plus faible qu'à la résonance, et d'autant plus faible que T_S s'éloigne de T_0. Près de T_0 elle reste supérieure à A_S ; loin de T_0 elle devient inférieure à A_S.

L'amplitude est maximale pour $T_S = T_0$ et diminue quand T_S s'en écarte, dans un sens comme dans l'autre.

COMPRENDRE

Sur le graphe 8, avec $A_E = 5$ cm : environ 12,5 cm à la résonance, mais seulement 2 cm vers 0,5 s et 1,7 s. Un bâtiment est en danger si sa période propre est proche de celle des secousses.

Réactions acido-basiques

Bac S 2003 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Pour un volume $V = 100$ mL de solution d'indicateur, déterminer le taux d'avancement final de la réaction de HInd avec l'eau. Cet acide est-il totalement dissocié dans l'eau ?

Données utiles $C_0 = 2{,}90 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $[\text{H}_3\text{O}^+]_f = 6{,}6 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 0{,}100$ L

Réaction : $\text{HInd} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ind}^- + \text{H}_3\text{O}^+$; l'eau est en excès, HInd est le réactif limitant.

Avancement maximal (HInd entièrement consommé) : $x_{max} = C_0\,V = 2{,}90 \times 10^{-4} \times 0{,}100 = 2{,}90 \times 10^{-5}$ mol.

Avancement final (une mole de H_3O^+ formée par mole de HInd consommée) : $x_f = [\text{H}_3\text{O}^+]_f\,V = 6{,}6 \times 10^{-5} \times 0{,}100 = 6{,}6 \times 10^{-6}$ mol.

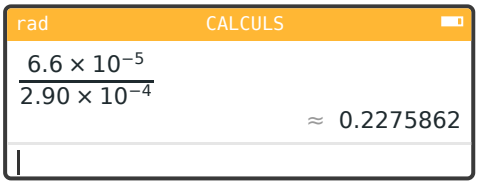
$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_f}{C_0} = \frac{6{,}6 \times 10^{-5}}{2{,}90 \times 10^{-4}} = 0{,}23$$

$\tau = 0{,}23$, soit 23 % : $\tau < 1$, l'acide HInd n'est pas totalement dissocié dans l'eau (transformation limitée).

PIÈGE
Répondre seulement « non » : la justification attendue est la comparaison de τ à 1 (ou à 100 %).

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $[\text{H}_3\text{O}^+]$, la donnée la moins précise. Le volume V se simplifie : le taux ne dépend que du rapport des concentrations.

À LA CALCULATRICE



1.2 Donner l'expression littérale de la constante d'acidité K_A de la réaction de l'acide HInd avec l'eau.

$$K_A = \frac{[\text{Ind}^-]_{éq} \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{éq}}{[\text{HInd}]_{éq}}$$

PIÈGE
L'eau est le solvant : elle n'apparaît pas dans l'expression. Les concentrations sont celles de l'état d'équilibre, pas les concentrations apportées.

1.3 Calculer le $\text{p}K_A$ du couple HInd/Ind^- et identifier l'indicateur à l'aide du tableau.

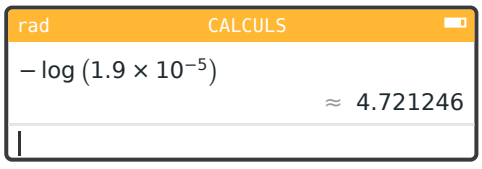
Données utiles $K_A = 1{,}9 \times 10^{-5}$; tableau : hélianthine 3,7 ; vert de bromocrésol 4,7 ; bleu de bromothymol 7,0 ; phénolphtaléine 9,4

$\text{p}K_A = -\log K_A = -\log(1{,}9 \times 10^{-5}) = 4{,}7$

Dans le tableau, cette valeur est celle du vert de bromocrésol.

$\text{p}K_A = 4{,}7$: l'indicateur est le **vert de bromocrésol**.

À LA CALCULATRICE



2.1 Écrire l'équation de la réaction acido-basique du dosage de S_1 par la solution d'hydroxyde de sodium.

L'acide chlorhydrique contient les ions H_3O^+ et Cl^-, la solution titrante les ions Na^+ et HO^-. Les ions Cl^- et Na^+ sont spectateurs.

$$\text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq}) + \text{HO}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow 2\,\text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$$

PIÈGE
Écrire $\text{HCl} + \text{NaOH}$: en solution aqueuse ces espèces sont entièrement dissociées, la réaction a lieu entre les ions oxonium et hydroxyde.

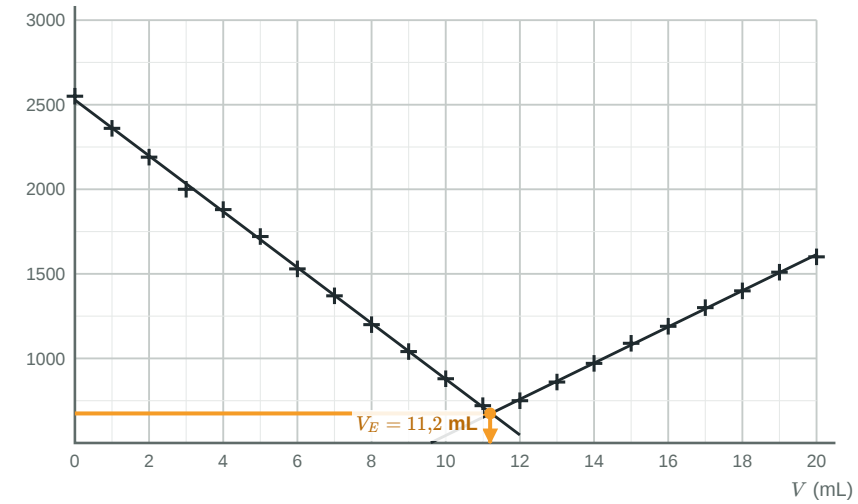
2.2 Déterminer graphiquement, sur le document n°1 de l'annexe 2, le volume V_E versé à l'équivalence.

