Corrigé complet — Bac 2023 Centres étrangers 2 Jour 1

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

Ex 1	**Un "jet de 7 mètres" au hand-ball** Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme · Équation de la trajectoire · Analyse dimensionnelle · Niveau d'intensité sonore · Atténuation géométrique	11 pts	1 h 56	16 questions	p. 2
Ex 2	**Un assouplissant "fait maison"** Dilution · Titrage pH-métrique · Pourcentage massique · Constante d'acidité · pH d'un acide faible · Diagramme de prédominance	5 pts	53 min	9 questions	p. 8
Ex 3	**Stockage dangereux du peroxyde d'hydrogène** Facteurs cinétiques · Catalyse · pH d'une solution · Titrage colorimétrique · Équation d'état du gaz parfait	4 pts	42 min	9 questions	p. 12

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.

Un "jet de 7 mètres" au hand-ball

Bac 2023 Centres étrangers 2 Jour 1 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

Q.1 Nommer le référentiel dans lequel la trajectoire du ballon est observée sur la chronophotographie.

La caméra est fixe par rapport au sol du gymnase.

Le mouvement est observé dans le **référentiel terrestre** (lié au sol).

Q.2 En précisant les hypothèses, établir l'expression du vecteur accélération du centre de masse du ballon, puis ses coordonnées dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$.

Système : {ballon}, de masse m constante. Référentiel terrestre, supposé galiléen.

Bilan des forces : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ seulement, puisque l'action de l'air est négligée (chute libre).

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical et dirigé vers le bas, alors que $\vec{j}$ est dirigé vers le haut :

$\vec{a} = \vec{g}$, de coordonnées $a_x = 0$ et $a_y = -g$

PIÈGE
Oublier une hypothèse : référentiel supposé galiléen, masse constante, action de l'air négligée. La question les demande explicitement, elles sont notées.

COMPRENDRE
La masse se simplifie : l'accélération d'un objet en chute libre ne dépend pas de sa masse.

Q.3 Déterminer par analyse dimensionnelle laquelle des trois expressions proposées pour g est homogène.

Données utiles g en $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$; G en $\mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$; M_T en kg ; R_T en m

On cherche l'unité de chaque expression et on la compare à celle de g, le $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

- a) $\dfrac{G\,M_T^2}{R_T}$: $\dfrac{\mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2} \times kg^2}}{\mathrm{m}} = \mathrm{m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}}$: ne convient pas.
- b) $\dfrac{G\,M_T}{R_T^2}$: $\dfrac{\mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2} \times kg}}{\mathrm{m^2}} = \mathrm{m \cdot s^{-2}}$: convient.
- c) $\dfrac{G + M_T}{R_T^2}$: on ne peut pas additionner G et M_T, qui n'ont pas la même unité : ne convient pas.

Seule l'expression b) est homogène : $g = \dfrac{G\,M_T}{R_T^2}$

MÉTHODE
Remplacer chaque grandeur par son unité, simplifier, comparer à l'unité attendue. Une somme de deux grandeurs d'unités différentes est toujours à rejeter.

Q.4 Montrer que les coordonnées du vecteur vitesse sont $v_x(t) = v_0 \cos(\alpha)$ et $v_y(t) = -g\,t + v_0 \sin(\alpha)$.

Par définition $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, donc $\dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = 0$ et $\dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = -g$.

On cherche les primitives : $v_x(t) = C_1$ et $v_y(t) = -g\,t + C_2$, où C_1 et C_2 sont des constantes.

Condition initiale : à $t = 0$, $\vec{v} = \vec{v}_0$ de coordonnées $v_0 \cos(\alpha)$ et $v_0 \sin(\alpha)$. Donc $C_1 = v_0 \cos(\alpha)$ et $C_2 = v_0 \sin(\alpha)$.

$v_x(t) = v_0 \cos(\alpha)$ et $v_y(t) = -g\,t + v_0 \sin(\alpha)$

PIÈGE
Passer directement de l'accélération au résultat. Les constantes d'intégration doivent apparaître, puis être déterminées par la vitesse à $t = 0$.

Q.5 Sur le graphique, identifier la courbe correspondant à v_x et celle correspondant à v_y. Justifier.

$v_x(t) = v_0\cos(\alpha)$ ne dépend pas du temps : sa représentation est une droite horizontale. C'est la courbe 1, dont les points restent proches d'une même valeur.

$v_y(t) = -g\,t + v_0\sin(\alpha)$ est une fonction affine du temps, de coefficient directeur négatif $-g$: sa représentation est une droite décroissante. C'est la courbe 2.

Courbe 1 : v_x (constante) ; courbe 2 : v_y (affine décroissante).

COMPRENDRE
La courbe 2 coupe l'axe des abscisses vers $t = 0{,}46$ s : v_y s'annule, le ballon est au sommet de sa trajectoire. Ensuite $v_y < 0$, il redescend.

Q.6 Calculer à partir de ces courbes la norme v_0 du vecteur vitesse initiale, ainsi que la valeur de l'angle α.

Données utiles lecture graphique à $t = 0$: $v_x(0) = 6{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $v_y(0) = 4{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

À $t = 0$: $v_x(0) = v_0\cos(\alpha)$ et $v_y(0) = v_0\sin(\alpha)$.

Norme : $v_0 = \sqrt{v_x(0)^2 + v_y(0)^2} = \sqrt{6{,}8^2 + 4{,}6^2} = 8{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

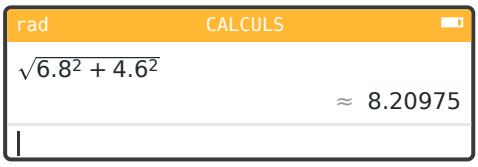
Angle : $\tan(\alpha) = \dfrac{v_y(0)}{v_x(0)}$, donc $\alpha = \arctan\left(\dfrac{4{,}6}{6{,}8}\right) = 34^\circ$

$v_0 = 8{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $\alpha = 34^\circ$

PIÈGE
Calculatrice en radians : $\arctan$ affiche alors 0,59 au lieu de 34. Vérifier le mode degrés avant le calcul de l'angle.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les lectures graphiques. En lisant plutôt les droites de modélisation (environ 6,5 et 4,5), on trouve des valeurs voisines : toute lecture cohérente et annoncée est acceptée.

