Corrigé complet — Bac S 2020 Métropole remplacement (ancien programme)

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

Ex 1	**De la citronnelle des indes à l'époxycitral** Extraction et décantation · Distillation fractionnée · Couple acide/base et domaine de prédominance · Formule semi-développée · Spectroscopie RMN du proton · Rendement d'une synthèse	4 pts	50 min	8 questions	p. 2
Ex 2	**Mesurer la profondeur de l'eau** Lois de Newton · Poussée d'Archimède · Écho et célérité d'une onde · Spectre électromagnétique · Exploitation de graphiques	11 pts	2 h	13 questions	p. 6
Ex 3	**Dosage de l'ammoniac dans un produit ménager** Extraction d'un gaz dissous · Masse volumique · Couples acide-base · Titrage conductimétrique · Équivalence · Pourcentage massique	5 pts	55 min	7 questions	p. 11
Ex 4	**Spécialité : Lampes à carbure de calcium** Équation de réaction · Quantité de matière · Proportions stœchiométriques · Volume molaire d'un gaz · Masse volumique · Résolution de problème	5 pts	55 min	2 questions	p. 16

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

De la citronnelle des indes à l'époxycitral

Bac S 2020 Métropole remplacement (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Schématiser l'ampoule à décanter et indiquer, en justifiant, les deux phases présentes et leur composition.

Données utiles masses volumiques à 20 °C : citral $0{,}89\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; myrcène $0{,}79\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; solubilité dans l'eau très faible pour les deux

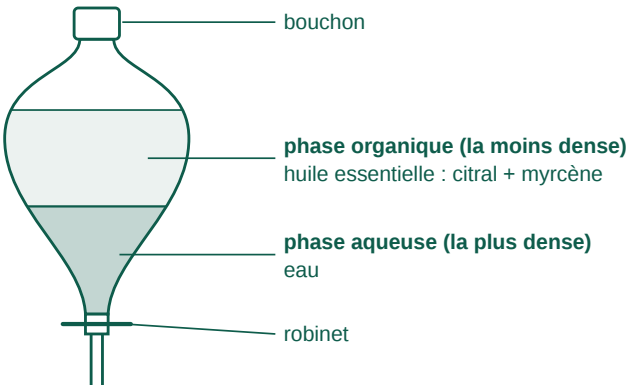
Le citral et le myrcène sont très peu solubles dans l'eau : l'huile essentielle et l'eau ne se mélangent pas et forment deux phases.

Le citral ($0{,}89\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) et le myrcène ($0{,}79\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) sont tous deux moins denses que l'eau ($1{,}00\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) : leur mélange l'est aussi, il surnage.

Phase supérieure : phase organique (huile essentielle, citral + myrcène). Phase inférieure : phase aqueuse (eau).

PIÈGE
Placer la phase organique en bas par habitude. La position des phases se justifie toujours en comparant les masses volumiques ; celle de l'eau, $1{,}00\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, est à connaître.

MÉTHODE
Deux arguments sont attendus : la solubilité (pourquoi il y a deux phases) puis la masse volumique (laquelle est au-dessus). Un schéma sans légende ne rapporte rien.



1.1 · Ampoule à décanter : les deux phases et leur composition

1.2 Nommer les éléments du montage de distillation fractionnée numérotés de 1 à 4.

1 : support élévateur ; 2 : chauffe-ballon ; 3 : thermomètre ; 4 : réfrigérant droit (à eau).

COMPRENDRE
Le tube vertical garni placé entre le ballon et le thermomètre, non numéroté, est la colonne de distillation (colonne de Vigreux) : c'est elle qui distingue une distillation fractionnée d'une distillation simple.

1.3 Expliquer le rôle des éléments 1 et 4 du montage.

Élément 1 (support élévateur) : il maintient le chauffe-ballon sous le ballon et permet de l'abaisser rapidement pour arrêter le chauffage, en cas d'emballement de l'ébullition ou en fin de distillation.

Élément 4 (réfrigérant droit) : parcouru par de l'eau froide, il refroidit les vapeurs qui sortent en tête de colonne ; elles se liquéfient et le liquide obtenu (le distillat) s'écoule dans l'erlenmeyer.

1 : retirer rapidement le chauffage (sécurité). 4 : liquéfier les vapeurs pour recueillir le distillat.

PIÈGE
Écrire que le réfrigérant « refroidit le mélange » ou « évite les pertes » : ce serait le rôle d'un réfrigérant à reflux, vertical. Ici il est incliné et conduit le liquide vers le récipient de récupération.

1.4 Identifier, en justifiant, l'espèce chimique recueillie en premier dans l'erlenmeyer.

Données utiles températures d'ébullition : myrcène 167 °C ; citral 229 °C

Lors d'une distillation fractionnée, l'espèce la plus volatile, celle dont la température d'ébullition est la plus basse, atteint la première le haut de la colonne et passe dans le réfrigérant.

Or $167\ ^\circ\text{C} < 229\ ^\circ\text{C}$.

Le myrcène est recueilli en premier ; le citral reste dans le ballon.

COMPRENDRE
Le thermomètre en tête de colonne indique environ 167 °C tant que le myrcène distille. Une hausse de température signale qu'il faut changer de récipient.

2.1 Indiquer pourquoi le milieu réactionnel doit être très basique, avec un pH proche de 14, pour réaliser la synthèse de l'époxycitral.

Données utiles couple $H_2O_2\,(aq)$ / $HO_2^-\,(aq)$: $pK_A = 11{,}7$ à 20 °C

Le réactif de la synthèse est l'ion HO_2^-, base conjuguée du peroxyde d'hydrogène H_2O_2 que l'on introduit.

La base d'un couple prédomine sur son acide lorsque $pH > pK_A$. Ici $pH \approx 14 > pK_A = 11{,}7$: HO_2^- prédomine très largement sur H_2O_2.

