Corrigé complet — Bac 2025 Amérique du Sud Jour 2

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

Ex 1	**Infusion à la framboise** Groupes caractéristiques · Mécanisme réactionnel · Rendement d'une synthèse · Couple acide-base et pKA · Dilution · Titrage pH-métrique	9 pts	1 h 35	19 questions	p. 2
Ex 2	**Chauffe-eau thermodynamique d'un chalet** Variation d'énergie interne · Flux et résistance thermiques · Premier principe de la thermodynamique · Énergie et puissance électriques · Niveau d'intensité sonore · Atténuations géométrique et par absorption	6 pts	1 h 03	10 questions	p. 10
Ex 3	**Cargo dirigeable** Équation d'état du gaz parfait · Poussée d'Archimède · Première loi de Newton · Débit volumique · Relation de Bernoulli	5 pts	53 min	9 questions	p. 14

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

Infusion à la framboise

Bac 2025 Amérique du Sud Jour 2 · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 35**

Q1 Représenter la formule semi-développée de la molécule de frambinone.

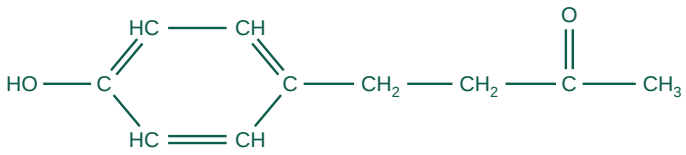
Dans la formule topologique de la figure 1, chaque sommet ou extrémité de segment est un atome de carbone, qui porte autant d'atomes d'hydrogène qu'il faut pour former quatre liaisons.

On fait apparaître tous les atomes, mais pas les liaisons avec les atomes d'hydrogène (voir la formule ci-dessous).

Frambinone : $HO-C_6H_4-CH_2-CH_2-CO-CH_3$, de formule brute $C_{10}H_{12}O_2$ (cycle détaillé sur la figure).

PIÈGE
Oublier un atome d'hydrogène sur le cycle : les deux carbones qui portent $-OH$ et la chaîne n'en ont pas, les quatre autres en portent un seul.

MÉTHODE
Contrôle rapide : la formule brute $C_{10}H_{12}O_2$ donne $M = 10 \times 12{,}0 + 12 \times 1{,}0 + 2 \times 16{,}0 = 164\ g \cdot mol^{-1}$, la masse molaire donnée par le sujet.



Q1 · Formule semi-développée de la frambinone

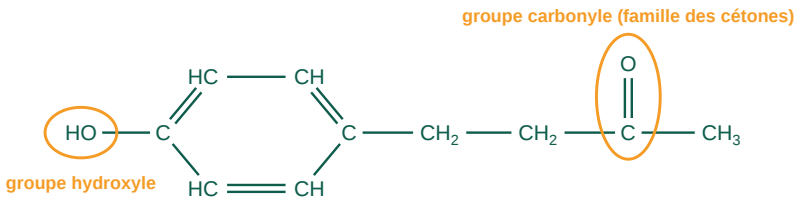
Q2 Entourer et nommer les groupes caractéristiques de la frambinone et préciser le groupe qui justifie son appellation de « cétone de la framboise ».

La frambinone possède deux groupes caractéristiques (entourés sur la formule ci-dessous) :

- le groupe **hydroxyle** $-OH$, porté par le cycle ;
- le groupe **carbonyle** $C{=}O$, dont le carbone est lié à deux atomes de carbone.

Le groupe carbonyle placé entre deux atomes de carbone correspond à la famille des **cétones** : c'est lui qui justifie le nom « cétone de la framboise ».

PIÈGE
Répondre « groupe cétone » : cétone est le nom de la famille, le groupe s'appelle carbonyle. Le même groupe en bout de chaîne donnerait un aldéhyde, comme dans l'espèce A.



Q2 · Les deux groupes caractéristiques de la frambinone

Q3 Justifier l'utilisation de l'acétone comme solvant lors de l'étape A → B de la synthèse.

D'après le tableau, la solubilité du 4-hydroxybenzaldéhyde (réactif A) est **très forte** dans l'acétone : c'est le solvant qui le dissout le mieux, alors qu'il est peu soluble dans l'eau.

L'acétone est de plus totalement miscible à l'eau : après l'ajout de la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium, le mélange reste homogène et les réactifs sont en contact dans une seule phase.

L'acétone dissout très bien le réactif A et se mélange à la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ; elle est aussi un réactif de l'étape A → B.

COMPRENDRE
L'acétone joue ici deux rôles : solvant et réactif (figure 2). Introduite en grande quantité, elle est en excès, ce qui servira pour le calcul du rendement en Q6.

Q4 Sur le document-réponse 1, compléter les actes élémentaires 2 et 3 du mécanisme réactionnel en utilisant le formalisme de la flèche courbe.

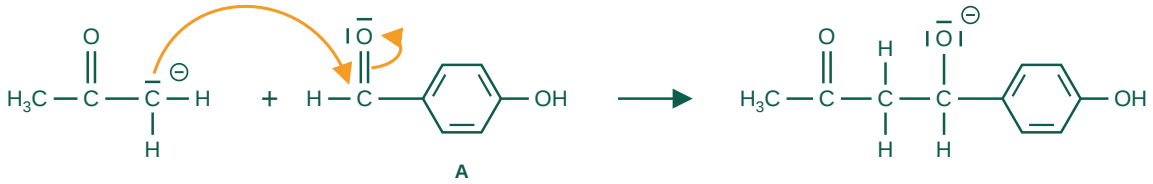
Une flèche courbe part d'un doublet d'électrons (site donneur) et pointe vers l'atome qui le reçoit (site accepteur).

Acte 2. Une flèche part du doublet non liant du carbone chargé négativement et pointe vers le carbone du groupe carbonyle de A (il se forme la liaison $C-C$). Une seconde flèche part de la double liaison $C=O$ et pointe vers l'atome d'oxygène, qui devient porteur de la charge négative.

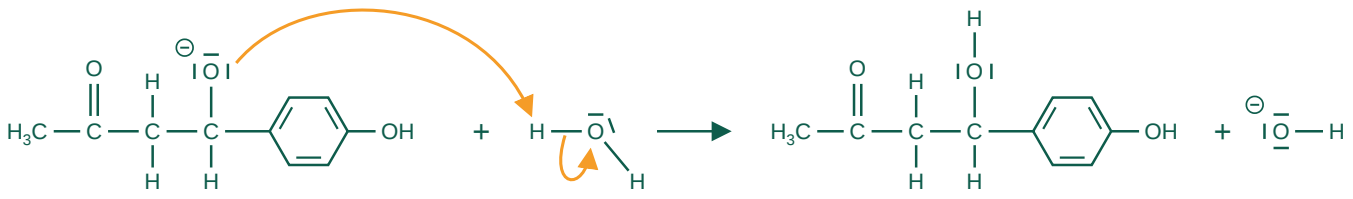
Acte 3. Une flèche part d'un doublet non liant de l'oxygène chargé négativement et pointe vers un atome d'hydrogène de l'eau (il se forme la liaison $O-H$). Une seconde flèche part de la liaison $O-H$ de l'eau et pointe vers son atome d'oxygène : il se forme l'ion HO^-.