À LA CALCULATRICE



Q.7 Établir les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement lors du tir.

Données utiles à $t = 0$: $x_0 = 0$; $y_0 = h$

Par définition $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OG}}{\mathrm{d}t}$, donc $\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = v_0\cos(\alpha)$ et $\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = -g\,t + v_0\sin(\alpha)$.

On cherche les primitives : $x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t + C_3$ et $y(t) = -\dfrac{1}{2}g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t + C_4$.

Condition initiale : à $t = 0$, $x(0) = 0$ et $y(0) = h$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = h$.

$x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t$ et $y(t) = -\dfrac{1}{2}g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t + h$

PIÈGE
Écrire $C_4 = 0$ par habitude. Le ballon part de la hauteur $h = 2{,}34$ m, pas de l'origine du repère.

Q.8 En déduire l'équation $y(x)$ de la trajectoire donnée par le sujet.

On élimine le temps. De $x = v_0 \cos(\alpha)\, t$ on tire $t = \dfrac{x}{v_0 \cos(\alpha)}$, que l'on reporte dans $y(t)$:

$$y(x) = -\frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_0 \cos(\alpha)} \right)^2 + v_0 \sin(\alpha) \frac{x}{v_0 \cos(\alpha)} + h$$

Comme $\dfrac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \tan(\alpha)$:

$$y(x) = -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha)\, x + h$$

COMPRENDRE
y est un polynôme du second degré en x, de coefficient dominant négatif : la trajectoire est une portion de parabole tournée vers le bas, la « cloche » du lob.

Q.9 Le gardien est à 4,0 m du tireur et peut atteindre 2,8 m bras levé en plein saut. Déterminer si le « jet de 7 mètres » étudié permet de marquer un but.

Données utiles $v_0 = 8{,}2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $\alpha = 34°$ (Q.6) ; $h = 2{,}34$ m ; $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; but à 7,0 m du tireur, barre transversale à 2,0 m

Le but est marqué si deux conditions sont réunies :

- le ballon passe au-dessus de la main du gardien : $y(4{,}0) > 2{,}8$ m ;
- le ballon entre dans le but, sous la barre et avant de toucher le sol : $0 < y(7{,}0) < 2{,}0$ m.

Au niveau du gardien :

$$y(4{,}0) = -\frac{1}{2} \times 9{,}81 \times \frac{4{,}0^2}{8{,}2^2 \times \cos^2(34°)} + \tan(34°) \times 4{,}0 + 2{,}34 = 3{,}3\ \text{m}$$

$3{,}3\ \text{m} > 2{,}8\ \text{m}$: le gardien ne peut pas toucher le ballon.

Au niveau du but :

$$y(7{,}0) = -\frac{1}{2} \times 9{,}81 \times \frac{7{,}0^2}{8{,}2^2 \times \cos^2(34°)} + \tan(34°) \times 7{,}0 + 2{,}34 = 1{,}9\ \text{m}$$

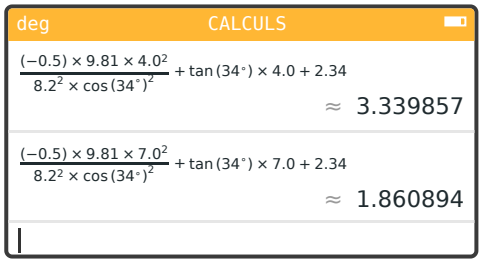
$0 < 1{,}9\ \text{m} < 2{,}0\ \text{m}$: le ballon passe sous la barre transversale.

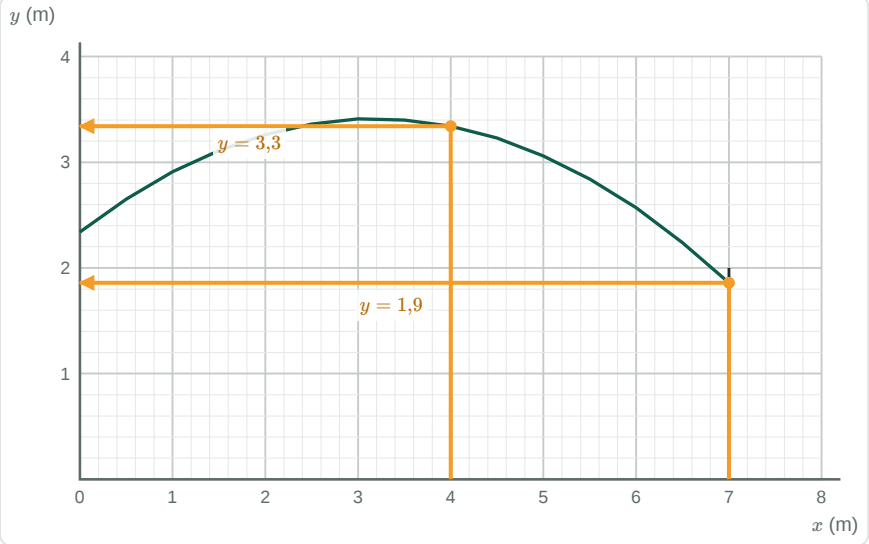
$y(4{,}0) = 3{,}3$ m et $y(7{,}0) = 1{,}9$ m : le tir lobe le gardien et entre dans le but, le but est marqué.

COMPRENDRE
y repère le centre du ballon, qui passe à environ 0,1 m sous la barre : la marge est faible. Avec d'autres lectures graphiques à la Q.6, $y(7{,}0)$ change mais la conclusion reste la même.

MÉTHODE
Question ouverte : traduire d'abord l'énoncé en conditions sur $y(x)$, puis calculer, puis conclure par une phrase. Les deux abscisses sont nécessaires, le gardien et le but.

À LA CALCULATRICE





Q.9 · Trajectoire calculée du centre du ballon ; traits verticaux : portée du gardien (2,8 m) et hauteur du but (2,0 m)

Q.10 L'arbitre donne environ 200 coups de sifflet de 0,3 s en moyenne par match. Indiquer s'il encourt un risque auditif. Justifier.