Les ions hydroxyde apportés par la soude transforment H_2O_2 en HO_2^- :

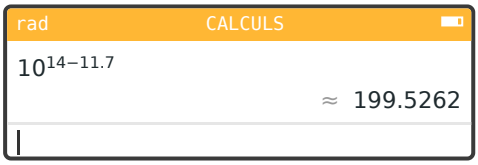
$$H_2O_2\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow HO_2^-\,(aq) + H_2O\,(l)$$

À pH proche de 14, supérieur à $pK_A = 11{,}7$, le peroxyde d'hydrogène est sous sa forme basique HO_2^-, qui est le réactif de la synthèse.

COMPRENDRE
De $pH = pK_A + \log \dfrac{[HO_2^-]}{[H_2O_2]}$ on tire, à pH 14, un rapport $10^{2,3} \approx 200$: presque tout le peroxyde d'hydrogène est converti en HO_2^-.

MÉTHODE
Pour toute question « pourquoi ce pH », tracer l'axe de pH, y placer le pK_A (acide à gauche, base à droite) et repérer l'espèce utile à la réaction.

À LA CALCULATRICE



2.2 Représenter la formule semi-développée de l'époxycitral.

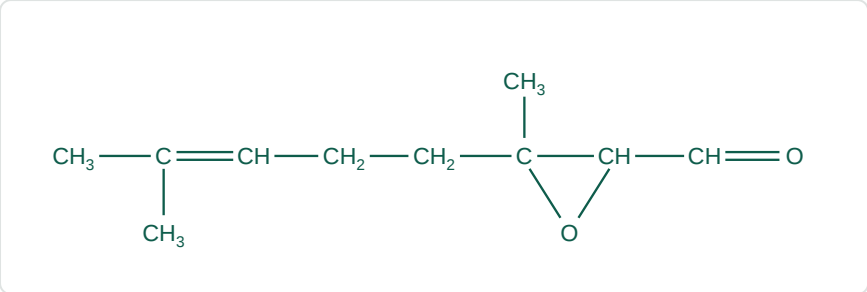
Dans la formule topologique, chaque sommet ou extrémité de trait est un atome de carbone, complété par des atomes d'hydrogène jusqu'à quatre liaisons.

Vérification : la formule obtenue compte 10 C, 16 H et 2 O, soit $C_{10}H_{16}O_2$, comme dans le tableau de données.

$(CH_3)_2C{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}C(CH_3){-}CH{-}CH{=}O$, un atome O pontant les atomes $C(CH_3)$ et CH voisins (cycle époxyde à trois atomes) : voir le schéma.

PIÈGE
Oublier l'atome d'hydrogène porté par le carbone du groupe aldéhyde, ou en ajouter un sur le carbone du cycle qui porte déjà le groupe CH_3 : il a ses quatre liaisons.

MÉTHODE
Toujours recompter les atomes et comparer à la formule brute donnée : c'est une vérification gratuite d'une formule semi-développée.



2.2 · Formule semi-développée de l'époxycitral

2.3 Attribuer, en justifiant avec deux arguments, les doublets n°1 et n°2 du spectre RMN aux groupes de protons équivalents de l'époxycitral.

Données utiles table : proton d'un cycle époxyde 3 – 3,5 ppm ; proton $\mathrm{CH{=}O}$ 9 – 10 ppm ; lecture du spectre : doublet n°1 vers 3,2 ppm, doublet n°2 vers 9,5 ppm

Argument 1, le déplacement chimique. Le doublet n°2, vers 9,5 ppm, se situe dans l'intervalle 9 – 10 ppm : c'est le proton du groupe aldéhyde $\mathrm{CH{=}O}$. Le doublet n°1, vers 3,2 ppm, se situe dans l'intervalle 3 – 3,5 ppm : c'est le proton porté par le carbone du cycle époxyde.

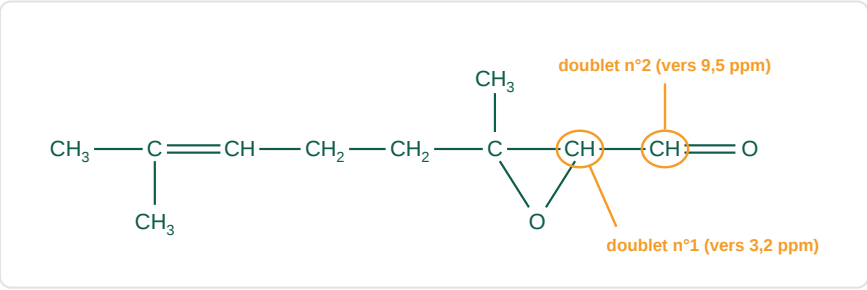
Argument 2, la multiplicité. Un groupe de protons ayant n protons voisins donne un signal de $n+1$ pics ; un doublet correspond à $n=1$.

- Le proton de l'aldéhyde a pour seul voisin le proton du CH de l'époxyde : doublet.
- Le proton du CH de l'époxyde a pour seul voisin le proton de l'aldéhyde, car l'autre carbone du cycle ne porte aucun atome d'hydrogène : doublet.

Doublet n°1 : proton du CH du cycle époxyde. Doublet n°2 : proton du groupe aldéhyde $\mathrm{CH{=}O}$.

PIÈGE
Compter comme voisins les protons du groupe $\mathrm{CH_3}$ fixé sur le cycle : ils sont séparés du CH par plus de trois liaisons. Les voisins sont les protons portés par les carbones directement liés.

COMPRENDRE
La spectroscopie RMN du proton n'est plus au programme actuel de la spécialité de terminale (seule la spectroscopie infrarouge y figure). Cette question relève de l'ancien programme de terminale S.



2.3 · Les deux protons responsables des doublets (en orange)

2.4 Déterminer la valeur du rendement de la synthèse effectuée, sachant que les ions HO_2^- sont en excès dans le mélange réactionnel.

Données utiles $V_C = 1{,}0$ mL de citral ; $\rho_C = 0{,}89\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; $M_C = 152\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_e = 168\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $m_e = 0{,}95$ g

Les ions HO_2^- étant en excès, le citral est le réactif limitant.