Deux flèches courbes par acte, tracées en orange sur le document-réponse ci-dessous.

Acte élémentaire 2



Acte élémentaire 3



Q4 · Document-réponse 1 complété : flèches courbes des actes 2 et 3

Q5 Préciser la catégorie de réaction (acido-basique, oxydo-réduction, élimination, addition, substitution) de l'acte élémentaire 1 du mécanisme.

Dans l'acte 1, l'acétone cède un ion H^+ à l'ion hydroxyde HO^- : l'acétone devient un ion chargé négativement et HO^- devient H_2O.

Il y a transfert d'un ion H^+ d'un acide (l'acétone) vers une base (l'ion hydroxyde).

L'acte élémentaire 1 est une réaction **acido-basique**.

PIÈGE
Répondre « élimination » parce que l'acétone perd un atome d'hydrogène. Dans une élimination, deux groupes quittent la molécule et une liaison multiple se forme : c'est le cas de l'acte 4, pas de l'acte 1.

Q6 La deuxième étape est réalisée avec un excès de dihydrogène et la masse de frambinone obtenue est $m_{\text{exp}} = 2{,}19$ g. Montrer que le rendement r de la synthèse est proche de 65 %.

Données utiles $m_A = 2{,}50$ g ; $M_A = 122{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M_{\text{frambinone}} = 164{,}2\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

L'acétone (solvant), les ions hydroxyde et le dihydrogène sont en excès : le réactif limitant est l'espèce A.

D'après la figure 2, une mole de A donne au plus une mole de B, puis une mole de frambinone :

$$n_{\text{max}} = n_A = \frac{m_A}{M_A} = \frac{2{,}50}{122{,}1} = 2{,}05 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

Masse maximale de frambinone : $m_{\text{max}} = n_{\text{max}} \times M_{\text{frambinone}} = \frac{2{,}50}{122{,}1} \times 164{,}2 = 3{,}36$ g

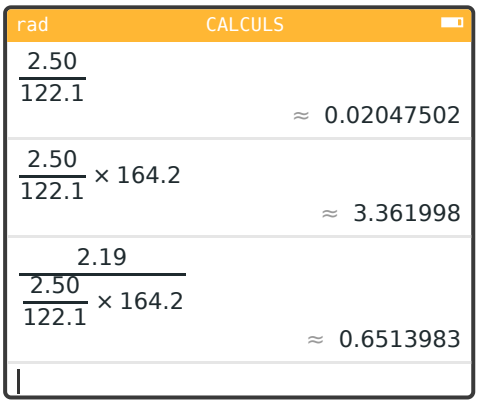
$$r = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{max}}} = \frac{2{,}19}{3{,}36} = 0{,}651$$

$r = 0{,}651$, soit $65{,}1$ % : le rendement est bien proche de 65 %.

PIÈGE
Diviser directement les masses, $2{,}19 \div 2{,}50 = 88$ %. Le rendement compare des quantités de matière, ou la masse obtenue à la masse maximale de produit, jamais à la masse de réactif.

COMPRENDRE
Les masses ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. On conserve les valeurs non arrondies dans la calculatrice pour les calculs intermédiaires.

À LA CALCULATRICE



Q7 Définir un acide selon Brönsted. Justifier le caractère acide de l'acide lactique.

Données utiles $\chi(\text{H}) = 2{,}1$; $\chi(\text{C}) = 2{,}5$; $\chi(\text{O}) = 3{,}5$

Un acide selon Brönsted est une espèce chimique capable de céder un ion hydrogène H^+.

L'acide lactique possède un groupe carboxyle $-\text{COOH}$. L'oxygène est beaucoup plus électronégatif que l'hydrogène ($3{,}5 - 2{,}1 = 1{,}4$) : la liaison $\text{O}-\text{H}$ est fortement polarisée, l'atome d'hydrogène porte une charge partielle positive et la liaison peut se rompre en libérant un ion H^+.

L'acide lactique peut céder l'ion H^+ de son groupe carboxyle : c'est un acide de Brönsted.

COMPRENDRE
Les liaisons $\text{C}-\text{H}$ sont très peu polarisées ($2{,}5 - 2{,}1 = 0{,}4$) : ces atomes d'hydrogène ne sont pas cédés. C'est l'hydrogène du groupe carboxyle qui part, pas celui du groupe hydroxyle.

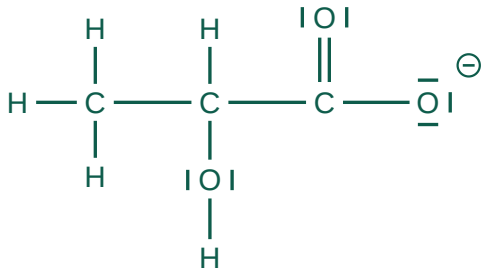
Q8 Représenter le schéma de Lewis de l'ion lactate, base conjuguée de l'acide lactique.

L'ion lactate est l'acide lactique privé de l'ion $\mathrm{H^+}$ de son groupe carboxyle : $\mathrm{CH_3-CH(OH)-COO^-}$.

Dans le schéma de Lewis, toutes les liaisons et tous les doublets non liants sont représentés : deux doublets non liants sur l'oxygène du groupe hydroxyle et sur l'oxygène doublement lié, trois doublets non liants et la charge négative sur l'oxygène qui a perdu l'hydrogène.

Schéma de Lewis ci-dessous : l'oxygène chargé porte trois doublets non liants et la charge $\ominus$.

MÉTHODE
Vérification : chaque atome de carbone et d'oxygène est entouré de quatre doublets (liants et non liants), chaque hydrogène d'un seul. L'oxygène qui forme une seule liaison avec trois doublets non liants porte la charge négative.



Q8 · Schéma de Lewis de l'ion lactate

Q9 On note AH la molécule d'acide lactique. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre l'acide lactique et l'eau.

L'acide AH cède un ion $\mathrm{H^+}$ à l'eau, qui joue le rôle de base (couples $\mathrm{AH/A^-}$ et $\mathrm{H_3O^+/H_2O}$).

$$\mathrm{AH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)}$$

COMPRENDRE
Double flèche : la transformation n'est pas totale, l'acide lactique est un acide faible.

Q10 Exprimer, à l'équilibre, la constante d'acidité associée à cette réaction.