Données utiles $L = 115$ dB à l'oreille de l'arbitre ; tableau : 107 dB, 1 min par jour ; de 120 à 140 dB, quelques secondes

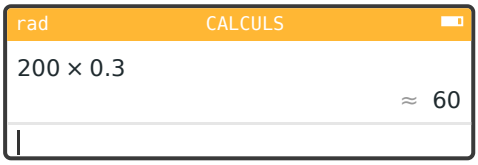
Durée totale d'exposition pendant un match : $\Delta t = 200 \times 0{,}3 = 60\ \text{s} = 1\ \text{min}$.

D'après le tableau, la durée limite est de 1 min par jour à 107 dB, et elle diminue quand le niveau augmente. À 115 dB, niveau plus élevé, la durée limite est donc inférieure à 1 min.

L'arbitre est exposé 1 min à 115 dB, plus que la durée limite : il encourt un risque auditif.

PIÈGE
Répondre « 115 dB est inférieur à 120 dB, donc pas de danger ». Il faut comparer la durée d'exposition à la durée limite correspondant au niveau perçu.

À LA CALCULATRICE



Q.11 Proposer une solution simple que l'arbitre pourrait envisager pour se protéger. Nommer le type d'atténuation correspondant.

L'arbitre peut porter des bouchons d'oreille : le matériau du bouchon absorbe une partie de l'énergie de l'onde sonore avant qu'elle n'atteigne le tympan.

Bouchons d'oreille : **atténuation par absorption**.

Q.12 Calculer l'intensité sonore I perçue par l'arbitre sans protection lors du coup de sifflet.

Données utiles $L = 115$ dB ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

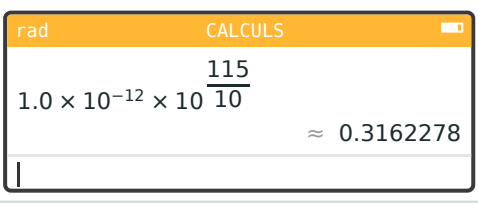
$L = 10 \log\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$, donc $\log\left(\dfrac{I}{I_0}\right) = \dfrac{L}{10}$, soit $\dfrac{I}{I_0} = 10^{L/10}$ et $I = I_0 \times 10^{L/10}$.

$$I = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{115/10} = 0{,}32\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$I = 0{,}32\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, soit $3{,}2 \times 10^{-1}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

MÉTHODE
Pour isoler I : diviser par 10, puis appliquer « 10 puissance » aux deux membres, car $\log(a) = b$ équivaut à $a = 10^b$.

À LA CALCULATRICE



Q.13 Montrer que la puissance de la source sonore constituée par le sifflet est égale à $P = 8{,}9 \times 10^{-2}$ W.

Données utiles $I = 0{,}316\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ (Q.12, valeur non arrondie) ; $d = 15\ \text{cm} = 0{,}15$ m

Le sifflet est une source isotrope : $I = \dfrac{P}{4\pi d^2}$, donc $P = 4\pi d^2 I$.

$$P = 4\pi \times 0{,}15^2 \times 0{,}316 = 8{,}9 \times 10^{-2}\ \text{W}$$

$P = 8{,}9 \times 10^{-2}$ W : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Laisser d en centimètres, ou repartir de la valeur arrondie $0{,}32\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$: on obtient alors $9{,}0 \times 10^{-2}$ W au lieu de la valeur annoncée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$4 \times \pi \times 0.15^2 \times 0.316$

≈ 0.0893469

Q.14 Déterminer le niveau d'intensité sonore perçu par un spectateur situé à 5,0 m de l'arbitre.

Données utiles $P = 8{,}9 \times 10^{-2}$ W (Q.13) ; $d_S = 5{,}0$ m ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2}

Intensité sonore reçue par le spectateur : $I_S = \dfrac{P}{4\pi\, d_S^2} = \dfrac{8{,}9 \times 10^{-2}}{4\pi \times 5{,}0^2} = 2{,}8 \times 10^{-4}$ W · m^{-2}

Niveau d'intensité sonore : $L_S = 10 \log\left(\dfrac{I_S}{I_0}\right)$

$$L_S = 10 \log\left(\frac{8{,}9 \times 10^{-2}}{4\pi \times 5{,}0^2 \times 1{,}0 \times 10^{-12}}\right) = 85 \text{ dB}$$

$L_S = 85$ dB

PIÈGE
Utiliser la touche ln au lieu de log : le niveau d'intensité sonore est défini avec le logarithme décimal.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{8.9 \times 10^{-2}}{4 \times \pi \times 5.0^2}$

$\approx 2.832958 \times 10^{-4}$

$10 \times \log\left(\dfrac{8.9 \times 10^{-2}}{4 \times \pi \times 5.0^2 \times 1.0 \times 10^{-12}}\right)$

≈ 84.5224

Q.15 Déterminer la valeur de l'atténuation entre l'arbitre et le spectateur à 5,0 m. Quel nom donne-t-on à ce type d'atténuation ?

Données utiles $L = 115$ dB (arbitre) ; $L_S = 85$ dB (Q.14)

L'atténuation est la différence entre les deux niveaux d'intensité sonore :

$A = L - L_S = 115 - 85 = 30$ dB

Elle est due à l'éloignement de la source : la puissance émise se répartit sur une sphère d'aire $4\pi\, d^2$ de plus en plus grande, donc l'intensité sonore diminue avec la distance.

$A = 30$ dB : c'est une **atténuation géométrique**.

COMPRENDRE
Aucune énergie n'est absorbée ici : elle est seulement diluée dans l'espace. C'est la différence avec l'atténuation par absorption de la Q.11.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$115 - 85$

30

Q.16 À 15 m de l'arbitre, l'intensité sonore due au sifflet est égale à celle du bruit ambiant. Déterminer le niveau d'intensité sonore global perçu par un spectateur à cette distance.

Données utiles bruit ambiant : $L_1 = 75$ dB ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2}

Les intensités sonores s'ajoutent : $I = I_1 + I_2$. Le sifflet et le bruit ambiant ont la même intensité, donc $I = 2\,I_1$ avec $I_1 = I_0 \times 10^{L_1/10}$.