Quantité de citral introduite :

$$n_C = \frac{\rho_C\, V_C}{M_C} = \frac{0{,}89 \times 1{,}0}{152} = 5{,}9 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

D'après l'équation, une mole de citral donne une mole d'époxycitral : $n_{\max} = n_C$. La masse maximale d'époxycitral est donc

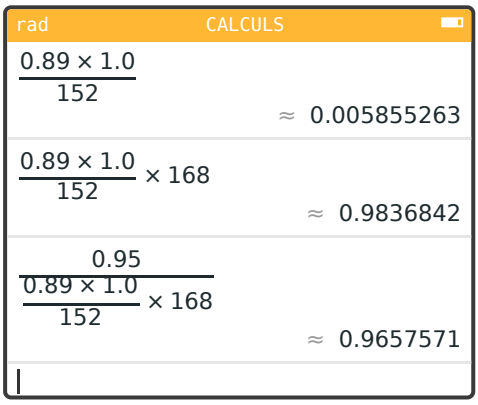
$$m_{\max} = n_C \times M_e = \frac{0{,}89 \times 1{,}0}{152} \times 168 = 0{,}98\ \text{g}$$

Rendement :

$$\eta = \frac{m_e}{m_{\max}} = \frac{0{,}95}{0{,}98} = 0{,}97$$

$\eta \approx 0{,}97$, soit un rendement d'environ 97 %.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Utiliser le volume et la concentration du peroxyde d'hydrogène : ce réactif est en excès ($9{,}8 \times 2{,}0 \times 10^{-3} = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol contre $5{,}9 \times 10^{-3}$ mol de citral), il ne fixe pas la quantité maximale de produit.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme V_C, ρ_C et m_e. Les valeurs intermédiaires sont gardées dans la calculatrice : arrondir trop tôt décale le dernier chiffre du rendement.

MÉTHODE

Rendement : 1) réactif limitant ; 2) quantité maximale de produit d'après l'équation ; 3) rapport de la quantité (ou de la masse) obtenue à la quantité maximale. Un rendement dépasse 1 : erreur de calcul.

Mesurer la profondeur de l'eau

Bac S 2020 Métropole remplacement (ancien programme) · Exercice 2 **11 points** **Durée conseillée 2 h**

1.1.1 Effectuer le bilan des forces extérieures qui s'exercent sur le lest, hors de l'eau, corde tendue.

Système {lest}, dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen. Les actions de l'air sont négligées.

- Le poids $\vec{P}$: vertical, vers le bas, de norme $P = m\,g$.
- La tension de la corde $\vec{T}$: verticale, vers le haut.

Deux forces : le poids $\vec{P}$ et la tension $\vec{T}$ de la corde.

MÉTHODE
Un bilan de forces commence par le système et le référentiel. Chaque force est ensuite décrite par sa direction, son sens et, si possible, sa norme.

1.1.2 À l'aide d'une des lois de Newton, déterminer la norme de la tension de la corde. La valeur mesurée par le capteur lors de la première mesure est-elle cohérente ?

Données utiles $m = 100$ g ; $g = 9{,}81$ m · s^{-2} ; figure 2 : $T_{\text{mes}} = 985$ mN

Le lest est immobile dans un référentiel galiléen. D'après la première loi de Newton (principe d'inertie), les forces se compensent :

$$\vec{P} + \vec{T} = \vec{0} \quad \text{donc} \quad T = P = m\,g$$

$T = 0{,}100 \times 9{,}81 = 0{,}981$ N $= 981$ mN

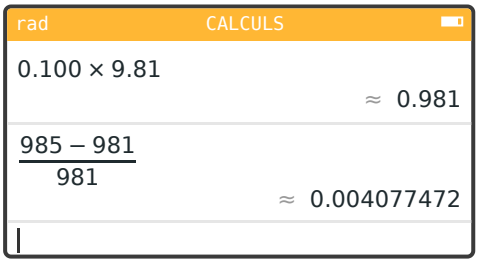
Le capteur indique 985 mN pour les premières mesures : l'écart relatif est $\dfrac{985 - 981}{981} = 0{,}4$ %.

$T = 0{,}981$ N ; la valeur mesurée (985 mN) est cohérente, à 0,4 % près.

PIÈGE
Laisser la masse en grammes : $100 \times 9{,}81$ ne donne pas des newtons. Il faut $m = 0{,}100$ kg.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme m et g. « Cohérent » se justifie par un écart chiffré, pas par une impression.

À LA CALCULATRICE



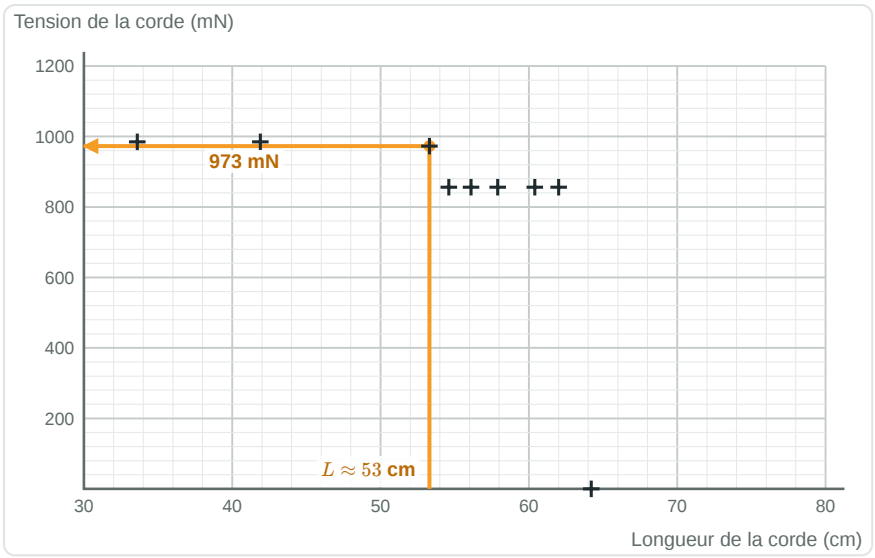
1.1.3 Exploiter la figure 2 pour estimer la longueur de la corde pour laquelle le lest touche la surface de l'eau.