La constante d'acidité est la constante d'équilibre de la réaction de l'acide avec l'eau ; l'eau, solvant, n'apparaît pas dans l'expression.

$$K_A = \frac{[\mathrm{A^-}]_{\text{éq}} \times [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{AH}]_{\text{éq}} \times c^\circ} \text{ avec } c^\circ = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

PIÈGE
Faire figurer $[\mathrm{H_2O}]$ au dénominateur, ou oublier c° : la constante d'acidité est un nombre sans unité.

Q11 À partir d'un diagramme de prédominance, justifier que l'acide lactique prédomine dans la solution détartrante dans la bouilloire.

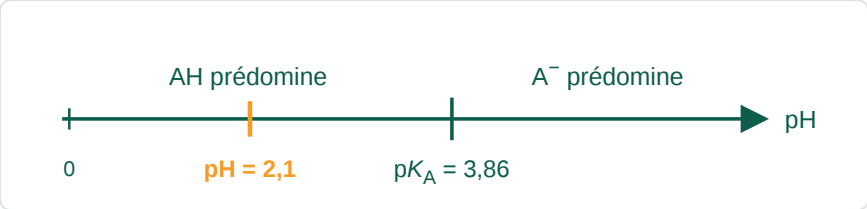
Données utiles $\mathrm{p}K_A = 3{,}86$; pH de la solution : $2{,}1$

Pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, la forme acide AH prédomine ; pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$, c'est la forme basique $\mathrm{A^-}$ (diagramme ci-dessous).

Ici $\mathrm{pH} = 2{,}1 < \mathrm{p}K_A = 3{,}86$.

Le pH de la solution est inférieur au $\mathrm{p}K_A$: l'acide lactique AH prédomine dans la bouilloire.

COMPRENDRE
Cela vient de $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_A + \log \dfrac{[\mathrm{A^-}]}{[\mathrm{AH}]}$: si $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, le logarithme est négatif, donc $[\mathrm{A^-}] < [\mathrm{AH}]$.



Q11 · Diagramme de prédominance du couple acide lactique / ion lactate

Q12 Montrer que, d'après l'étiquette, la concentration en quantité de matière c_{com} en acide lactique dans la solution commerciale est $7{,}6\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles titre massique $w = 55\ \%$; $M = 90{,}08\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; densité $d = 1{,}25$; $\rho_{eau} = 1{,}00 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

On raisonne sur $V = 1{,}00$ L de solution commerciale.

Masse de la solution : $m_{sol} = d \times \rho_{eau} \times V = 1{,}25 \times 1{,}00 \times 10^3 \times 1{,}00 = 1{,}25 \times 10^3$ g

Masse d'acide lactique : $m = w \times m_{sol} = 0{,}55 \times 1{,}25 \times 10^3 = 688$ g

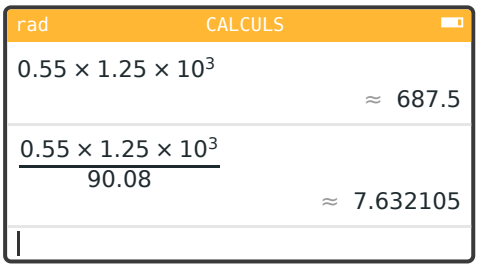
$$c_{com} = \frac{n}{V} = \frac{w \times d \times \rho_{eau}}{M} = \frac{0{,}55 \times 1{,}25 \times 1{,}00 \times 10^3}{90{,}08} = 7{,}6\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$c_{com} = 7{,}6\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, valeur attendue.

PIÈGE
Prendre la masse volumique de l'eau en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ou en $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ sans convertir : avec M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, il faut $\rho_{eau} = 1{,}00 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

COMPRENDRE
Le titre massique $55\ \%$ n'a que deux chiffres significatifs : le résultat $7{,}63\ldots$ s'arrondit à $7{,}6\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



Q13 Nommer les équipements de protection nécessaires pour manipuler en toute sécurité la solution commerciale de détartrant à base d'acide lactique.

Le pictogramme de l'étiquette indique que la solution commerciale est **corrosive** : elle peut provoquer des brûlures de la peau et des lésions des yeux.

Il faut porter une blouse, des lunettes de protection et des gants.

Q14 Choisir en justifiant les deux instruments de verrerie permettant de préparer $200{,}0$ mL de solution $S_{diluée}$ en diluant 100 fois la solution commerciale.

Données utiles pipettes jaugées de $2{,}0$ mL, $5{,}0$ mL, $20{,}0$ mL ; fioles jaugées de $100{,}0$ mL, $200{,}0$ mL, $500{,}0$ mL

Le volume de solution à préparer impose la fiole jaugée : $V_{fille} = 200{,}0$ mL.

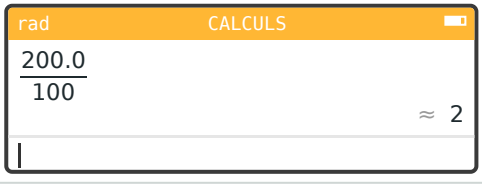
Au cours d'une dilution, la quantité de matière de soluté se conserve : $c_{com} \times V_{mère} = c_{diluée} \times V_{fille}$, donc le facteur de dilution vaut $F = \frac{c_{com}}{c_{diluée}} = \frac{V_{fille}}{V_{mère}}$.

$$V_{mère} = \frac{V_{fille}}{F} = \frac{200{,}0}{100} = 2{,}0\ \text{mL}$$

Une pipette jaugée de $2{,}0$ mL (prélèvement de la solution commerciale) et une fiole jaugée de $200{,}0$ mL.

MÉTHODE
Facteur de dilution = volume de la fiole ÷ volume de la pipette. On peut tester les couples proposés : $200{,}0 \div 2{,}0 = 100$ convient ; $500{,}0 \div 5{,}0 = 100$ aussi, mais donnerait 500 mL de solution.

À LA CALCULATRICE

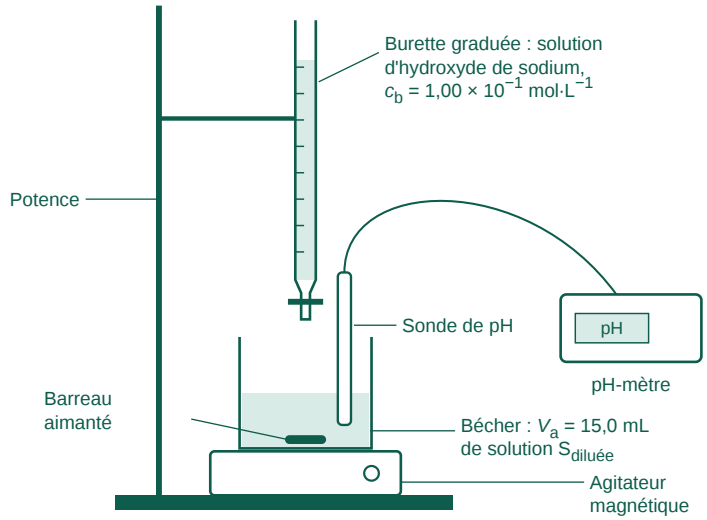


Q15 Représenter le schéma légendé du dispositif de titrage.