Les points de mesure s'alignent sur deux portions de droite : la conductance diminue, puis augmente. On trace ces deux droites ; l'équivalence correspond à leur point d'intersection, dont on lit l'abscisse.

$V_E = 11{,}2$ mL

PIÈGE
Lire l'abscisse du point de mesure le plus bas (11 mL). L'équivalence est l'intersection des deux droites tracées, pas un point expérimental.

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, des ions H_3O^+ très conducteurs sont remplacés par des ions Na^+ qui le sont moins : G diminue. Après, Na^+ et HO^- s'accumulent : G augmente.



2.2 · Document n°1 complété : les deux droites se coupent au point d'équivalence

2.3 À l'équivalence, écrire la relation entre C_1, C_B, V_E et V_1, puis calculer la concentration molaire C_1 de la solution diluée S_1.

Données utiles $C_B = 1{,}00 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; $V_1 = 100{,}0$ mL ; $V_E = 11{,}2$ mL (2.2)

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n(H_3O^+)_{initial} = n(HO^-)_{versé}$, soit

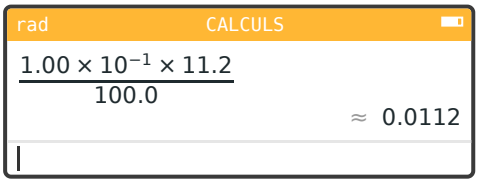
$$C_1 V_1 = C_B V_E$$

$$C_1 = \frac{C_B V_E}{V_1} = \frac{1{,}00 \times 10^{-1} \times 11{,}2}{100{,}0} = 1{,}12 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_1 V_1 = C_B V_E$ et $C_1 = 1{,}12 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1}

COMPRENDRE
Les deux volumes peuvent rester en mL : seul leur rapport intervient.

À LA CALCULATRICE



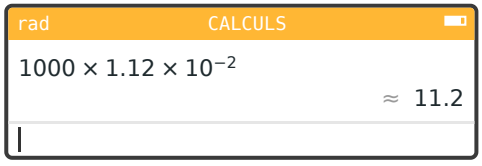
2.4 En déduire la concentration molaire C_0 de la solution d'acide chlorhydrique concentrée S_0.

Données utiles $C_1 = 1{,}12 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} (2.3) ; dilution au millième

La solution S_0 a été diluée 1000 fois : $C_0 = 1000 \times C_1 = 1000 \times 1{,}12 \times 10^{-2}$

$C_0 = 11{,}2$ mol · L^{-1}

À LA CALCULATRICE



2.5 Calculer la masse m_0 d'acide chlorhydrique HCl dissous dans un litre de solution S_0.

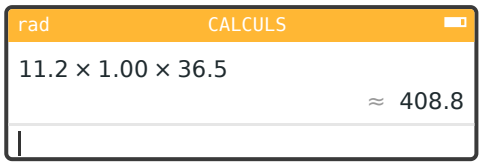
Données utiles $M(\text{HCl}) = 36{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $C_0 = 11{,}2\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (2.4) ; $V = 1{,}00\ \text{L}$

$$m_0 = n_0 \times M(\text{HCl}) = C_0 \times V \times M(\text{HCl})$$

$$m_0 = 11{,}2 \times 1{,}00 \times 36{,}5 = 409\ \text{g}$$

$m_0 = 409$ g

À LA CALCULATRICE



2.6 Quelle est la masse m d'un litre de solution S_0 ?

Données utiles $\rho_0 = 1160\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

$$m = \rho_0 \times V = 1160 \times 1{,}00$$

$m = 1160$ g, soit 1,16 kg

2.7 Calculer le pourcentage massique de la solution S_0. L'indication de l'étiquette du flacon est-elle correcte ?

Données utiles $m_0 = 409$ g (2.5) ; $m = 1160$ g (2.6) ; étiquette : 33 % minimum en masse

Le pourcentage massique est la masse de HCl dissous dans 100 g de solution. Un litre de S_0, de masse 1160 g, contient 409 g de HCl :

$$p = \frac{m_0}{m} \times 100 = \frac{409}{1160} \times 100 = 35{,}3\ \%$$

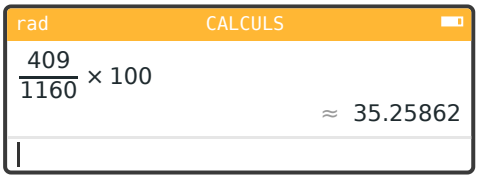
L'étiquette annonce 33 % au minimum et $35{,}3\ \% > 33\ \%$.

$p = 35{,}3\ \%$: l'indication de l'étiquette est correcte.

PIÈGE
Conclure que l'étiquette est fausse parce que 35,3 % diffère de 33 %. Le mot « minimum » fixe seulement une borne inférieure.

COMPRENDRE
Avec la valeur non arrondie $m_0 = 408{,}8$ g, on obtient 35,2 % : l'écart vient de l'arrondi intermédiaire et ne change pas la conclusion.

À LA CALCULATRICE



2.8 Sur le document n°2, indiquer la zone de virage de l'indicateur identifié en 1.3. Décrire le changement de couleur observé si on utilise cet indicateur pour le dosage de S_1.