Tant que le lest est hors de l'eau, la tension reste égale au poids : 985 mN jusqu'à $L = 41{,}9$ cm.

Pour $L = 53{,}3$ cm, la tension vaut 973 mN : elle a commencé à diminuer, le lest vient d'entrer dans l'eau. Dès la mesure suivante, elle est tombée à 856 mN.

Le lest touche la surface de l'eau pour $L \approx 53$ cm.

COMPRENDRE
Dès que le bas du lest est dans l'eau, la poussée d'Archimède soulage la corde : la tension baisse. La première baisse repère donc la surface.



1.1.3 · Figure 2 du sujet : la tension commence à baisser vers 53 cm

1.2.1 Indiquer à quelle nouvelle force le lest est soumis lorsqu'il est entièrement sous la surface de l'eau.

L'eau exerce sur le lest immergé une force verticale, dirigée vers le haut.

La nouvelle force est la poussée d'Archimède $\overrightarrow{F_A}$.

1.2.2 Exploiter la figure 2 pour déterminer la valeur de cette nouvelle force. Déterminer le volume du lest et en déduire s'il est entièrement constitué de plomb ou non.

Données utiles figure 2 : 985 mN hors de l'eau, 856 mN lest immergé ; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $\rho_{\text{plomb}} = 1{,}14 \times 10^4\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $m = 100$ g ; $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Valeur de la poussée d'Archimède. Le lest immergé est immobile, soumis à $\overrightarrow{P}$ (vers le bas), $\overrightarrow{T'}$ et $\overrightarrow{F_A}$ (vers le haut). D'après la première loi de Newton : $T' + F_A = P$, donc $F_A = P - T'$.

Hors de l'eau, le capteur mesure le poids : $P = 985$ mN. Dans l'eau, il mesure $T' = 856$ mN.

$F_A = 985 - 856 = 129\ \text{mN} = 0{,}129\ \text{N}$

Volume du lest. Le lest est entièrement immergé, donc $V_{\text{immergé}} = V$ et $F_A = \rho_{\text{eau}}\, V\, g$:

$$V = \frac{F_A}{\rho_{\text{eau}}\, g} = \frac{0{,}129}{1{,}00 \times 10^3 \times 9{,}81} = 1{,}31 \times 10^{-5}\ \text{m}^3$$

Comparaison. Un lest de 100 g entièrement en plomb aurait pour volume :

$$V_{\text{plomb}} = \frac{m}{\rho_{\text{plomb}}} = \frac{0{,}100}{1{,}14 \times 10^4} = 8{,}77 \times 10^{-6}\ \text{m}^3$$

Le volume mesuré est 1,5 fois plus grand.

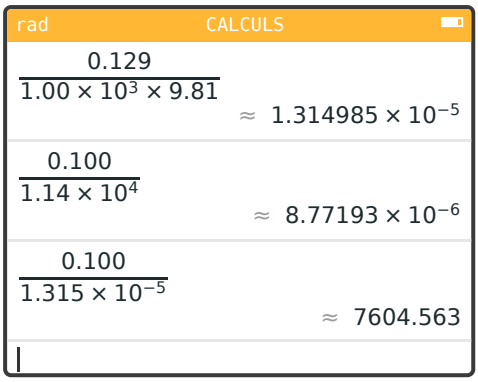
$F_A = 0{,}129$ N ; $V = 1{,}31 \times 10^{-5}\ \text{m}^3$ (13,1 cm³) $> V_{\text{plomb}} = 8{,}77 \times 10^{-6}\ \text{m}^3$: le lest n'est pas entièrement en plomb.

PIÈGE
Prendre la masse volumique du plomb dans la poussée d'Archimède. C'est celle du fluide déplacé, ici l'eau.

COMPRENDRE
Autre lecture : la masse volumique moyenne du lest, $m/V \approx 7{,}6 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, est inférieure à celle du plomb. Il contient un matériau moins dense ou une cavité.

COMPRENDRE
Avec le poids calculé (981 mN) au lieu du poids mesuré, on trouve $F_A = 125$ mN et $V = 1{,}27 \times 10^{-5}\ \text{m}^3$: la conclusion est la même.

À LA CALCULATRICE



1.2.3 Quelle est la situation représentée par le point P de la figure 2 ? Justifier.

Au point P ($L = 64{,}2$ cm), la tension est nulle. D'après l'énoncé, une tension nulle signifie que la corde n'est plus tendue.

Le lest n'est donc plus retenu par la corde : il repose sur le fond du récipient, qui exerce sur lui une force de réaction vers le haut.

Au point P, le lest est posé sur le fond de l'eau et la corde est détendue.

COMPRENDRE
C'est exactement ce que guette le marin : la corde mollit quand le lest touche le fond.

1.2.4 Estimer la valeur de la profondeur h de l'eau.

Données utiles $L \approx 53$ cm à la surface (1.1.3) ; figure 2 : lest encore suspendu pour $L = 62{,}0$ cm, posé sur le fond pour $L = 64{,}2$ cm

Entre l'instant où le lest touche la surface et celui où il touche le fond, il est descendu de la profondeur h : $h = L_{\text{fond}} - L_{\text{surface}}$.

Le lest atteint le fond pour une longueur comprise entre 62,0 cm (corde encore tendue) et 64,2 cm (corde détendue), et la surface pour $L_{\text{surface}} \approx 53$ cm :

$62{,}0 - 53 = 9 \text{ cm} \leqslant h \leqslant 64{,}2 - 53 \approx 11 \text{ cm}$

$h \approx 10$ cm (entre 9 cm et 11 cm).

COMPRENDRE
Le point P ne donne qu'un majorant : à 64,2 cm la corde est déjà détendue, le fond a été touché un peu avant. D'où une estimation et non une valeur précise.

2.1 Associer une simulation à chacun des points A, B et C du fond marin. Justifier.

Les ondes se propagent à la même célérité vers les deux récepteurs : le récepteur le plus proche du point qui diffuse reçoit le signal en premier.