La solution titrante (hydroxyde de sodium, $c_b = 1{,}00 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) est dans la burette graduée. La solution titrée ($V_a = 15{,}0$ mL de $S_{\text{diluée}}$) est dans le bécher, sous agitation magnétique. La sonde du pH-mètre plonge dans la solution titrée.

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

PIÈGE
Un schéma sans le nom des solutions n'a pas tous les points : il faut indiquer ce que contient la burette (solution titrante) et ce que contient le bécher (solution titrée), avec les valeurs connues.



Q15 · Dispositif de titrage avec suivi pH-métrique

Q16 Déterminer graphiquement, sur le document-réponse 2, la valeur du volume V_{bE} de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.

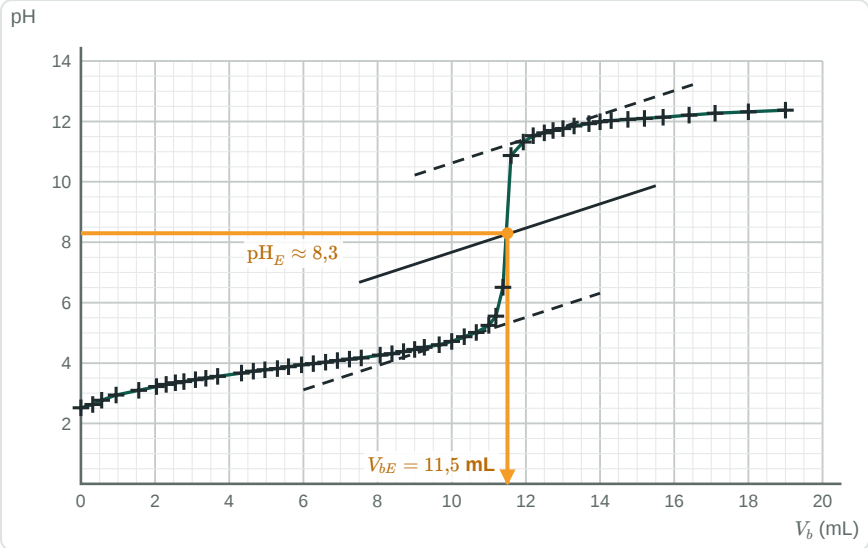
On utilise la méthode des tangentes parallèles : on trace deux tangentes parallèles à la courbe, de part et d'autre du saut de pH, puis la droite parallèle située à égale distance des deux. Cette droite coupe la courbe au point d'équivalence E.

On lit l'abscisse de E sur le document-réponse (le saut de pH est presque vertical, entre $11{,}4$ mL et $11{,}6$ mL).

$V_{bE} = 11{,}5\ \text{mL}$ (et $\text{pH}_E \approx 8{,}3$)

PIÈGE
Donner une valeur sans tracé : le sujet demande une détermination graphique, les traits de construction doivent figurer sur l'annexe rendue avec la copie.

COMPRENDRE
Le saut étant très raide, la lecture de V_{bE} est précise à environ $0{,}1$ mL. Toute valeur entre $11{,}4$ mL et $11{,}6$ mL, justifiée par un tracé, est acceptable.



Q16 · Document-réponse 2 complété : méthode des tangentes parallèles

Q17 Exploiter les résultats pour déterminer la concentration en acide lactique de la solution $S_{\text{diluée}}$.

Données utiles $c_b = 1{,}00 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_a = 15{,}0$ mL ; $V_{bE} = 11{,}5$ mL (Q16)

Réaction support du titrage :

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

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n(\text{AH})_{\text{initial}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versé}}$, soit $c_{\text{diluée}} \times V_a = c_b \times V_{bE}$.

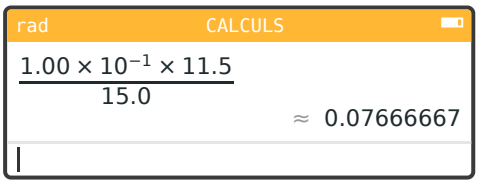
$$c_{\text{diluée}} = \frac{c_b \times V_{bE}}{V_a} = \frac{1{,}00 \times 10^{-1} \times 11{,}5}{15{,}0} = 7{,}67 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\boxed{c_{\text{diluée}} = 7{,}67 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

PIÈGE
Inverser les volumes (V_a au numérateur) : on obtiendrait $0{,}13\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Contrôle : la valeur attendue est $c_{\text{com}} \div 100 = 7{,}6 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

MÉTHODE
Les deux volumes figurent dans un rapport : on peut les laisser en mL. Toujours écrire l'équation de la réaction support avant la relation à l'équivalence, pour justifier les coefficients (ici 1 pour 1).

À LA CALCULATRICE



Q18 Vérifier la compatibilité entre la valeur de la concentration de la solution commerciale obtenue expérimentalement et la valeur de référence.

Données utiles $c_{\text{diluée}} = 7{,}67 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q17) ; $c_{\text{ref}} = 7{,}6\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q12) ; $u(c_{\text{mes}}) = 0{,}34\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

La solution commerciale a été diluée 100 fois : $c_{\text{mes}} = 100 \times c_{\text{diluée}} = 100 \times 7{,}67 \times 10^{-2} = 7{,}67\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

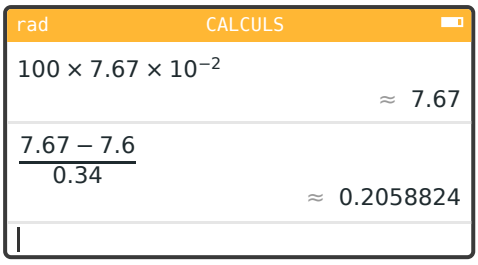
$$\frac{|c_{\text{mes}} - c_{\text{ref}}|}{u(c_{\text{mes}})} = \frac{|7{,}67 - 7{,}6|}{0{,}34} = 0{,}2$$

Le quotient vaut $0{,}2 \leqslant 2$: la concentration mesurée est compatible avec la valeur de l'étiquette.

PIÈGE
Comparer $c_{\text{diluée}}$ à la valeur de référence : il faut d'abord revenir à la solution commerciale en multipliant par le facteur de dilution 100.

COMPRENDRE
L'écart entre mesure et référence ($0{,}07\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) est bien plus petit que l'incertitude-type ($0{,}34\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) : le titrage confirme l'indication de l'étiquette.

À LA CALCULATRICE



Q19 Choisir l'indicateur coloré le plus adapté pour repérer précisément le volume équivalent. Justifier.