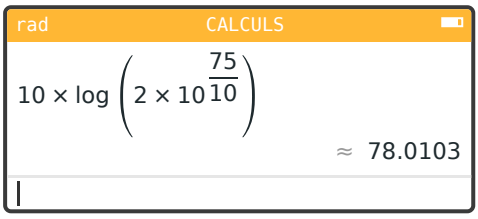
$$L = 10\log\left(\frac{2\,I_1}{I_0}\right) = 10\log\left(2 \times 10^{L_1/10}\right) = 10\log\left(2 \times 10^{7{,}5}\right) = 78 \text{ dB}$$

$L = 78$ dB

PIÈGE
Additionner les niveaux : $75 + 75 = 150$ dB est faux. Seules les intensités sonores, en W · m^{-2}, s'additionnent.

COMPRENDRE
$10\log(2) \approx 3$: doubler l'intensité sonore ajoute toujours 3 dB au niveau, ici $75 + 3 = 78$ dB.

À LA CALCULATRICE



Un assouplissant "fait maison"

Bac 2023 Centres étrangers 2 Jour 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q.1 Indiquer la verrerie nécessaire pour préparer 50,0 mL de solution S par dilution du vinaigre commercial.

Données utiles dilution au dixième ; volume de solution fille $V_S = 50{,}0$ mL

La solution est diluée 10 fois : le volume de vinaigre à prélever est $V_0 = \dfrac{V_S}{10} = \dfrac{50{,}0}{10} = 5{,}0$ mL.

Verrerie :

- un bécher, dans lequel on verse un peu de vinaigre commercial ;
- une pipette jaugée de 5,0 mL munie d'un dispositif d'aspiration, pour le prélèvement ;
- une fiole jaugée de 50,0 mL avec son bouchon, complétée à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Pipette jaugée de 5,0 mL et fiole jaugée de 50,0 mL (plus un bécher de prélèvement).

PIÈGE
Citer une éprouvette graduée ou un bécher pour mesurer les volumes : seule la verrerie jaugée garantit la précision attendue. Donner les deux contenances, sinon la réponse est incomplète.

MÉTHODE
Dilution d'un facteur F : $V_{\text{mère}} = \dfrac{V_{\text{fille}}}{F}$. La pipette jaugée prélève la solution mère, la fiole jaugée fixe le volume de la solution fille.

Q.2 Écrire l'équation de la réaction support du titrage entre l'ion hydroxyde et l'acide éthanoïque.

L'acide CH_3COOH cède un ion H^+ à la base HO^- :

$$CH_3COOH\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow CH_3COO^-\,(aq) + H_2O\,(l)$$

COMPRENDRE
Une réaction support de titrage est totale : on écrit une flèche simple, pas une double flèche. L'ion sodium Na^+, spectateur, ne figure pas dans l'équation.

Q.3 À l'aide de la figure 1, montrer que la concentration C_{com} en acide éthanoïque apporté dans le vinaigre commercial est égale à $1{,}4\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Données utiles $C_B = 0{,}10\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; prise d'essai $V = 10{,}0$ mL ; solution S : vinaigre dilué 10 fois

Le volume à l'équivalence est l'abscisse du maximum de la courbe dérivée $\dfrac{\mathrm{d}pH}{\mathrm{d}V_B}$: on lit $V_E = 14{,}0$ mL.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques (1 pour 1) : $n(CH_3COOH)_{\text{titré}} = n(HO^-)_{\text{versé}}$, soit $C_S \times V = C_B \times V_E$.

$$C_S = \frac{C_B \times V_E}{V} = \frac{0{,}10 \times 14{,}0}{10{,}0} = 0{,}14\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

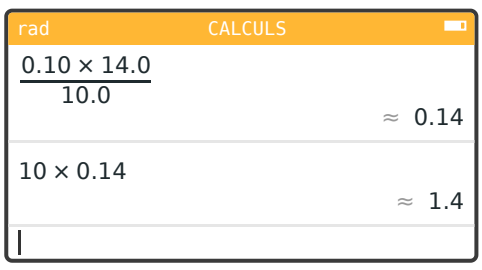
Le vinaigre a été dilué 10 fois : $C_{com} = 10 \times C_S = 10 \times 0{,}14$.

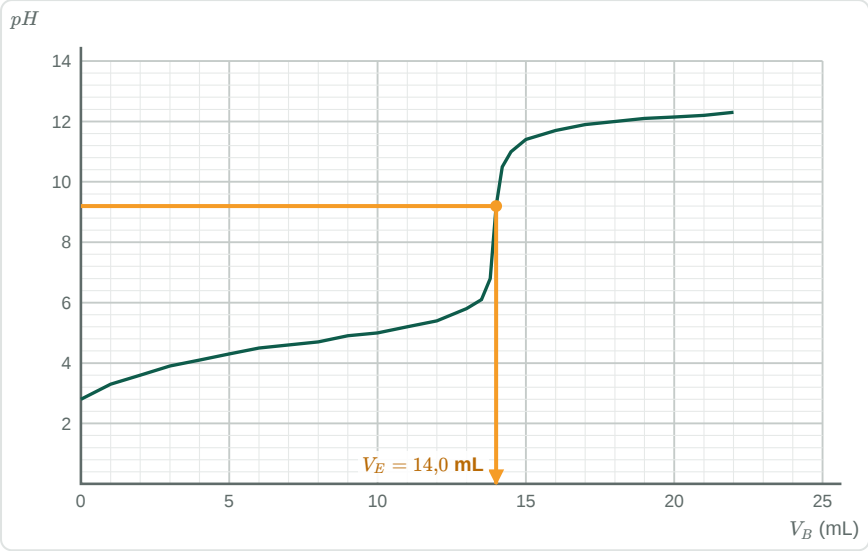
$C_{com} = 1{,}4\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, valeur attendue.

PIÈGE
S'arrêter à $C_S = 0{,}14\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$: c'est la concentration de la solution diluée. Le facteur 10 de la dilution redonne celle du vinaigre commercial.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C_B, la donnée la moins précise. Les volumes restent en mL dans le quotient $\dfrac{V_E}{V}$: les unités se simplifient.