- B est à égale distance de R₁ et R₂ : les deux signaux arrivent à la même date. C'est la simulation 1.
- A est plus proche de R₁ que de R₂ : R₁ reçoit le signal avant R₂. C'est la simulation 2.
- C est plus proche de R₂ que de R₁ : R₂ reçoit le signal avant R₁. C'est la simulation 3.

A : simulation 2 ; B : simulation 1 ; C : simulation 3.

MÉTHODE
À célérité égale, un retard traduit une différence de distance : $\tau = \frac{d_2 - d_1}{v}$. Comparer les dates d'arrivée revient à comparer les distances.

2.2 En déduire la valeur de la profondeur h du fond de l'eau sous le sonar, les distances EB, R_1B et R_2B étant considérées comme égales.

Données utiles $\Delta t_S = 27{,}7$ ms ; $v = 1{,}53\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$; $\alpha = 30^\circ$

Pendant la durée Δt_S, l'onde effectue le trajet aller E → B puis le retour B → R, soit la distance $2\,EB$:

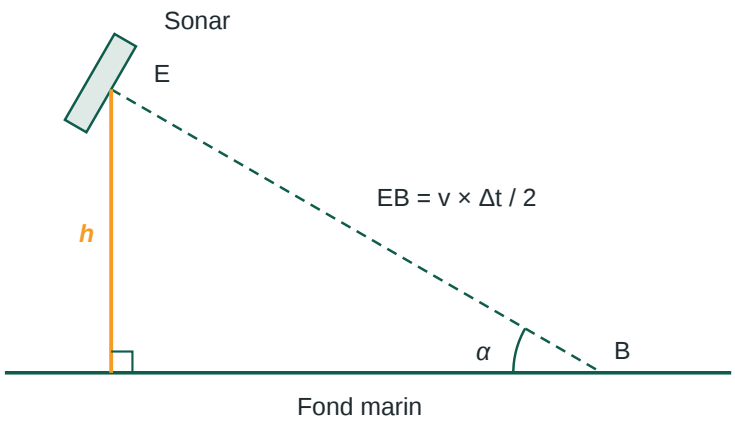
$$EB = \frac{v\,\Delta t_S}{2} = \frac{1{,}53 \times 10^3 \times 27{,}7 \times 10^{-3}}{2} = 21{,}2\ \text{m}$$

Sur la figure 3, dans le triangle rectangle d'hypoténuse EB, la profondeur h est le côté opposé à l'angle α de sommet B :

$$\sin\alpha = \frac{h}{EB} \quad \text{donc} \quad h = EB \times \sin\alpha = \frac{v\,\Delta t_S}{2}\sin\alpha$$

$$h = 21{,}2 \times \sin(30^\circ) = 10{,}6\ \text{m}$$

$h = 10{,}6$ m, soit environ 11 m.

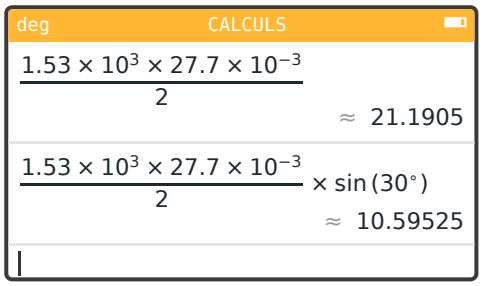


2.2 · Figure 3 simplifiée : h est le côté opposé à l'angle α de sommet B

PIÈGE
Deux erreurs classiques : oublier l'aller-retour (ne pas diviser par 2) et écrire $h = EB\cos\alpha$. L'angle α de sommet B est entre le fond et EB : h lui est opposé.

COMPRENDRE
Le sonar est incliné de α par rapport à la verticale ; EB, perpendiculaire au sonar, est donc inclinée de α par rapport à l'horizontale. C'est le même angle qui se retrouve en B.

À LA CALCULATRICE



3.1.1 Dans quel domaine du spectre électromagnétique les ondes émises par le LASER ($\lambda = 1{,}064\ \mu\text{m}$) sont-elles situées ? Justifier.

$\lambda = 1{,}064\ \mu\text{m} = 1\,064$ nm.

Le domaine visible s'étend d'environ 400 nm (violet) à 800 nm (rouge). Ici $\lambda > 800$ nm.

Ces ondes appartiennent au domaine de l'infrarouge.

PIÈGE
Une réponse sans la comparaison aux limites du visible (400 nm et 800 nm) n'est pas justifiée.

3.1.2 Déterminer si le rayonnement produit par le LASER est approprié pour détecter le fond marin. Justifier.

Données utiles figure 5 ; $\lambda = 1{,}064\ \mu\text{m}$

Sur la figure 5 (graphique de gauche), pour $\lambda = 1{,}064\ \mu\text{m}$, l'absorption est d'environ 30 % par centimètre d'eau traversé.

Le rayonnement est donc presque entièrement absorbé après quelques dizaines de centimètres : il ne peut pas atteindre le fond puis revenir vers le LIDAR.

Ce rayonnement infrarouge n'est pas approprié pour détecter le fond marin.

COMPRENDRE
Avec 30 % absorbés par centimètre, il reste 70 % après 1 cm, puis $0{,}70^{10} \approx 3$ % après 10 cm. Ce rayonnement convient en revanche pour repérer la surface, qui le réfléchit en partie.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

0.70^{10}

$\approx$ 0.02824752

3.1.3 Déterminer s'il est plus approprié de doubler ou de tripler la fréquence du rayonnement émis par le LASER pour détecter le fond marin. Justifier.

Données utiles figure 5 (zoom) ; $\lambda = 1{,}064\ \mu\text{m}$

Dans le vide, $\lambda = \dfrac{c}{f}$: multiplier la fréquence par 2 ou par 3 divise la longueur d'onde par 2 ou par 3.