Données utiles zones de virage : hélianthine $3{,}1 - 4{,}4$; bleu de bromothymol $6{,}0 - 7{,}6$; bleu de thymol $8{,}0 - 9{,}6$; $\mathrm{pH}_E \approx 8{,}3$ (Q16)

Un indicateur coloré convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence.

D'après la courbe, $\mathrm{pH}_E \approx 8{,}3$: cette valeur appartient à la zone de virage du bleu de thymol $(8{,}0 - 9{,}6)$, pas à celles de l'hélianthine ni du bleu de bromothymol.

L'indicateur le plus adapté est le **bleu de thymol**.

COMPRENDRE

À l'équivalence, la solution contient la base A^- : son pH est supérieur à 7. L'hélianthine virerait bien avant l'équivalence, dès les premiers millilitres versés.

Chauffe-eau thermodynamique d'un chalet

Bac 2025 Amérique du Sud Jour 2 · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

Q1 Calculer la variation d'énergie interne ΔU de l'eau du ballon lorsque sa température passe de θ_1 à θ_2.

Données utiles $V = 200\ \text{L}$; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00\ \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$; $c_{\text{eau}} = 4{,}18\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$; $\theta_1 = 15\ ^\circ\text{C}$; $\theta_2 = 55\ ^\circ\text{C}$

Système {eau du ballon}, liquide incompressible, de masse $m = \rho_{\text{eau}} V = 1{,}00 \times 200 = 200$ kg.

$$\Delta U = m\, c_{\text{eau}}\, (\theta_2 - \theta_1)$$

$$\Delta U = 200 \times 4{,}18 \times (55 - 15) = 3{,}3 \times 10^4\ \text{kJ}$$

$\Delta U = 3{,}3 \times 10^4\ \text{kJ} = 3{,}3 \times 10^7\ \text{J}$

PIÈGE
c_{eau} est donnée en kJ : le résultat sort en kJ, pas en J. Ne pas convertir les températures en kelvins une seule des deux.

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en °C et en K : $\theta_2 - \theta_1 = 40\ ^\circ\text{C} = 40$ K. Deux chiffres significatifs, comme les températures ; on garde $33\,440$ kJ pour les calculs suivants.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$200 \times 4.18 \times (55 - 15)$
$\approx$ 33440

Q2 Indiquer le principal mode de transfert thermique à l'origine du flux à travers la paroi du ballon, ainsi que son sens.

La paroi du ballon est un solide : le transfert thermique s'y fait principalement par **conduction**.

Un transfert thermique a lieu spontanément du corps chaud vers le corps froid : ici de l'eau ($55\ ^\circ\text{C}$) vers l'air du garage ($18\ ^\circ\text{C}$).

Conduction thermique, de l'eau chaude vers l'air du garage.

COMPRENDRE
Trois modes de transfert thermique : conduction (dans un solide, sans déplacement de matière), convection (fluide en mouvement), rayonnement (ondes électromagnétiques, possible dans le vide).

Q3 Calculer le flux thermique Φ à travers la paroi du ballon, entre l'eau à θ_2 et l'air du garage.

Données utiles $\theta_2 = 55\ ^\circ\text{C}$; $\theta_{\text{air}} = 18\ ^\circ\text{C}$; $R_{\text{th}} = 0{,}47\ ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$

$$\Phi = \frac{\theta_2 - \theta_{\text{air}}}{R_{\text{th}}} = \frac{55 - 18}{0{,}47} = 79\ \text{W}$$

$\Phi = 79\ \text{W}$

PIÈGE
Prendre $\theta_1 = 15\ ^\circ\text{C}$ ou l'écart $\theta_2 - \theta_1$: le flux étudié traverse la paroi entre l'eau chaude et l'air du garage, à $18\ ^\circ\text{C}$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\frac{55 - 18}{0.47}$
$\approx$ 78.7234

Q4 Montrer que l'énergie thermique Q_1 échangée entre l'eau du ballon et l'air du garage en une journée vaut $6{,}8 \times 10^3$ kJ.

Données utiles $\Phi = 78{,}7$ W (Q3) ; $\Delta t = 24$ h

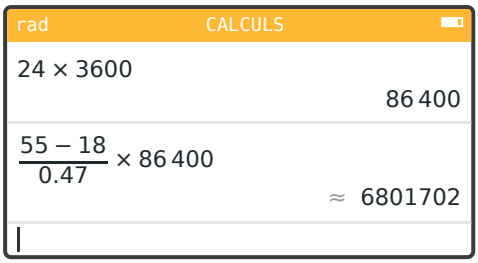
Le flux thermique est une puissance : $\Phi = \dfrac{Q_1}{\Delta t}$, donc $Q_1 = \Phi\, \Delta t$, avec $\Delta t = 24 \times 3\,600 = 86\,400$ s.

$$Q_1 = 78{,}7 \times 86\,400 = 6{,}8 \times 10^6\ \text{J}$$

$Q_1 = 6{,}8 \times 10^3$ kJ, valeur attendue.

PIÈGE
Laisser la durée en heures : des watts multipliés par des heures donnent des W·h, pas des joules.

À LA CALCULATRICE



COMPRENDRE
Ce calcul suppose que l'eau reste à $55\ °C$ toute la journée : le flux est alors constant. Q_1 est ici la valeur positive de l'énergie perdue par l'eau.

Q5 En appliquant le premier principe à l'eau du ballon, exprimer l'énergie thermique Q_2 nécessaire pour chauffer chaque jour l'eau de θ_1 à θ_2 en fonction de ΔU et Q_1.

Système {eau du ballon}, au repos, incompressible : aucun travail n'est échangé ($W = 0$).

Premier principe : $\Delta U = W + Q = Q$, où Q est la somme des transferts thermiques reçus par l'eau.

L'eau reçoit Q_2 du fluide caloporteur et cède Q_1 à l'air du garage (Q_1 et Q_2 étant des valeurs positives) : $\Delta U = Q_2 - Q_1$.

$$Q_2 = \Delta U + Q_1$$

PIÈGE
Écrire $Q_2 = \Delta U - Q_1$. Une énergie cédée par le système se compte négativement dans le bilan : c'est $-Q_1$ qui figure dans ΔU.

COMPRENDRE
Il faut fournir à l'eau l'énergie qui élève sa température, plus celle qui s'échappe par la paroi : Q_2 est supérieure à ΔU.

Q6 Montrer que la valeur de l'énergie thermique Q_2 est voisine de 11 kW·h.