À LA CALCULATRICE





Q.3 · Allure de la courbe $pH = f(V_B)$ de la figure 1 : le saut de pH, où la dérivée est maximale, repère V_E

Q.4 En déduire le pourcentage massique en acide éthanoïque obtenu expérimentalement et le comparer à la valeur annoncée par le fabricant.

Données utiles $C_{com} = 1{,}4\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Q.3) ; $\rho = 1{,}01\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; $M_H = 1{,}0$, $M_C = 12{,}0$, $M_O = 16{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $u(\%) = 0{,}2\ \%$; valeur du fabricant : 8 %

Masse molaire de l'acide éthanoïque $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$: $M = 2\times 12{,}0 + 4\times 1{,}0 + 2\times 16{,}0 = 60{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

On raisonne sur $V = 1{,}000$ L de vinaigre :

- masse d'acide : $m_{\text{acide}} = C_{com}\times V\times M$;
- masse de solution : $m_{\text{sol}} = \rho\times V$, avec $\rho = 1{,}01\times 10^3\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

$$P = \frac{m_{\text{acide}}}{m_{\text{sol}}} = \frac{C_{com}\times M}{\rho} = \frac{1{,}4\times 60{,}0}{1{,}01\times 10^3} = 0{,}083 \quad \text{soit } P = 8{,}3\ \%$$

Comparaison avec la valeur de référence $P_{\text{ref}} = 8\ \%$:

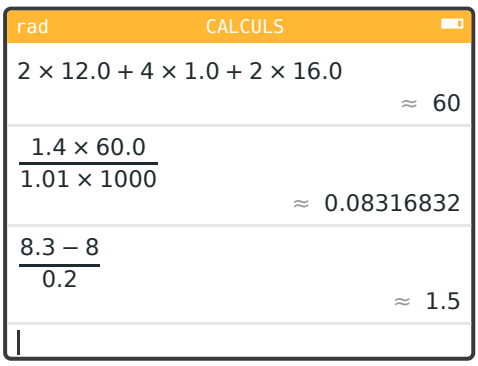
$$z = \frac{|P - P_{\text{ref}}|}{u(\%)} = \frac{8{,}3 - 8}{0{,}2} = 1{,}5$$

$P = 8{,}3\ \%$; $z = 1{,}5 < 2$: le résultat est compatible avec les 8 % annoncés par le fabricant.

PIÈGE
Garder ρ en $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ avec C_{com} en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$: le pourcentage sort mille fois trop grand. Convertir : $1{,}01\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1} = 1{,}01\times 10^3\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

MÉTHODE
Comparer une mesure à une valeur de référence : calculer $z = \frac{|x_{\text{mes}} - x_{\text{ref}}|}{u(x)}$. Si $z \leq 2$, la mesure est compatible avec la référence.

À LA CALCULATRICE



Q.5 En utilisant éventuellement un tableau d'avancement, montrer qu'à l'équilibre $K_A = \dfrac{[H_3O^+]_{éq}^2}{(C_S - [H_3O^+]_{éq}) \times c^\circ}$ (relation 1).

On considère un volume V de solution S. Avancement de la réaction $CH_3COOH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons CH_3COO^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$:

- état initial : $n(CH_3COOH) = C_S V$; $n(CH_3COO^-) = 0$; $n(H_3O^+) = 0$; l'eau est le solvant ;
- état d'équilibre : $n(CH_3COOH) = C_S V - x_{éq}$; $n(CH_3COO^-) = x_{éq}$; $n(H_3O^+) = x_{éq}$.

En divisant par V : $[CH_3COO^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq} = \dfrac{x_{éq}}{V}$ et $[CH_3COOH]_{éq} = C_S - \dfrac{x_{éq}}{V} = C_S - [H_3O^+]_{éq}$.

Par définition de la constante d'acidité :

$$K_A = \frac{[CH_3COO^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[CH_3COOH]_{éq} \times c^\circ}$$

On remplace les deux concentrations par leurs expressions :

$$K_A = \frac{[H_3O^+]_{éq}^2}{(C_S - [H_3O^+]_{éq}) \times c^\circ}$$: c'est la relation 1.

PIÈGE
Écrire $[CH_3COOH]_{éq} = C_S$: l'acide qui a réagi doit être retranché. Ne pas faire figurer l'eau, solvant, dans l'expression de K_A.

COMPRENDRE
La réaction produit autant d'ions éthanoate que d'ions oxonium : c'est cette égalité qui fait apparaître le carré au numérateur.

Q.6 En déduire la valeur du pH de la solution diluée S et montrer qu'elle est cohérente avec celle lue sur la courbe de titrage.

Données utiles $pK_A = 4{,}8$; $C_S = 0{,}14\ mol \cdot L^{-1}$ (Q.3) ; $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$; relation 1 sous forme d'équation du second degré

$K_A = 10^{-pK_A} = 10^{-4{,}8} = 1{,}6 \times 10^{-5}$.

On pose $h = [H_3O^+]_{éq}$ (en $mol \cdot L^{-1}$). L'équation à résoudre est $h^2 + K_A\,h - K_A\,C_S = 0$, soit :

$$h^2 + 10^{-4{,}8}\,h - 10^{-4{,}8} \times 0{,}14 = 0$$

Discriminant : $\Delta = K_A^2 + 4\,K_A\,C_S > 0$. Une concentration est positive, on ne garde que la racine positive :

$$h = \frac{-K_A + \sqrt{K_A^2 + 4\,K_A\,C_S}}{2} = 1{,}5 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$$

$$pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]_{éq}}{c^\circ}\right) = -\log\left(1{,}48 \times 10^{-3}\right) = 2{,}8$$

Sur la figure 1, pour $V_B = 0$ mL (solution S seule, avant tout ajout), on lit $pH \approx 2{,}8$.

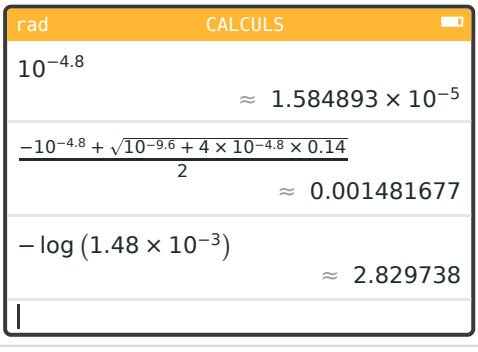
$pH = 2{,}8$: la valeur calculée est cohérente avec le pH initial lu sur la courbe de titrage.