- Fréquence doublée : $\lambda_2 = \dfrac{1{,}064}{2} = 0{,}532\ \mu\text{m}$; sur le zoom de la figure 5, l'absorption vaut environ 0,03 % par cm.
- Fréquence triplée : $\lambda_3 = \dfrac{1{,}064}{3} = 0{,}355\ \mu\text{m}$; l'absorption vaut environ 0,1 % par cm.

L'onde de fréquence doublée est la moins absorbée par l'eau : elle pénètre plus profondément.

Il est plus approprié de doubler la fréquence ($\lambda_2 = 0{,}532\ \mu\text{m}$, lumière verte).

PIÈGE
Doubler la fréquence ne double pas la longueur d'onde : elle est divisée par 2. Chercher l'absorption à 2,128 µm conduit hors du graphique.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.064}{2}$ $\approx$ 0.532

$\dfrac{1.064}{3}$ $\approx$ 0.3546667

3.2 Déterminer la hauteur de vol de l'avion au-dessus de l'eau et la profondeur de l'eau survolée.

Données utiles $\Delta t_1 = 2{,}67\ \mu\text{s}$; $\Delta t_2 = 3{,}04\ \mu\text{s}$; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $v_{\text{eau}} = 2{,}26 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Premier écho : la surface de l'eau. L'onde parcourt l'aller-retour avion-surface, soit $2H$, dans l'air à la célérité c (assimilée à celle du vide) :

$$H = \frac{c\,\Delta t_1}{2} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \times 2{,}67 \times 10^{-6}}{2} = 4{,}01 \times 10^2\ \text{m}$$

Second écho : le fond marin. L'onde parcourt le même trajet dans l'air, plus un aller-retour dans l'eau, de longueur $2p$, à la célérité v_{eau}. La durée passée dans l'eau est $\Delta t_2 - \Delta t_1$:

$$p = \frac{v_{\text{eau}}\,(\Delta t_2 - \Delta t_1)}{2} = \frac{2{,}26 \times 10^8 \times (3{,}04 - 2{,}67) \times 10^{-6}}{2} = 42\ \text{m}$$

Hauteur de vol : $H = 4{,}01 \times 10^2$ m (environ 400 m) ; profondeur de l'eau : $p \approx 42$ m.

PIÈGE
Calculer la profondeur avec c, ou avec Δt_2 entier. Dans l'eau, la célérité est v_{eau} et la durée est seulement $\Delta t_2 - \Delta t_1$.

COMPRENDRE
La différence $3{,}04 - 2{,}67 = 0{,}37\ \mu\text{s}$ n'a que deux chiffres significatifs : la profondeur s'écrit 42 m, pas 41,8 m.

MÉTHODE
Écho = aller-retour : distance $= \dfrac{\text{célérité} \times \text{durée}}{2}$, milieu par milieu. La même relation sert pour le sonar (2.2) et pour le LIDAR.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{3.00 \times 10^8 \times 2.67 \times 10^{-6}}{2}$ $\approx$ 400.5

$\dfrac{2.26 \times 10^8 \times (3.04 \times 10^{-6} - 2.67 \times 10^{-6})}{2}$ $\approx$ 41.81

Dosage de l'ammoniac dans un produit ménager

Bac S 2020 Métropole remplacement (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Indiquer le rôle du chauffage dans ce protocole d'extraction de l'ammoniac.

D'après les données, l'ammoniac est d'autant moins soluble dans l'eau que la température est élevée. En chauffant le ballon, on abaisse donc sa solubilité : l'ammoniac dissous quitte le liquide sous forme de gaz et part dans le tube vers l'erlenmeyer.

Le chauffage sert à chasser l'ammoniac dissous hors du liquide d'entretien, sous forme gazeuse.

COMPRENDRE
Dans l'erlenmeyer, l'eau distillée est froide : la solubilité de l'ammoniac y est grande, le gaz qui barbote s'y dissout de nouveau. C'est ce qui permet de le récupérer dans la solution S.

1.2 Expliquer pourquoi le test au bleu de thymol permet de supposer que tout l'ammoniac des 10,0 mL de liquide a été recueilli dans l'erlenmeyer.

L'ammoniac est une base : s'il arrivait encore du gaz ammoniac dans le tube à essais, l'eau deviendrait basique et le bleu de thymol passerait au bleu.

Or la solution du tube reste jaune : elle n'est pas basique, donc le ballon ne dégage plus d'ammoniac.

Au bout d'une heure, plus aucun ammoniac ne sort du ballon : tout l'ammoniac du prélèvement est passé dans l'erlenmeyer.

PIÈGE
Dire seulement « la solution est jaune donc neutre » ne suffit pas. Il faut relier la couleur au caractère basique de l'ammoniac, puis à l'absence de gaz encore dégagé.

2 Déduire de la pesée la masse volumique de l'échantillon de liquide d'entretien de canalisation.

Données utiles $V = 200{,}0$ mL ; $m = 220{,}4$ g (fiole tarée)

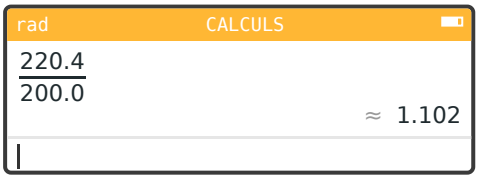
La balance a été tarée avec la fiole vide : la masse lue est celle du liquide seul.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{220{,}4}{200{,}0} = 1{,}102 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

$\rho = 1{,}102 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$

COMPRENDRE
Les deux mesures ont quatre chiffres significatifs, le résultat en garde quatre. Le liquide est plus dense que l'eau ($1{,}000 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$), ce qui est cohérent pour une solution concentrée d'hydroxyde de sodium.