Données utiles $\Delta U = 33\,440$ kJ (Q1) ; $Q_1 = 6{,}8 \times 10^3$ kJ (Q4) ; $1\ \text{W} \cdot \text{h} = 3\,600$ J

$$Q_2 = \Delta U + Q_1 = 33\,440 + 6{,}8 \times 10^3 = 4{,}0 \times 10^4\ \text{kJ}$$

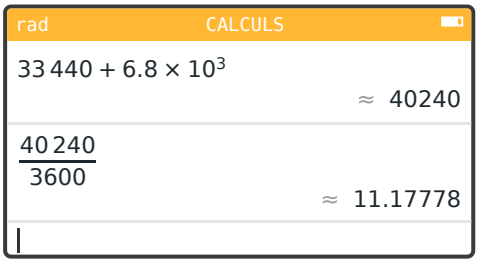
Or $1\ \text{kW} \cdot \text{h} = 3\,600$ kJ :

$$Q_2 = \frac{40\,240}{3\,600} = 11{,}2\ \text{kW} \cdot \text{h}$$

$Q_2 = 11{,}2\ \text{kW} \cdot \text{h} \approx 11\ \text{kW} \cdot \text{h}$, valeur attendue.

MÉTHODE
$1\ \text{W} \cdot \text{h} = 3\,600$ J, donc $1\ \text{kW} \cdot \text{h} = 3\,600$ kJ $= 3{,}6 \times 10^6$ J. Pour passer des kJ aux kW·h, on divise par $3\,600$.

À LA CALCULATRICE



Q7 Calculer l'énergie électrique E_{PAC} consommée par la pompe à chaleur pour chauffer quotidiennement l'eau du ballon.

Données utiles $Q_2 = 11{,}2\ \text{kW} \cdot \text{h}$ (Q6) ; $\text{COP} = 3{,}2$

L'énergie utile est le transfert thermique cédé à l'eau, Q_2 (transfert sans perte) :

$$\text{COP} = \frac{Q_2}{E_{PAC}} \quad \text{donc} \quad E_{PAC} = \frac{Q_2}{\text{COP}}$$

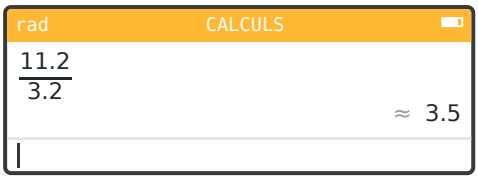
$$E_{PAC} = \frac{11{,}2}{3{,}2} = 3{,}5\ \text{kW} \cdot \text{h}$$

$E_{PAC} = 3{,}5\ \text{kW} \cdot \text{h}$

PIÈGE
Multiplier par le COP : on obtiendrait 36 kW·h, plus que l'énergie fournie à l'eau. L'énergie électrique consommée est toujours inférieure à l'énergie utile.

COMPRENDRE
Un COP de 3,2 signifie que la pompe fournit à l'eau 3,2 fois plus d'énergie qu'elle n'en consomme : la différence est prélevée dans l'air ambiant. Avec la valeur arrondie $Q_2 = 11\ \text{kW} \cdot \text{h}$, on trouve $3{,}4\ \text{kW} \cdot \text{h}$.

À LA CALCULATRICE



Q8 Calculer, en kW·h, l'énergie électrique produite par les panneaux pour une journée d'ensoleillement moyen et vérifier que l'installation couvre la consommation quotidienne totale du chalet.

Données utiles $N = 10$ panneaux ; $P_{\text{elec}} = 300$ W ; $\Delta t = 5$ h ; consommation hors PAC : $8\ \text{kW}\cdot\text{h}$; $E_{PAC} = 3{,}5\ \text{kW}\cdot\text{h}$ (Q7)

Énergie produite en une journée :

$$E_{\text{prod}} = N\,P_{\text{elec}}\,\Delta t = 10 \times 0{,}300 \times 5 = 15\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

Consommation quotidienne totale :

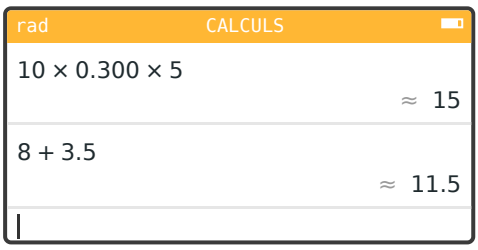
$$E_{\text{conso}} = 8 + E_{PAC} = 8 + 3{,}5 = 11{,}5\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

$E_{\text{prod}} = 15\ \text{kW}\cdot\text{h} > E_{\text{conso}} \approx 12\ \text{kW}\cdot\text{h}$: l'installation est suffisante.

PIÈGE
Oublier le nombre de panneaux, ou comparer la production à la seule consommation de la pompe à chaleur en oubliant les $8\ \text{kW}\cdot\text{h}$ du reste du chalet.

MÉTHODE
Pour obtenir directement des kW·h, on exprime la puissance en kW et la durée en heures : $E = P\,\Delta t$, sans passer par les joules.

À LA CALCULATRICE



Q9 Indiquer le type d'atténuation sonore mis en œuvre par l'isolation phonique du garage.

Le matériau isolant absorbe une partie de l'énergie de l'onde sonore qui le traverse.

Il s'agit d'une atténuation **par absorption**.

COMPRENDRE
Deux types d'atténuation : géométrique (l'intensité diminue quand on s'éloigne de la source, la puissance se répartissant sur une surface plus grande) et par absorption (par le milieu ou le matériau traversé).

Q10 Indiquer si les vacanciers situés à la distance d_2 du chauffe-eau seront gênés par son fonctionnement.

Données utiles $d_1 = 0{,}10$ m ; $L_1 = 70$ dB ; $d_2 = 5{,}00$ m ; atténuation de l'isolation : 25 dB ; niveau conseillé : 30 dB au plus ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2}

Intensité sonore à la distance d_1. $L_1 = 10\log\left(\dfrac{I_1}{I_0}\right)$ donc $I_1 = I_0 \times 10^{L_1/10}$:

$$I_1 = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{7{,}0} = 1{,}0 \times 10^{-5}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Puissance sonore de la source. $I_1 = \dfrac{P}{4\pi\, d_1^2}$ donc

$$P = 4\pi\, d_1^2\, I_1 = 4\pi \times 0{,}10^2 \times 1{,}0 \times 10^{-5} = 1{,}3 \times 10^{-6}\ \text{W}$$

Intensité sonore à la distance d_2, sans isolation.

$$I_2 = \frac{P}{4\pi\, d_2^2} = \frac{1{,}26 \times 10^{-6}}{4\pi \times 5{,}00^2} = 4{,}0 \times 10^{-9}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Niveau sonore à la distance d_2, sans isolation.

$$L_2 = 10\log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{4{,}0 \times 10^{-9}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right) = 36\ \text{dB}$$

Sans isolation, le niveau dépasserait les 30 dB conseillés.

Avec l'isolation phonique. $L_2' = L_2 - 25 = 36 - 25 = 11$ dB

$L_2' = 11\ \text{dB} < 30\ \text{dB}$: les vacanciers ne seront pas gênés.

PIÈGE

Les niveaux en dB ne sont pas proportionnels aux intensités : on ne divise pas 70 dB par 2 500. On passe par I, puis on revient à L. L'atténuation, elle, se soustrait en dB.