PIÈGE
Utiliser $C_{com} = 1{,}4\ mol \cdot L^{-1}$ au lieu de C_S : c'est la solution diluée S qui est titrée. Garder la racine négative n'a aucun sens pour une concentration.

COMPRENDRE
$[H_3O^+]_{éq}$ vaut environ 1 % de C_S : l'acide éthanoïque est faible, très peu dissocié. Le pH, comme le pK_A, se donne avec un seul chiffre après la virgule.

MÉTHODE
Le pH d'une solution titrée, avant tout ajout, se lit à $V_B = 0$ sur la courbe de titrage : c'est le point de comparaison avec le calcul.

À LA CALCULATRICE



Q.7 Expliquer l'effervescence observée après l'ajout du vinaigre. Une équation de réaction est attendue.

Données utiles $pK_A(CH_3COOH/CH_3COO^-) = 4{,}8$; $pK_A(CO_2,H_2O/HCO_3^-) = 6{,}4$

L'acide éthanoïque du vinaigre réagit avec l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^-, base du couple $CO_2,H_2O/HCO_3^-$, apporté par le bicarbonate de soude :

$$CH_3COOH\,(aq) + HCO_3^-\,(aq) \longrightarrow CH_3COO^-\,(aq) + CO_2,H_2O\,(aq)$$

Cette réaction produit du dioxyde de carbone dissous. Dès que sa concentration maximale dans l'eau est atteinte, le dioxyde de carbone formé quitte la solution sous forme de gaz : des bulles se dégagent.

L'effervescence est un dégagement de $CO_2\,(g)$, produit par la réaction acide-base entre CH_3COOH et HCO_3^-.

PIÈGE
Faire jouer à HCO_3^- son rôle d'acide (couple HCO_3^-/CO_3^{2-}) : face à l'acide éthanoïque il se comporte en base, et c'est ce qui forme CO_2.

COMPRENDRE
L'ion HCO_3^- est une espèce amphotère : acide dans un couple, base dans l'autre. L'acide éthanoïque ($pK_A = 4{,}8$) est plus fort que CO_2,H_2O ($pK_A = 6{,}4$) : la réaction est favorisée.

Q.8 Indiquer l'espèce prédominante parmi celles des couples HCO_3^-/CO_3^{2-} et $CO_2,H_2O/HCO_3^-$ dans l'eau de rinçage, puis celle qui prédomine au sein du couple CH_3COOH/CH_3COO^-. Justifier.

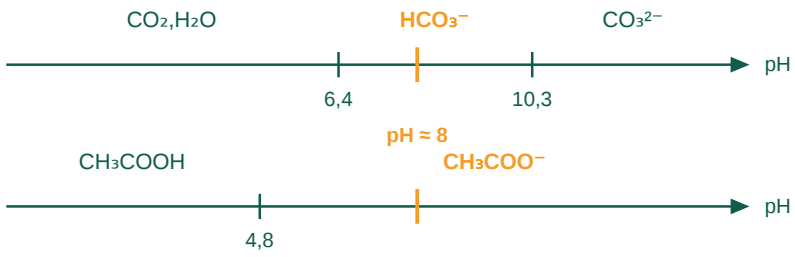
Données utiles eau de rinçage : $pH \approx 8$; pK_A : 4,8 (CH_3COOH/CH_3COO^-) ; 6,4 ($CO_2,H_2O/HCO_3^-$) ; 10,3 (HCO_3^-/CO_3^{2-})

Dans un couple, l'acide prédomine si $pH < pK_A$ et la base prédomine si $pH > pK_A$.

- $pH \approx 8 > 6{,}4$: HCO_3^- prédomine sur CO_2,H_2O ;
- $pH \approx 8 < 10{,}3$: HCO_3^- prédomine sur CO_3^{2-} ;
- $pH \approx 8 > 4{,}8$: CH_3COO^- prédomine sur CH_3COOH.

Dans l'eau de rinçage, les espèces prédominantes sont HCO_3^- et CH_3COO^-.

MÉTHODE
Tracer un axe de pH, y placer les pK_A, écrire l'acide à gauche et la base à droite de chaque pK_A, puis repérer le pH de la solution.



Q.8 · Diagrammes de prédominance : en orange, le pH de l'eau de rinçage et les espèces qui prédominent

Q.9 En déduire comment l'assouplissant joue son rôle.

Le linge devient rigide lorsque le calcaire $CaCO_3$ précipite entre les fibres, ce qui demande des ions Ca^{2+} libres et des ions CO_3^{2-} en grande quantité.

Avec l'assouplissant, l'eau de rinçage a un pH voisin de 8 :

- ce pH est nettement inférieur à 10,3 : l'ion carbonate CO_3^{2-} est très minoritaire devant HCO_3^- (Q.8) ;
- ce pH est supérieur à 4,8 : l'ion éthanoate CH_3COO^- prédomine (Q.8) et peut capter les ions calcium Ca^{2+}.

Peu d'ions CO_3^{2-} et des ions Ca^{2+} captés par CH_3COO^- : le calcaire ne précipite pas, les fibres restent souples.

PIÈGE
Ne citer qu'un seul des deux effets. La réponse complète s'appuie sur les deux prédominances établies à la question précédente et sur le texte du sujet (ions éthanoate qui captent le calcium).

Stockage dangereux du peroxyde d'hydrogène

Bac 2023 Centres étrangers 2 Jour 1 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

Q.1 Justifier qu'il est impératif que les conteneurs soient opaques à la lumière et entreposés dans des endroits réfrigérés.

D'après l'énoncé, les rayons UV activent la décomposition du peroxyde d'hydrogène : une paroi opaque empêche ces radiations d'atteindre la solution.

La température est un facteur cinétique : plus elle est élevée, plus la décomposition est rapide. Au froid, la transformation est ralentie.