À LA CALCULATRICE



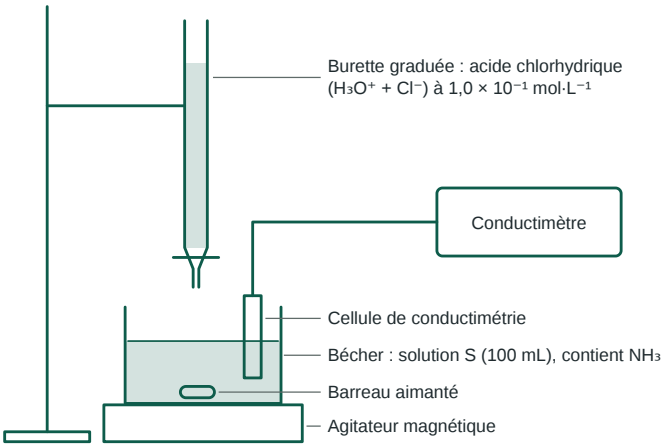
3.1 Réaliser un schéma légendé du dispositif expérimental utilisé pour ce titrage conductimétrique.

Le schéma doit montrer et nommer :

- la burette graduée contenant la solution titrante, l'acide chlorhydrique à $1{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;
- le bécher contenant la solution titrée, les 100 mL de solution S ;
- la cellule de conductimétrie plongée dans la solution et reliée au conductimètre ;
- l'agitateur magnétique et son barreau aimanté.

Schéma légendé ci-dessous.

PIÈGE
Les points se perdent sur les légendes : nom et concentration de la solution titrante, nom de la solution titrée, conductimètre relié à la cellule. Un pH-mètre à la place du conductimètre est faux ici.



3.1 · Montage du titrage conductimétrique de la solution S

3.2 Justifier que la réaction support du titrage est une réaction acido-basique.

$$\text{NH}_3\,(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{NH}_4{}^+\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$$

L'ion oxonium H_3O^+ perd un ion H^+ et devient H_2O : c'est l'acide du couple $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2\text{O}$.

L'ammoniac NH_3 gagne cet ion H^+ et devient $\text{NH}_4{}^+$: c'est la base du couple $\text{NH}_4{}^+ / \text{NH}_3$.

Il y a transfert d'un ion H^+ de l'acide H_3O^+ vers la base NH_3 : la réaction est acido-basique.

MÉTHODE
Pour reconnaître une réaction acido-basique : repérer les deux couples acide/base, puis vérifier que l'acide de l'un donne un H^+ à la base de l'autre.

3.3 Justifier l'allure de l'évolution de la conductivité avant et après l'équivalence.

Données utiles en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$: $\lambda(H_3O^+) = 35{,}5$; $\lambda(Cl^-) = 7{,}6$; $\lambda(NH_4^+) = 7{,}3$

Seuls les ions participent à la conductivité : $\sigma = \sum \lambda_i [X_i]$. La molécule NH_3 n'y contribue pas.

Avant l'équivalence : les ions H_3O^+ versés sont tous consommés. Chaque ajout forme des ions NH_4^+ et apporte des ions Cl^-, spectateurs. Les concentrations de ces deux ions augmentent, donc σ augmente.

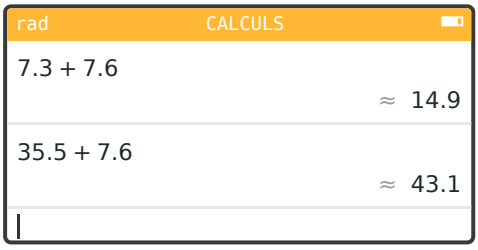
Après l'équivalence : il n'y a plus d'ammoniac, il ne se forme plus d'ions NH_4^+. Les ions H_3O^+ et Cl^- versés s'accumulent, donc σ augmente encore. Comme $\lambda(H_3O^+)$ est bien plus grande que $\lambda(NH_4^+)$, la hausse est plus rapide.

σ croît avant l'équivalence (apparition de NH_4^+ et Cl^-), puis croît plus vite après (excès de H_3O^+, très conducteur) : deux portions de droite, la seconde plus pentue.

PIÈGE
Oublier les ions chlorure, ou écrire que H_3O^+ fait monter σ avant l'équivalence : il y est consommé, sa concentration reste négligeable.

COMPRENDRE
Pour un même volume versé, la solution gagne $\lambda(NH_4^+) + \lambda(Cl^-) = 14{,}9$ avant l'équivalence et $\lambda(H_3O^+) + \lambda(Cl^-) = 43{,}1$ après : la pente est presque triplée, comme sur la figure 2.

À LA CALCULATRICE



3.4 Déterminer le pourcentage massique d'ammoniac dans la bouteille de liquide d'entretien de canalisation. Commenter.

Données utiles $c_A = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; prélèvement $V_0 = 10{,}0$ mL ; $\rho = 1{,}102$ g · mL^{-1} (Q2) ; $M(\mathrm{H}) = 1{,}0$ et $M(\mathrm{N}) = 14{,}0$ g · mol^{-1} ; bouteille neuve : entre 0,1 % et 0,5 %

Volume à l'équivalence. On trace les deux droites qui modélisent les points avant et après la rupture de pente. Elles se coupent en $V_E = 19{,}0$ mL.

Quantité d'ammoniac. À l'équivalence, les réactifs ont été mélangés dans les proportions de l'équation (1 pour 1) :

$$n(\mathrm{NH_3}) = n(\mathrm{H_3O^+})_{\text{versé}} = c_A\, V_E$$

$$n(\mathrm{NH_3}) = 1{,}0 \times 10^{-1} \times 19{,}0 \times 10^{-3} = 1{,}9 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$$

Toute la solution S a été titrée et elle contient tout l'ammoniac extrait (Q1.2) : c'est la quantité présente dans les 10,0 mL prélevés.

Masse d'ammoniac. $M(\mathrm{NH_3}) = 14{,}0 + 3 \times 1{,}0 = 17{,}0$ g · mol^{-1}, donc

$$m(\mathrm{NH_3}) = n(\mathrm{NH_3})\, M(\mathrm{NH_3}) = 1{,}9 \times 10^{-3} \times 17{,}0 = 3{,}2 \times 10^{-2}\ \mathrm{g}$$

Masse du prélèvement. $m_0 = \rho\, V_0 = 1{,}102 \times 10{,}0 = 11{,}0$ g.