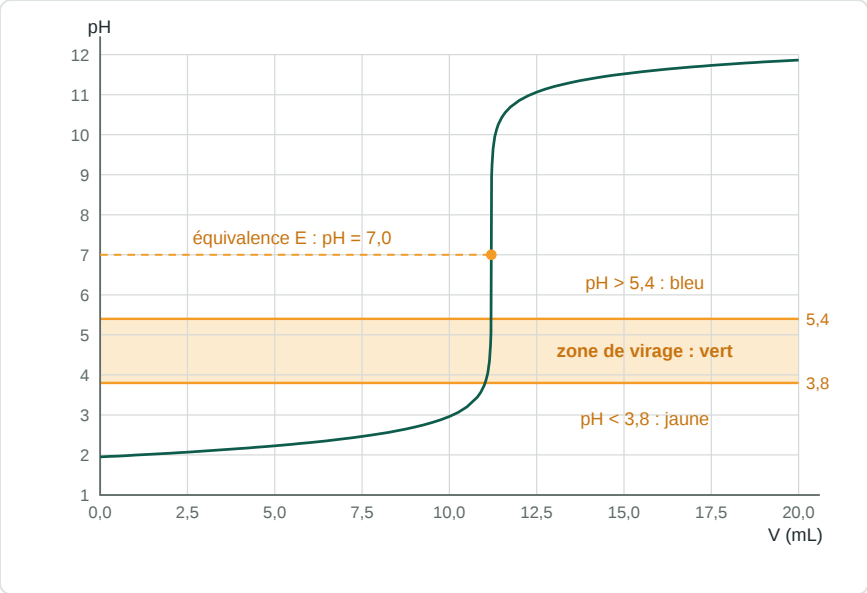
Données utiles vert de bromocrésol (1.3) : jaune en milieu acide, zone de virage 3,8 – 5,4, bleu en milieu basique

La zone de virage est la bande horizontale comprise entre $\text{pH} = 3{,}8$ et $\text{pH} = 5{,}4$ (voir le document complété).

Au début du dosage, le pH vaut environ 2 : il est inférieur à 3,8, la forme acide HInd prédomine et la solution est jaune. Au voisinage de l'équivalence, le pH traverse la zone de virage : la solution prend la teinte sensible, verte (mélange de jaune et de bleu). Au-delà, le pH dépasse 5,4, la forme basique Ind^- prédomine et la solution est bleue.

La solution passe du jaune au bleu, par une teinte verte, pour un volume versé proche de 11 mL.

PIÈGE
Tracer la zone de virage comme une bande verticale entre deux volumes. Une zone de virage est un intervalle de pH : elle se place sur l'axe des ordonnées.



2.8 · Document n°2 complété : zone de virage du vert de bromocrésol (3,8 – 5,4) et point d'équivalence

2.9 Dans la liste de la question 1.3, y a-t-il un indicateur coloré mieux adapté pour repérer l'équivalence du dosage ? Justifier.

Données utiles zones de virage : hélianthine 3,1 – 4,4 ; vert de bromocrésol 3,8 – 5,4 ; bleu de bromothymol 6,0 – 7,6 ; phénolphtaléine 8,2 – 10,0

Sur le document n°2, le point d'équivalence se situe au milieu du saut de pH (méthode des tangentes parallèles) : $\mathrm{pH}_E = 7{,}0$ pour $V_E = 11{,}2$ mL.

Un indicateur convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence. Or 7,0 n'appartient pas à l'intervalle 3,8 – 5,4 du vert de bromocrésol, mais il appartient à l'intervalle 6,0 – 7,6 du bleu de bromothymol.

Oui : le **bleu de bromothymol**, dont la zone de virage (6,0 – 7,6) contient $\mathrm{pH}_E = 7{,}0$.

COMPRENDRE
Le saut de pH est ici presque vertical : le vert de bromocrésol virerait pour un volume très voisin de V_E. Le critère attendu reste l'appartenance de pH_E à la zone de virage.

MÉTHODE
Choix d'un indicateur : 1) repérer pH_E sur la courbe ; 2) chercher l'indicateur dont la zone de virage encadre cette valeur ; 3) citer les deux couleurs du changement.

Pile à combustible

Bac S 2003 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 3 **2,5 points** **Durée conseillée 26 min**

1.1 Quelle est la nature des porteurs de charges à l'extérieur de la pile ?

À l'extérieur de la pile, le circuit est fait de conducteurs métalliques (fils, moteur).

Les porteurs de charges y sont des **électrons**.

COMPRENDRE
Dans l'électrolyte, ce sont des ions qui assurent le passage du courant (ici surtout les ions H^+) : aucun électron ne traverse la solution.

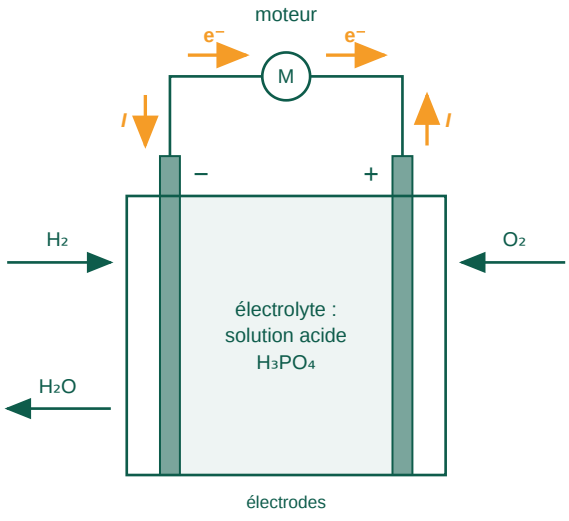
1.2 Légender le schéma de la pile (annexe 1) : sens conventionnel du courant I et sens de circulation des porteurs de charges à l'extérieur de la pile.

À l'extérieur de la pile, le courant I sort par la borne $+$, traverse le moteur et rentre par la borne $-$.

Les électrons, chargés négativement, circulent en sens inverse du courant.