Conteneur opaque (pas d'UV) et réfrigéré (température basse) : la décomposition reste très lente et il se forme très peu de O_2 gazeux, donc pas de surpression.

MÉTHODE
« Justifier » à partir d'un texte : citer l'information du sujet (UV, température), puis la relier à la question posée (opaque, réfrigéré). Une phrase par facteur.

Q.2 Une solution dont la concentration en ions oxonium vaut $5{,}0 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ se situe-t-elle dans le domaine de stabilité maximale ? Justifier par un calcul.

Données utiles $[H_3O^+] = 5{,}0 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; stabilité maximale pour un pH compris entre 3,5 et 4,5 ; $c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

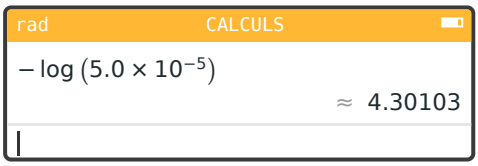
$$\text{pH} = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right) = -\log\left(5{,}0 \times 10^{-5}\right) = 4{,}3$$

Or $3{,}5 < 4{,}3 < 4{,}5$.

$\text{pH} = 4{,}3$: la solution se situe dans le domaine de stabilité maximale.

PIÈGE
Utiliser la touche « ln » au lieu de « log », ou oublier le signe moins : on trouverait un pH négatif ou proche de 10, sans rapport avec une solution acide.

À LA CALCULATRICE



Q.3 Expliquer l'intérêt de l'ajout d'acide sulfurique à la solution S.

Dans l'équation 2, les ions H^+ figurent parmi les réactifs : la réaction de titrage en consomme.

L'acide sulfurique apporte les ions H^+ nécessaires à la réaction de titrage, en large excès, pour que seul H_2O_2 limite la transformation avant l'équivalence.

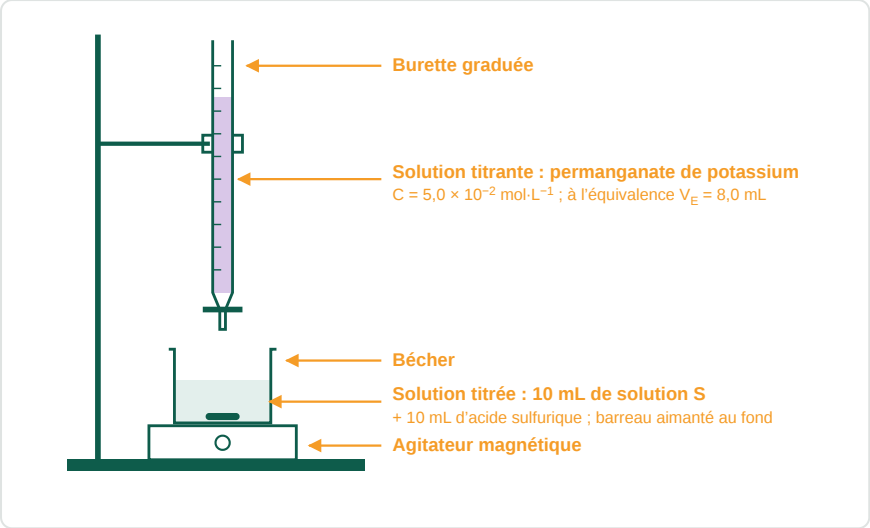
COMPRENDRE
Le volume d'acide n'a pas à être précis : H^+ est en excès et n'intervient pas dans le calcul de C_S. Seuls les 10 mL de solution S doivent être prélevés avec soin.

Q.4 Légender le schéma du montage de titrage donné sur la figure 1 en annexe.

De haut en bas : burette graduée ; solution titrante de permanganate de potassium ($C = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) ; bécher ; solution titrée (10 mL de solution S et 10 mL d'acide sulfurique) ; agitateur magnétique.

Solution titrante (MnO_4^-) dans la burette, solution titrée (H_2O_2 acidifié) dans le bécher.

PIÈGE
Inverser les deux solutions. La solution titrante, de concentration connue, est dans la burette ; l'espèce à doser est dans le bécher.



Q.4 · Figure 1 de l'annexe, légendée

Q.5 En exploitant l'équation 2, déterminer la concentration C_S de la solution S.

Données utiles $C = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 8{,}0$ mL ; $V_S = 10$ mL

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation 2 :

$$\frac{n(\text{H}_2\text{O}_2)_{\text{initial}}}{5} = \frac{n(\text{MnO}_4^-)_{\text{versé}}}{2} \quad \text{soit} \quad \frac{C_S\,V_S}{5} = \frac{C\,V_E}{2}$$

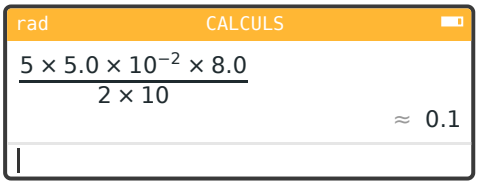
$$C_S = \frac{5\,C\,V_E}{2\,V_S} = \frac{5 \times 5{,}0 \times 10^{-2} \times 8{,}0}{2 \times 10} = 0{,}10\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_S = 0{,}10\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

PIÈGE
Écrire $C_S V_S = C V_E$, ou inverser les nombres 5 et 2. Chaque quantité de matière se divise par son propre nombre stœchiométrique.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C et V_E. Les volumes restent en mL car leur rapport est sans unité. Vérification : la figure 2 donne bien $0{,}10\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ à $t = 0$.

À LA CALCULATRICE



Q.6 Indiquer le rôle des ions Fe^{3+} dans la décomposition du peroxyde d'hydrogène.

Les ions Fe^{3+} accélèrent la décomposition de H_2O_2 et ne figurent pas dans l'équation 1 : ils ne sont pas consommés.

Les ions Fe^{3+} sont un catalyseur de la réaction de décomposition.