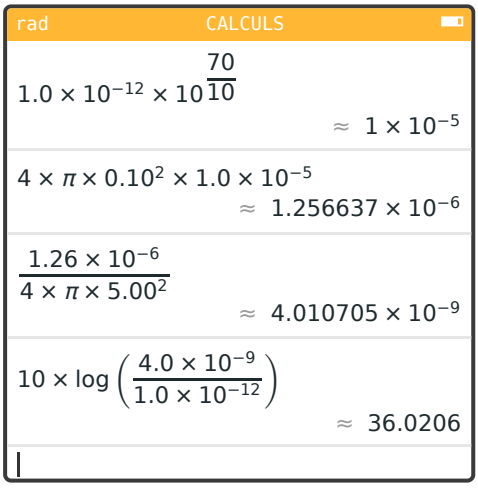
COMPRENDRE

La distance est multipliée par 50, l'intensité divisée par $50^2 = 2\,500$: c'est l'atténuation géométrique, de 34 dB. L'isolation ajoute 25 dB d'atténuation par absorption.

MÉTHODE

Vérification sans calculer P : $\dfrac{I_2}{I_1} = \left(\dfrac{d_1}{d_2}\right)^2$, donc $L_2 = L_1 - 20\log\left(\dfrac{d_2}{d_1}\right) = 70 - 34 = 36$ dB.

À LA CALCULATRICE



Cargo dirigeable

Bac 2025 Amérique du Sud Jour 2 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Montrer que la masse d'hélium embarqué dans le dirigeable est proche de $m_{He} = 32$ tonnes.

Données utiles $V = 180\,000\ \text{m}^3$; $P = 1{,}1\ \text{bar}$; $\theta = 25\ ^\circ\text{C}$; $M_{He} = 4{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $R = 8{,}314\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

L'hélium est assimilé à un gaz parfait : $PV = nRT$, donc $n = \dfrac{PV}{RT}$.

Comme $m_{He} = n\,M_{He}$: $\quad m_{He} = \dfrac{PV\,M_{He}}{RT}$

avec $P = 1{,}1 \times 10^5$ Pa et $T = 25 + 273 = 298$ K.

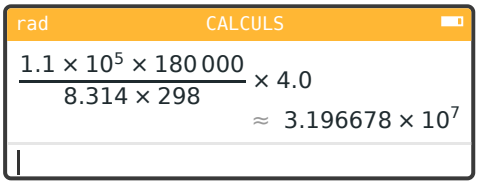
$$m_{He} = \frac{1{,}1 \times 10^5 \times 180\,000 \times 4{,}0}{8{,}314 \times 298} = 3{,}2 \times 10^7\ \text{g}$$

$m_{He} = 3{,}2 \times 10^4\ \text{kg} = 32\ \text{t}$: c'est la valeur annoncée.

PIÈGE
Laisser la pression en bar ou la température en °C. Avec M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, la masse sort en grammes : il reste à diviser par 10^6 pour l'avoir en tonnes.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme P et M_{He}, les données les moins précises du calcul.

À LA CALCULATRICE



Q2 Choisir, en justifiant, l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède $\overrightarrow{P_a}$ exercée par l'air sur le dirigeable.

La poussée d'Archimède est verticale et dirigée vers le haut, alors que $\vec{g}$ est dirigé vers le bas : $\overrightarrow{P_a}$ est de sens opposé à $\vec{g}$, d'où le signe « $-$ ».

Sa valeur est le poids du volume d'air déplacé : $m_{air}\,g = \rho_{air}\,V\,g$.

$\overrightarrow{P_a} = -\,\rho_{air}\,V\,\vec{g}$ (troisième relation)

MÉTHODE
Pour trier des relations proposées : vérifier le sens du vecteur, puis l'unité. Ici $m_{air}\,V\,g$ est en $\text{N} \cdot \text{m}^3$, ce n'est pas une force.

Q3 Calculer la valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'air sur le dirigeable à une altitude de 3000 m.

Données utiles figure 1 ; $V = 180\,000\ \text{m}^3$; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

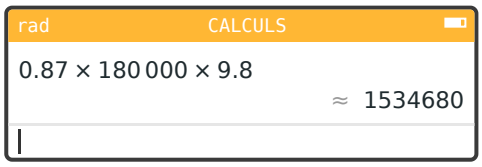
Sur la figure 1, à l'altitude 3000 m : $\rho_{air} \approx 0{,}87\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

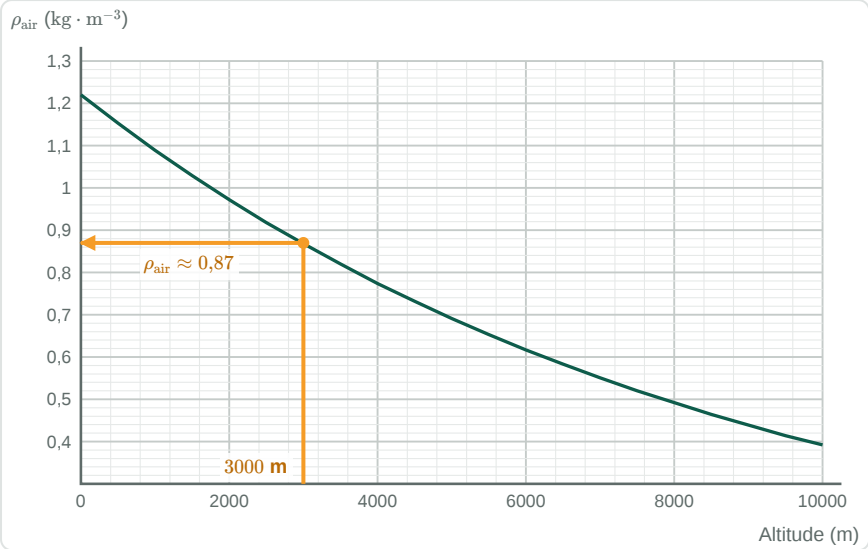
$P_a = \rho_{air}\,V\,g = 0{,}87 \times 180\,000 \times 9{,}8$

$P_a = 1{,}5 \times 10^6$ N

PIÈGE
Prendre la masse volumique au sol ($1{,}2\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ou celle de l'hélium. C'est l'air déplacé, à l'altitude du vol, qui compte.

À LA CALCULATRICE





Q3 · Figure 1 du sujet, avec la lecture à 3000 m

Q4 Préciser comment l'intensité de cette force évolue en fonction de l'altitude.

$P_a = \rho_{air}\, V\, g$, avec V et g constants : P_a est proportionnelle à ρ_{air}.
D'après la figure 1, ρ_{air} décroît lorsque l'altitude croît.

La poussée d'Archimède diminue quand l'altitude augmente.