Courant I : de la borne $+$ vers la borne $-$; électrons : de la borne $-$ vers la borne $+$, à travers le moteur.

PIÈGE
Dessiner les deux flèches dans le même sens. Le sens conventionnel du courant est celui de charges positives : il est toujours opposé au déplacement des électrons.



e⁻ : sens de circulation des électrons · I : sens conventionnel du courant

1.2 · Annexe 1 complétée : en orange, ce que l'élève ajoute

2.1 Écrire les demi-équations électroniques pour chaque couple mis en jeu, quand la pile débite.

Les électrons quittent la borne $-$, alimentée en dihydrogène : H_2 y est oxydé.

Couple $H^+(aq) / H_2(g)$: $H_2(g) = 2\,H^+(aq) + 2\,e^-$

Les électrons arrivent à la borne $+$, alimentée en dioxygène : O_2 y est réduit.

Couple $O_2(g) / H_2O(l)$: $O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^- = 2\,H_2O(l)$

$H_2 = 2\,H^+ + 2\,e^-$ (oxydation) et $O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- = 2\,H_2O$ (réduction)

MÉTHODE
Pour équilibrer en milieu acide : d'abord l'élément principal, puis l'oxygène avec H_2O, l'hydrogène avec H^+, enfin les charges avec des électrons.

2.2 En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation ayant lieu dans la cellule de réaction.

Il faut autant d'électrons cédés que d'électrons captés : on multiplie la première demi-équation par 2, puis on additionne.

$2\,H_2\,(g) + O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq) \longrightarrow 4\,H^+\,(aq) + 2\,H_2O\,(l)$

Les ions H^+ se simplifient.

$$2\,H_2\,(g) + O_2\,(g) \longrightarrow 2\,H_2O\,(l)$$

COMPRENDRE
Le seul produit est l'eau : c'est pourquoi le texte qualifie cette pile de non polluante. Aucun électron ne doit rester dans l'équation finale.

3.1 Parmi les espèces chimiques présentes dans les couples, laquelle constitue le « combustible » au sens de l'énoncé ? Justifier en définissant la réaction de réduction.

Une réduction est un gain d'électrons par un oxydant, qui se transforme alors en son réducteur conjugué.

Ici, c'est le dioxygène qui capte des électrons :
$O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- = 2\,H_2O$.

Avec la définition donnée par l'énoncé, le réactif réduit est le **dioxygène** O_2.

COMPRENDRE
L'énoncé emploie le mot à contre-sens. Dans le vocabulaire usuel, le combustible est le dihydrogène, qui est oxydé ; le dioxygène, qui est réduit, est le comburant. On répond ici selon la définition imposée, en le signalant.

3.2 Préciser le nom de l'électrode où se produit la réduction. Cette électrode est-elle le pôle positif ou négatif de la pile ?

L'électrode où a lieu une réduction s'appelle la cathode.

La réduction consomme des électrons : ils arrivent à cette électrode par le circuit extérieur, donc le courant en sort.

La réduction a lieu à la **cathode**, qui est le **pôle positif** de la pile.

PIÈGE
Retenir « cathode = pôle négatif ». C'est vrai pour une électrolyse, pas pour une pile. La seule définition sûre : réduction à la cathode, oxydation à l'anode.

4.1 Calculer la quantité de matière $n(H_2)$ correspondant à 1,5 kg de dihydrogène, puis le volume $V(H_2)$ en mètre cube.

Données utiles $m(H_2) = 1{,}5$ kg ; $M(H) = 1{,}0\ g \cdot mol^{-1}$; $V_m = 24\ L \cdot mol^{-1}$

$M(H_2) = 2 \times 1{,}0 = 2{,}0\ g \cdot mol^{-1}$ et $m(H_2) = 1{,}5 \times 10^3$ g.

$$n(H_2) = \frac{m(H_2)}{M(H_2)} = \frac{1{,}5 \times 10^3}{2{,}0} = 7{,}5 \times 10^2\ mol$$

$$V(H_2) = n(H_2) \times V_m = 7{,}5 \times 10^2 \times 24 = 1{,}8 \times 10^4\ L$$

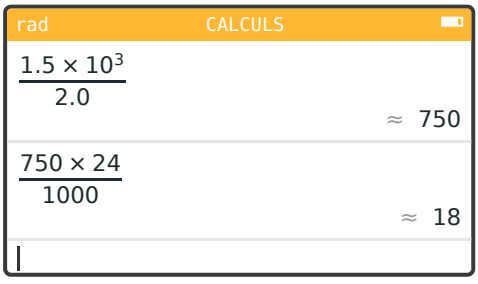
Comme $1\ m^3 = 10^3\ L$:

$$n(H_2) = 7{,}5 \times 10^2\ mol \text{ et } V(H_2) = 18\ m^3$$

PIÈGE
Laisser la masse en kilogramme alors que M est en $g \cdot mol^{-1}$, ou prendre $M(H) = 1{,}0$ au lieu de $M(H_2) = 2{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse (1,5 kg) et le volume molaire (24) : on n'écrit pas 18 000 L, mais $1{,}8 \times 10^4$ L.

À LA CALCULATRICE



4.2 Justifier, à l'aide de la question 4.1, le fait que les piles à combustible ne soient pas encore utilisées dans les voitures.

Données utiles $V(\mathrm{H_2}) = 18\ \mathrm{m^3}$ (4.1)

Dans ces conditions, le dihydrogène nécessaire pour 250 km occupe $18\ \mathrm{m^3}$, soit bien plus que le volume de la voiture elle-même.

Le réservoir serait beaucoup trop encombrant : le stockage du dihydrogène gazeux à bord est le principal obstacle.

4.3 Proposer un moyen de réduire l'espace occupé par ce gaz, à température ambiante, pour la même quantité de matière. Justifier à l'aide de la loi des gaz parfaits.