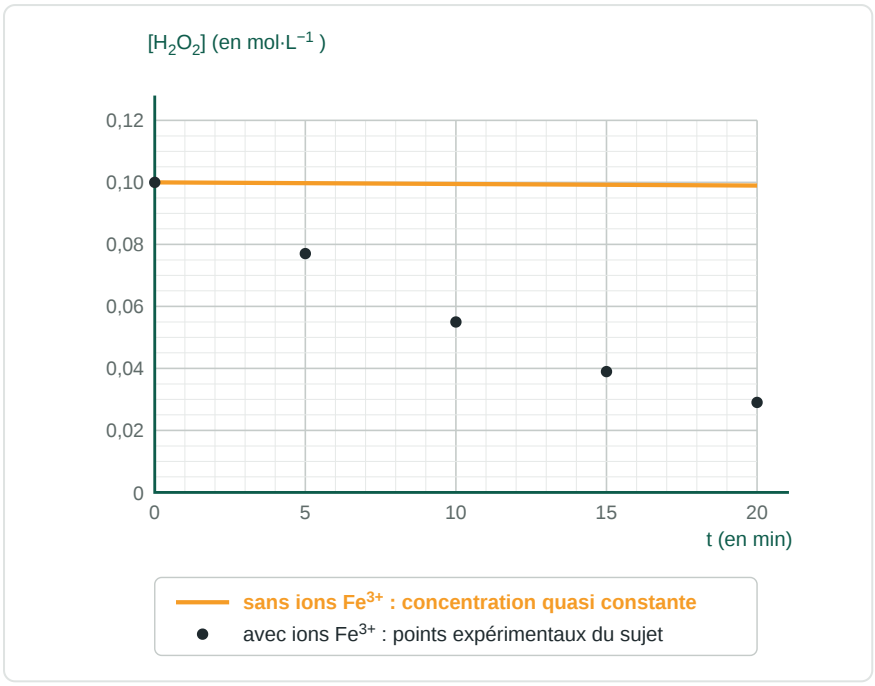
COMPRENDRE
Un catalyseur diminue la durée de la transformation sans modifier l'état final. Ici le catalyseur et le réactif sont dans la même phase aqueuse : la catalyse est homogène.

Q.7 Compléter la figure 2 en annexe en traçant ce que serait l'évolution temporelle de la concentration en H_2O_2 en absence d'ions Fe^{3+}.

Sans catalyseur, la décomposition est très lente : en 20 min, la concentration ne diminue presque pas.

Tracé partant du même point $(0\ ;\ 0{,}10\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$, quasi horizontal, situé au-dessus de tous les points expérimentaux.

PIÈGE
Faire partir la courbe d'une autre valeur que $0{,}10\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$: la solution S est la même, seule la vitesse change. La courbe ne doit jamais remonter.



Q.7 · Figure 2 de l'annexe, complétée : tracé demandé en orange

Q.8 Déterminer la quantité de matière d'air n_{air} qui occupe la partie supérieure du réservoir.

Données utiles $P = 1{,}0 \times 10^5$ Pa ; $V_{\text{gaz}} = 150$ L $= 0{,}150$ m^3 ; $T = 293$ K ; $R = 8{,}314$ Pa · m^3 · mol^{-1} · K^{-1}

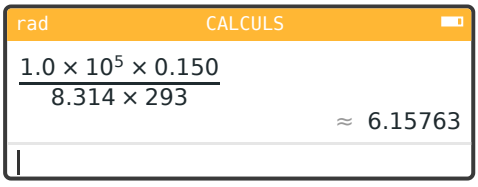
L'air est assimilé à un gaz parfait : $P\,V_{\text{gaz}} = n_{\text{air}}\,R\,T$.

$$n_{\text{air}} = \frac{P\,V_{\text{gaz}}}{R\,T} = \frac{1{,}0 \times 10^5 \times 0{,}150}{8{,}314 \times 293} = 6{,}2 \text{ mol}$$

$\boxed{n_{\text{air}} = 6{,}2 \text{ mol}}$

PIÈGE
Laisser le volume en litres : avec R en Pa · m^3 · mol^{-1} · K^{-1}, il faut des mètres cubes. On trouverait sinon 6 200 mol.

À LA CALCULATRICE



Q.9 Calculer la pression finale P_{tot} atteinte dans le réservoir si le peroxyde d'hydrogène se décompose totalement, à température constante. Commenter.

Données utiles $[H_2O_2]_{\text{réservoir}} = 1{,}2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 1{,}0 \text{ m}^3 = 1{,}0 \times 10^3$ L ; $n_{\text{air}} = 6{,}2$ mol (Q.8) ; $V_{\text{gaz}} = 0{,}150 \text{ m}^3$; $T = 293$ K

Quantité de peroxyde d'hydrogène dans le réservoir :

$$n(H_2O_2) = [H_2O_2]_{\text{réservoir}} \times V = 1{,}2 \times 1{,}0 \times 10^3 = 1{,}2 \times 10^3 \text{ mol}$$

D'après l'équation 1, la décomposition totale forme : $n(O_2) = \dfrac{n(H_2O_2)}{2} = 6{,}0 \times 10^2$ mol.

Le dioxygène ne se dissout pas : il rejoint l'air dans le volume V_{gaz}, supposé inchangé. Pour ce mélange de gaz parfaits :

$$P_{\text{tot}} = \frac{(n_{\text{air}} + n(O_2))\,RT}{V_{\text{gaz}}}$$

$$P_{\text{tot}} = \frac{(6{,}2 + 6{,}0 \times 10^2) \times 8{,}314 \times 293}{0{,}150} = 9{,}8 \times 10^6 \text{ Pa}$$

La pression serait environ 98 fois plus grande que la pression initiale : aucun réservoir de stockage ordinaire n'y résiste. Une impureté jouant le rôle de catalyseur a pu provoquer cette décomposition rapide, donc l'explosion.

$P_{\text{tot}} = 9{,}8 \times 10^6$ Pa, soit près de 100 fois la pression initiale : l'explosion par surpression est expliquée.

PIÈGE

Oublier le nombre stœchiométrique 2 de l'équation 1, ou prendre pour volume du gaz $1{,}0 \text{ m}^3$: le dioxygène n'occupe que les 150 L situés au-dessus de la solution.

MÉTHODE

Question ouverte : annoncer le plan (quantité de réactif, quantité de gaz formé, loi du gaz parfait), puis commenter en comparant à la pression initiale. La démarche rapporte des points même inachevée.

À LA CALCULATRICE