COMPRENDRE
C'est ce qui limite l'altitude d'un ballon : il monte tant que la poussée dépasse son poids, puis se stabilise là où les deux se compensent.

Q5 À l'aide d'une loi de Newton que l'on citera, déterminer la relation entre le poids $\vec{P}$ du système et la poussée d'Archimède $\overrightarrow{P_a}$ en vol rectiligne à altitude et vitesse constantes.

Système {dirigeable} ; référentiel terrestre supposé galiléen ; forces : le poids $\vec{P}$ et la poussée d'Archimède $\overrightarrow{P_a}$.
Le mouvement est rectiligne uniforme. D'après la première loi de Newton (principe d'inertie), les forces extérieures se compensent alors : $\vec{P} + \overrightarrow{P_a} = \vec{0}$.

$\overrightarrow{P_a} = -\vec{P}$, soit en valeur $P_a = P$.

COMPRENDRE
La deuxième loi de Newton avec $\vec{a} = \vec{0}$ mène au même résultat. Les forces horizontales (propulsion, frottements de l'air) se compensent entre elles et ne sont pas demandées.

Q6 Vérifier que la charge maximale transportable par ce dirigeable à 3000 m d'altitude est proche de 60 tonnes.

Données utiles $m_d = 65$ t ; $m_{He} = 32$ t (Q1) ; $P_a = \rho_{air}\, V\, g$ avec $\rho_{air} = 0,87$ kg · m^{-3} (Q3)

Le système comprend la structure, l'hélium et la charge : $P = (m_d + m_{He} + m_{charge})\, g$.
Pour la charge maximale, le poids est juste compensé par la poussée (Q5) : $P = P_a$, soit
$(m_d + m_{He} + m_{charge})\, g = \rho_{air}\, V\, g$
$m_{charge} = \rho_{air}\, V - m_d - m_{He} = 0,87 \times 180\,000 - 65 \times 10^3 - 32 \times 10^3$

$m_{charge} = 6,0 \times 10^4$ kg $= 60$ t : la valeur annoncée est vérifiée.

PIÈGE
Oublier la masse de l'hélium, ou partir de P_a arrondie : $1,5 \times 10^6 \div 9,8$ donne 153 t puis 56 t de charge. Une différence amplifie l'arrondi, on garde la valeur non arrondie.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$0.87 \times 180\,000 - 32 \times 10^3 - 65 \times 10^3$
$\approx$ 59600

Q7 En exploitant la conservation du débit volumique, montrer que la vitesse d'écoulement v_A en A est négligeable par rapport à la vitesse v_B en B.

Données utiles $d_A = 3{,}0$ m ; $d_B = 15$ cm

L'eau est incompressible et l'écoulement permanent : le débit volumique est le même en A et en B.

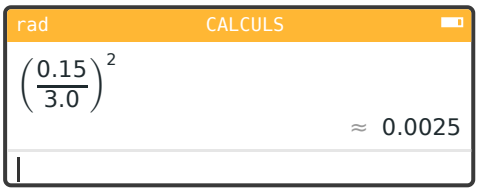
$v_A\,S_A = v_B\,S_B$ avec $S = \pi\,\dfrac{d^2}{4}$, donc $\dfrac{v_A}{v_B} = \dfrac{S_B}{S_A} = \left(\dfrac{d_B}{d_A}\right)^2$

$$\frac{v_A}{v_B} = \left(\frac{0{,}15}{3{,}0}\right)^2 = 2{,}5 \times 10^{-3}$$

$v_A = 2{,}5 \times 10^{-3}\,v_B$, soit $v_B = 400\,v_A$: v_A est négligeable devant v_B.

PIÈGE
Garder d_B en centimètres, ou oublier le carré : le rapport des vitesses est celui des sections, pas celui des diamètres.

À LA CALCULATRICE



Q8 En appliquant la relation de Bernoulli entre A et B, les pressions en A et B étant égales à la pression atmosphérique, montrer que $v_B = \sqrt{2\,g\,H}$.

Relation de Bernoulli sur la ligne de courant entre A et B :

$$P_A + \frac{1}{2}\rho\,v_A^2 + \rho\,g\,z_A = P_B + \frac{1}{2}\rho\,v_B^2 + \rho\,g\,z_B$$

Or $P_A = P_B = P_{\text{atm}}$, et v_A est négligeable devant v_B (Q7), donc $v_A^2 \ll v_B^2$. Il reste :

$\rho\,g\,z_A = \dfrac{1}{2}\rho\,v_B^2 + \rho\,g\,z_B$, soit $v_B^2 = 2\,g\,(z_A - z_B)$.

D'après la figure 2, $z_A - z_B = H$.

$v_B^2 = 2\,g\,H$, donc $v_B = \sqrt{2\,g\,H}$

MÉTHODE
Bernoulli en trois temps : écrire la relation complète entre les deux points, justifier chaque terme supprimé (pressions égales, vitesse négligeable), puis isoler la grandeur cherchée.

Q9 Déterminer la durée minimale de la vidange de l'eau nécessaire au chargement du morceau de bois. Commenter le résultat obtenu.

Données utiles $m_{\text{bois}} = 8\ \text{t}$; $\rho_{\text{eau}} = 1000\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $H = 30\ \text{m}$; $d_B = 0{,}15\ \text{m}$; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Pour rester immobile, le dirigeable évacue une masse d'eau égale à celle de la charge : $m_{\text{eau}} = 8 \times 10^3\ \text{kg}$, soit un volume

$$V_{\text{eau}} = \frac{m_{\text{eau}}}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{8 \times 10^3}{1000} = 8\ \text{m}^3$$

Vitesse de sortie (Q8) : $v_B = \sqrt{2 \times 9{,}8 \times 30} = 24{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Débit en B : $D_V = v_B\, S_B = v_B\, \pi \dfrac{d_B^2}{4} = 24{,}2 \times \pi \times \dfrac{0{,}15^2}{4} = 0{,}43\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

Or $D_V = \dfrac{V_{\text{eau}}}{\Delta t}$, donc $\Delta t = \dfrac{V_{\text{eau}}}{D_V} = \dfrac{8}{0{,}43}$

$$\boxed{\Delta t \approx 19\ \text{s}}$$

Commentaire : cette durée est très inférieure aux « quelques minutes » visées, la solution convient. C'est une durée minimale : le modèle ignore les frottements de l'eau dans la conduite, qui réduisent la vitesse de sortie ; la vidange réelle est plus longue.

PIÈGE
Calculer le débit avec la section du réservoir au lieu de celle de la sortie B, ou s'arrêter au résultat : le commentaire est demandé et noté.

COMPRENDRE
Vider $8\ \text{m}^3$ abaisse le niveau du réservoir d'environ 1,1 m seulement, très peu devant $H = 30$ m : v_B reste quasi constante, le régime permanent est justifié.

À LA CALCULATRICE