D'après $PV = nRT$: $\quad V = \dfrac{nRT}{P}$.

La quantité n et la température T sont fixées, R est une constante : le volume est inversement proportionnel à la pression.

Il faut **comprimer** le gaz : en augmentant la pression P, le volume V diminue (réservoir sous haute pression).

COMPRENDRE

À n et T constants, le produit PV reste constant (loi de Mariotte) : une pression 100 fois plus grande ramènerait le volume à $0{,}18\ \mathrm{m^3}$, soit 180 L.

5.1 Calculer la charge électrique Q libérée en 24 heures par les piles de la navette.

Données utiles $I = 200\ \mathrm{A}$; $\Delta t = 24\ \mathrm{h}$

$$\Delta t = 24 \times 3600 = 8{,}64 \times 10^4\ \mathrm{s}$$

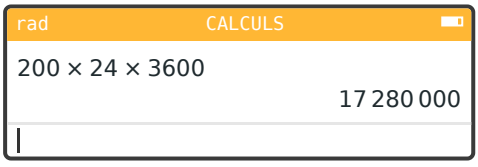
$$Q = I \times \Delta t = 200 \times 8{,}64 \times 10^4$$

$$Q = 1{,}73 \times 10^7\ \mathrm{C}$$

PIÈGE

Laisser la durée en heures : le coulomb est un ampère-seconde, Δt doit être en secondes.

À LA CALCULATRICE



5.2 En déduire la quantité de matière n_P des porteurs de charge ayant circulé en 24 heures, et la quantité de matière $n(\mathrm{H_2})$ de dihydrogène consommée.

Données utiles $Q = 1{,}73 \times 10^7$ C (5.1) ; $1\ F = 96\,500\ \mathrm{C \cdot mol^{-1}}$

Une mole d'électrons porte la charge F (en valeur absolue), donc $Q = n_P \times F$:

$$n_P = \frac{Q}{F} = \frac{1{,}73 \times 10^7}{96\,500} = 179\ \mathrm{mol}$$

D'après $\mathrm{H_2} = 2\,\mathrm{H^+} + 2\,\mathrm{e^-}$, une mole de dihydrogène consommée libère deux moles d'électrons :

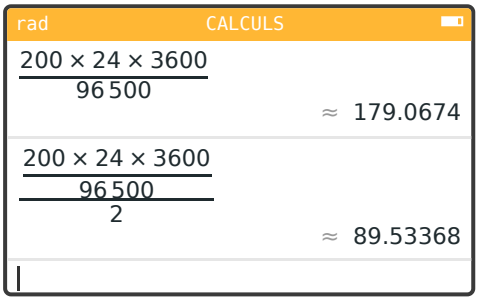
$$n(\mathrm{H_2}) = \frac{n_P}{2} = \frac{179}{2} = 89{,}5\ \mathrm{mol}$$

$n_P = 179$ mol d'électrons et $n(\mathrm{H_2}) = 89{,}5$ mol

COMPRENDRE

Le faraday est la charge d'une mole d'électrons : $F = N_A \times e$. C'est lui qui relie la charge mesurée dans le circuit aux quantités de matière transformées aux électrodes.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Synthèse du paracétamol

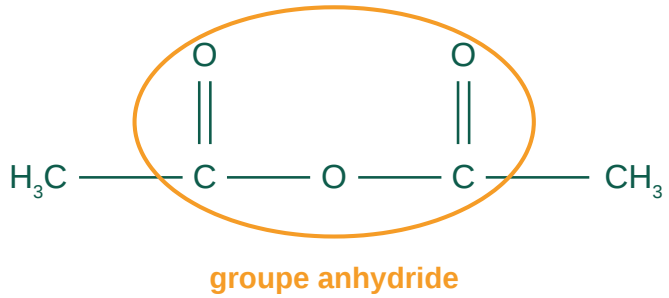
Bac S 2003 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Réécrire la formule semi-développée de l'anhydride éthanoïque et entourer le groupe anhydride.

Voir la formule ci-dessous.

Le groupe anhydride est l'enchaînement $-CO-O-CO^-$: deux groupes carbonyle reliés par un atome d'oxygène.

PIÈGE
N'entourer qu'un seul $C=O$, ou inclure les groupes CH_3. Le groupe caractéristique comprend les deux carbones, leurs deux oxygènes doublement liés et l'oxygène central, rien d'autre.



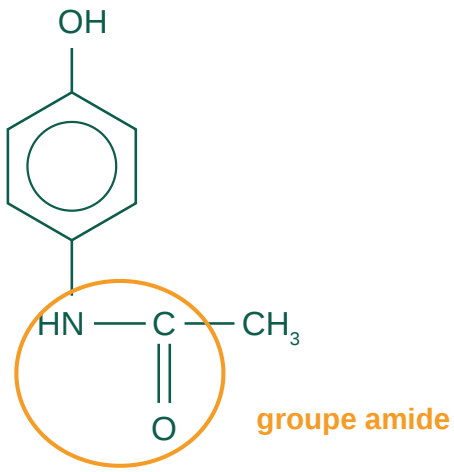
1.1 · Anhydride éthanoïque : groupe anhydride entouré

1.2 Réécrire la formule semi-développée du paracétamol et entourer le groupe amide.

Voir la formule ci-dessous.

Le groupe amide est l'enchaînement $-NH-CO^-$: un atome d'azote lié au carbone d'un groupe carbonyle.

COMPRENDRE
Le paracétamol porte aussi un groupe hydroxyle $-OH$ fixé sur le cycle. Une amine aurait un azote sans $C=O$ voisin : c'est le cas du groupe $-NH_2$ du para-aminophénol.



1.2 · Paracétamol : groupe amide entouré

1.3 Lequel des deux montages est un montage à reflux ? Comment se nomme l'autre montage ?

Montage 1 : le réfrigérant vertical surmonte le ballon, les vapeurs condensées retombent dans le mélange.

Montage 2 : les vapeurs sont condensées dans un réfrigérant incliné et recueillies dans un autre récipient.

Le montage 1 est le montage à reflux ; le montage 2 est un montage de distillation (fractionnée).

COMPRENDRE
Le chauffage à reflux accélère la transformation (la température est un facteur cinétique) sans perte de matière : réactifs et produits vaporisés reviennent dans le ballon.

1.4.1 Justifier l'état physique du para-aminophénol avant d'être versé dans le ballon.

Données utiles para-aminophénol : $T_{fus} = 187\ ^\circ\text{C}$

La température du laboratoire (environ $20\ ^\circ\text{C}$) est très inférieure à sa température de fusion ($187\ ^\circ\text{C}$).

Le para-aminophénol est à l'état solide.

1.4.2 Justifier l'apparition du précipité de paracétamol lors du refroidissement dans le bain de glace.

Données utiles solubilité du paracétamol dans l'eau : 25 g pour 100 g à $100\ ^\circ\text{C}$; 1 g pour 100 g à $20\ ^\circ\text{C}$

La solubilité du paracétamol dans l'eau diminue fortement quand la température baisse : elle est 25 fois plus faible à $20\ ^\circ\text{C}$ qu'à $100\ ^\circ\text{C}$, et plus faible encore vers $0\ ^\circ\text{C}$.

En refroidissant, la solution devient saturée : le paracétamol qui ne peut plus rester dissous apparaît sous forme solide.

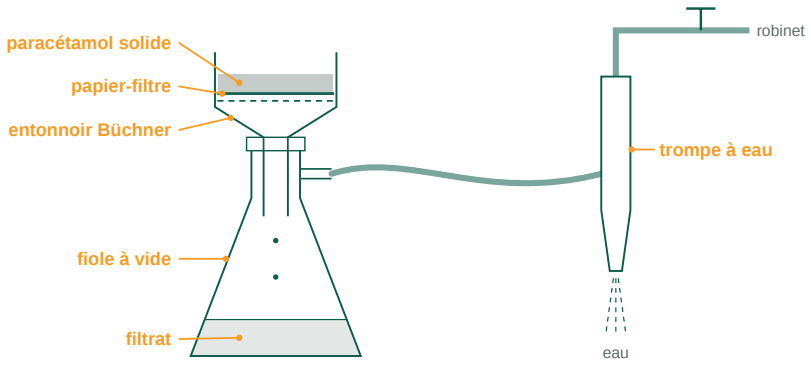
COMPRENDRE
Pour la même raison, on lave le solide à l'eau glacée : on entraîne les impuretés solubles en redissolvant le moins possible de paracétamol.

1.5 Légender le schéma de l'ensemble de filtration sous vide (annexe 2).

Voir le schéma légendé.

Six légendes : paracétamol solide, papier-filtre, entonnoir Büchner, fiole à vide, filtrat, trompe à eau.

COMPRENDRE
L'écoulement de l'eau dans la trompe aspire l'air de la fiole. La pression y diminue, le liquide est aspiré à travers le filtre : la filtration est plus rapide et le solide mieux essoré.



1.5 · Annexe 2 complétée : filtration sous vide (légendes en orange)

1.6.1 Montrer que les quantités initiales sont $1{,}27 \times 10^{-1}$ mol d'anhydride éthanoïque et $9{,}17 \times 10^{-2}$ mol de para-aminophénol.

Données utiles anhydride : $V = 12{,}0$ mL ; $\rho = 1{,}082\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M = 102\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; para-aminophénol : $m = 10{,}0$ g ; $M = 109\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

L'anhydride éthanoïque est un liquide, on passe par sa masse $m = \rho \times V$:

$$n_{\text{anhydride}} = \frac{\rho \times V}{M} = \frac{1{,}082 \times 12{,}0}{102} = 1{,}27 \times 10^{-1}\ \text{mol}$$

Le para-aminophénol est un solide dont on connaît la masse :

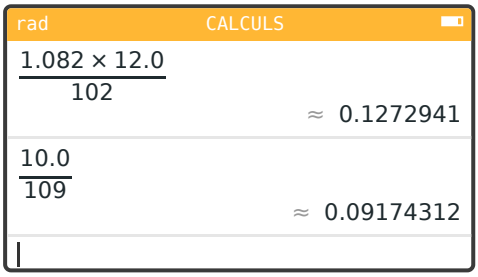
$$n_{\text{para-aminophénol}} = \frac{m}{M} = \frac{10{,}0}{109} = 9{,}17 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$n_{\text{anhydride}} = 1{,}27 \times 10^{-1}$ mol et $n_{\text{para-aminophénol}} = 9{,}17 \times 10^{-2}$ mol : ce sont les valeurs attendues.

PIÈGE
Utiliser les 30 mL d'eau dans le calcul. L'eau est le solvant, elle n'apparaît pas dans l'équation de la réaction.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme $12{,}0$ mL, $10{,}0$ g et les masses molaires. La masse volumique étant en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, le volume reste en mL.

À LA CALCULATRICE



1.6.2 Compléter le tableau descriptif de la réaction (annexe 3).

Données utiles $n_1 = 9{,}17 \times 10^{-2}$ mol de para-aminophénol et $n_2 = 1{,}27 \times 10^{-1}$ mol d'anhydride (Q1.6.1)

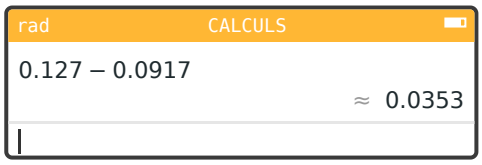
Voir le tableau complété. Tous les nombres stœchiométriques valent 1 : chaque réactif perd x mol, chaque produit gagne x mol.

Valeurs finales : $x_{max} = 9{,}17 \times 10^{-2}$ mol (justifié en 1.6.3). Il reste $n_2 - x_{max} = 0{,}127 - 0{,}0917 = 0{,}035$ mol d'anhydride.

État final : 0 mol de para-aminophénol, $3{,}5 \times 10^{-2}$ mol d'anhydride, $9{,}17 \times 10^{-2}$ mol de paracétamol et autant d'acide éthanoïque.

COMPRENDRE
Pour une soustraction, on garde le rang du dernier chiffre de la valeur la moins précise : $0{,}127$ est connu au millième, donc le reste aussi, soit $0{,}035$ mol.

À LA CALCULATRICE



	Para-aminophénol C_6H_7NO	+	Anhydride éthanoïque $C_4H_6O_3$	=	Paracétamol $C_8H_9NO_2$	+	Acide éthanoïque $C_2H_4O_2$
État initial (valeurs en mol)	$9{,}17 \times 10^{-2}$	+	$1{,}27 \times 10^{-1}$	=	0	+	0
État intermédiaire (en fonction de x)	$n_1 - x$	+	$n_2 - x$	=	x	+	x
État final (en fonction de x_{max})	$n_1 - x_{max}$	+	$n_2 - x_{max}$	=	x_{max}	+	x_{max}
État final (valeurs en mol)	0	+	$3{,}5 \times 10^{-2}$	=	$9{,}17 \times 10^{-2}$	+	$9{,}17 \times 10^{-2}$

1.6.2 · Annexe 3 complétée (ajouts en orange) ; n_1 : para-aminophénol, n_2 : anhydride

1.6.3 En utilisant le tableau, préciser quel est le réactif limitant. Justifier.

Données utiles $n_1 = 9{,}17 \times 10^{-2}$ mol ; $n_2 = 1{,}27 \times 10^{-1}$ mol

Si le para-aminophénol est limitant : $n_1 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = 9{,}17 \times 10^{-2}$ mol.

Si l'anhydride éthanoïque est limitant : $n_2 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = 1{,}27 \times 10^{-1}$ mol.

On retient la plus petite des deux valeurs : $x_{max} = 9{,}17 \times 10^{-2}$ mol.

Le réactif limitant est le para-aminophénol ; l'anhydride éthanoïque est en excès.

MÉTHODE
Le réactif limitant est celui qui donne le plus petit x_{max}. Ici les nombres stœchiométriques valent 1, cela revient à comparer les quantités initiales ; sinon, comparer les rapports $n/\text{coefficient}$.

1.6.4 Déduire du tableau la quantité de matière théorique n_{th} de paracétamol susceptible d'être obtenue.

Données utiles $x_{max} = 9{,}17 \times 10^{-2}$ mol (Q1.6.3)

Dans l'état final du tableau, il s'est formé x_{max} mol de paracétamol.

$$n_{th} = x_{max} = 9{,}17 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

1.7.1 Calculer la quantité de matière n_p de paracétamol réellement obtenue.

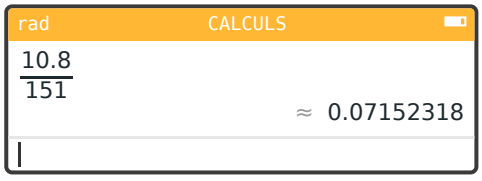
Données utiles $m_p = 10{,}8$ g ; $M(\text{paracétamol}) = 151 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

En assimilant le produit brut sec à du paracétamol :

$$n_p = \frac{m_p}{M(\text{paracétamol})} = \frac{10{,}8}{151}$$

$$n_p = 7{,}15 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

À LA CALCULATRICE



1.7.2 En déduire le rendement η de cette synthèse.

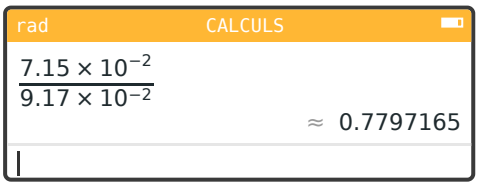
Données utiles $n_p = 7{,}15 \times 10^{-2}$ mol (Q1.7.1) ; $n_{th} = 9{,}17 \times 10^{-2}$ mol (Q1.6.4)

$$\eta = \frac{n_p}{n_{th}} = \frac{7{,}15 \times 10^{-2}}{9{,}17 \times 10^{-2}} = 0{,}780$$

$$\eta = 78{,}0\ \%$$

PIÈGE
Diviser par la quantité du réactif en excès ($1{,}27 \times 10^{-1}$ mol), ou diviser deux masses de substances différentes. Un rendement compare deux quantités du même produit et ne dépasse jamais 100 %.

À LA CALCULATRICE



2.1 Décrire le protocole permettant de réaliser la recristallisation de la part P2 dans l'eau.

Données utiles solubilité du paracétamol : 25 g pour 100 g d'eau à 100 °C ; 1 g pour 100 g à 20 °C ; masse de P2 : $10{,}8/2 = 5{,}4$ g

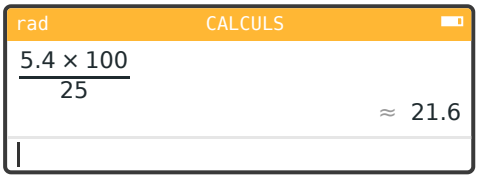
- Dissoudre le solide P2 dans le minimum d'eau bouillante, en maintenant le chauffage : un peu plus de $5{,}4 \times 100/25 \approx 22$ g d'eau.
- Laisser refroidir lentement, puis dans un bain de glace : le paracétamol, peu soluble à froid, cristallise.
- Filtrer sous vide, rincer à l'eau glacée, essorer, puis sécher à l'étuve.

Dissolution à chaud dans le minimum d'eau, cristallisation par refroidissement, filtration sous vide, séchage.

PIÈGE
Mettre trop d'eau : à froid, 100 g d'eau gardent environ 1 g de paracétamol dissous. Plus le volume est grand, plus la perte de produit est importante.

COMPRENDRE
Les impuretés, présentes en faible quantité, restent dissoutes dans l'eau froide et partent avec le filtrat. Le solide recueilli est donc plus pur que le produit brut.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 Calculer le nouveau rendement η' de la synthèse après purification.

Données utiles $m_{P2} = 4{,}2$ g ; $M(\text{paracétamol}) = 151 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $n_{th} = 9{,}17 \times 10^{-2}$ mol (Q1.6.4)

P2 n'est que la moitié du produit brut : elle correspond à la moitié des réactifs, donc à une quantité théorique $\dfrac{n_{th}}{2}$.

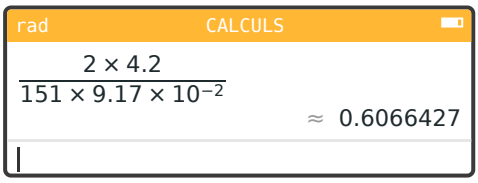
$$\eta' = \frac{n_{P2}}{n_{th}/2} = \frac{2 \times m_{P2}}{M(\text{paracétamol}) \times n_{th}} = \frac{2 \times 4{,}2}{151 \times 9{,}17 \times 10^{-2}} = 0{,}61$$

$\eta' = 61\ \%$

PIÈGE
Oublier le facteur 2 donne 30 %. On peut aussi raisonner ainsi : le produit entier, purifié de la même façon, aurait donné $2 \times 4{,}2 = 8{,}4$ g.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, car $m_{P2} = 4{,}2$ g n'en a que deux.

À LA CALCULATRICE



2.2.2 Comparer η' et η.

Données utiles $\eta = 78{,}0\ \%$ (Q1.7.2) ; $\eta' = 61\ \%$ (Q2.2.1)

$61\ \% < 78{,}0\ \%$: le rendement calculé après recristallisation est plus faible, de 17 points.

$\eta' < \eta$

2.2.3 Quel est le vrai rendement en paracétamol ? Justifier.

Le produit brut n'est pas pur : la masse $m_p = 10{,}8$ g comprend celle des impuretés, ce qui surestime la quantité de paracétamol, donc η.

Après recristallisation, le solide pesé est du paracétamol pur (ce que confirme la chromatographie de la partie 3).

Le vrai rendement en paracétamol est $\eta' = 61\ \%$.

COMPRENDRE
η' tient compte de toutes les pertes, y compris le paracétamol resté dissous dans l'eau froide de recristallisation. C'est bien le rendement en produit pur réellement isolé.

3.1 Interpréter le chromatogramme.

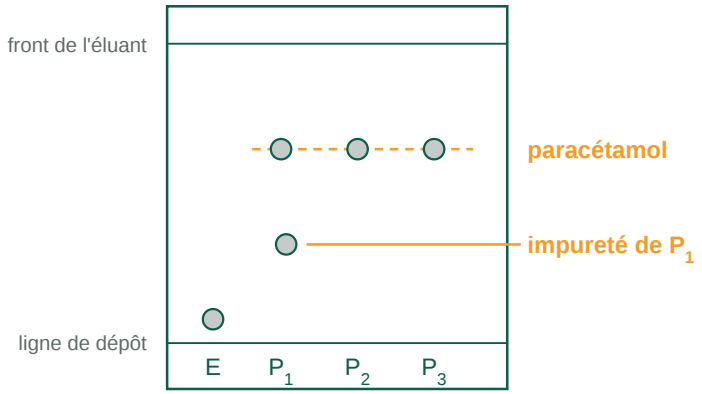
Sur une même plaque, une espèce donnée migre toujours à la même hauteur ; chaque tache correspond à une espèce.

- E et P3, les références, donnent chacun une seule tache : basse pour le para-aminophénol, haute pour le paracétamol.
- P1 (produit brut) donne deux taches : l'une à la hauteur de celle de P3, c'est du paracétamol ; l'autre, plus basse mais pas à la hauteur de celle de E, révèle une impureté qui n'est pas du para-aminophénol.
- P2 (produit recristallisé) donne une seule tache, à la hauteur de celle de P3.

Le produit brut contient du paracétamol et une impureté ; le produit recristallisé est du paracétamol pur : la purification a été efficace.

COMPRENDRE
L'absence de para-aminophénol dans P1 est cohérente avec la partie 1 : c'est le réactif limitant, entièrement consommé. Le chromatogramme ne permet pas d'identifier l'impureté, faute de dépôt de référence à sa hauteur.

MÉTHODE
Lecture verticale : le nombre de taches d'un dépôt donne le nombre d'espèces détectées. Lecture horizontale : deux taches à la même hauteur signalent la même espèce.



3.1 · Chromatogramme du sujet, annoté

3.2 Peut-on utiliser la chromatographie sur couche mince pour vérifier la pureté du paracétamol ?

Une impureté fait apparaître une tache supplémentaire, comme pour le produit brut P1 ; le produit purifié P2 n'en donne qu'une.

Oui : un paracétamol pur donne une seule tache, à la hauteur de celle de la référence.

COMPRENDRE
Ce contrôle a une limite : une impureté invisible sous UV, ou qui migrerait à la même hauteur que le paracétamol, passerait inaperçue. On le complète par une mesure de la température de fusion, attendue à $170\ ^\circ\mathrm{C}$.