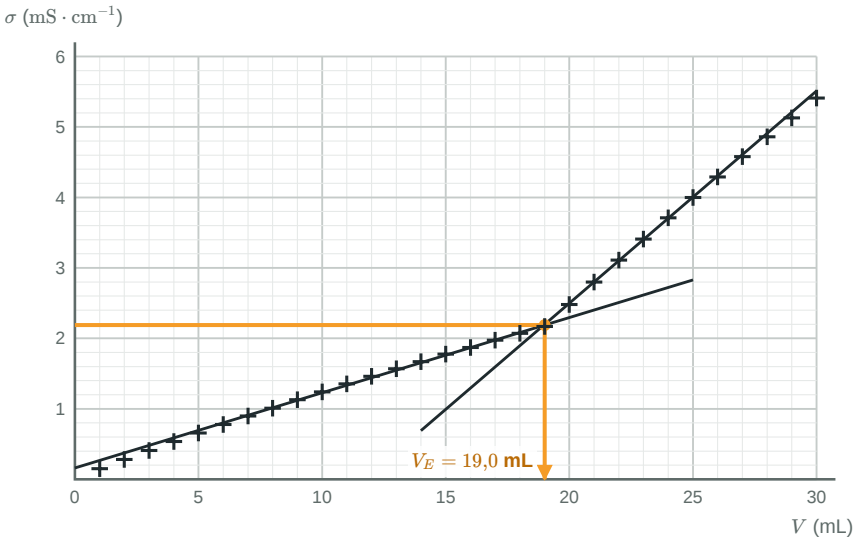
Pourcentage massique.

$$w = \frac{m(\mathrm{NH_3})}{m_0} = \frac{c_A\, V_E\, M(\mathrm{NH_3})}{\rho\, V_0}$$

$$w = \frac{1{,}0 \times 10^{-1} \times 19{,}0 \times 10^{-3} \times 17{,}0}{1{,}102 \times 10{,}0} = 2{,}9 \times 10^{-3}$$

Commentaire. La valeur trouvée reste dans l'intervalle annoncé pour une bouteille neuve, de 0,1 % à 0,5 %. La bouteille a été ouverte et a donc perdu de l'ammoniac, mais pas assez pour sortir de cet intervalle : le liquide contient encore de quoi alerter l'usager par son odeur.

$w = 2{,}9 \times 10^{-3}$, soit 0,29 % d'ammoniac en masse : valeur comprise entre 0,1 % et 0,5 %.



3.4 · Figure 2 du sujet : les deux droites se coupent à l'équivalence

PIÈGE
Diviser par la masse de la solution S ou par 10,0 g. La masse de l'échantillon est celle des 10,0 mL de liquide d'entretien, à calculer avec la masse volumique de la question 2.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la concentration c_A, la donnée la moins précise. Les 100 mL d'eau de l'erlenmeyer n'interviennent pas : diluer ne change pas la quantité d'ammoniac titrée.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer le plan (volume équivalent, quantité, masse, masse de l'échantillon, quotient), puis donner une formule littérale finale avant le calcul. Terminer en comparant à la valeur de l'énoncé.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.0 \times 10^{-1} \times 19.0 \times 10^{-3}$
≈ 0.0019

$1.9 \times 10^{-3} \times 17.0$
≈ 0.0323

1.102×10.0
≈ 11.02

$$\frac{1.0 \times 10^{-1} \times 19.0 \times 10^{-3} \times 17.0}{1.102 \times 10.0}$$
≈ 0.002931034

Spécialité : Lampes à carbure de calcium

Bac S 2020 Métropole remplacement (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1 Établir l'équation de la réaction modélisant la production de l'acétylène dans une lampe.

Réactifs : le carbure de calcium solide $\mathrm{CaC_2}$ et l'eau liquide. Produits : l'acétylène gazeux $\mathrm{C_2H_2}$ et l'hydroxyde de calcium solide $\mathrm{Ca(OH)_2}$.

Les produits contiennent 4 atomes d'hydrogène et 2 atomes d'oxygène : il faut 2 molécules d'eau. Le calcium et le carbone sont alors déjà équilibrés.

$$\mathrm{CaC_2\,(s) + 2\,H_2O\,(l) \longrightarrow C_2H_2\,(g) + Ca(OH)_2\,(s)}$$

PIÈGE

Oublier le coefficient 2 devant $\mathrm{H_2O}$: toutes les masses calculées ensuite seraient fausses d'un facteur 2. Vérifier chaque élément (Ca, C, H, O) et indiquer les états physiques.

2 Montrer que la masse de carbure de calcium à introduire pour consommer les 200 mL d'eau de la cuve est d'environ 360 g. Problème : déterminer la masse minimale de carbure de calcium pour une sortie de quatre heures et le débit d'eau à régler, en gouttes par minute.

Données utiles $V_{\text{eau}} = 200$ mL ; $\rho = 1{,}0$ g · mL^{-1} ; $M(\text{H}_2\text{O}) = 18{,}0$ g · mol^{-1} ; $M(\text{CaC}_2) = 64{,}1$ g · mol^{-1} ; $V_m = 24{,}0$ L · mol^{-1} ; $V_{\text{goutte}} = 0{,}05$ mL ; consommation : 14 L d'acétylène par heure ; équation (Q1)

Question préliminaire

Quantité d'eau dans la cuve pleine : $n(\text{H}_2\text{O}) = \dfrac{\rho V_{\text{eau}}}{M(\text{H}_2\text{O})} = \dfrac{1{,}0 \times 200}{18{,}0} = 11{,}1$ mol.

D'après l'équation, une mole de CaC_2 réagit avec deux moles d'eau : $n(\text{CaC}_2) = \dfrac{n(\text{H}_2\text{O})}{2}$.

$$m(\text{CaC}_2) = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{2} \times M(\text{CaC}_2) = \frac{11{,}1}{2} \times 64{,}1 = 356 \text{ g}$$

Soit $m(\text{CaC}_2) \approx 3{,}6 \times 10^2$ g : on retrouve bien environ 360 g.

Problème

Volume d'acétylène à produire. En $\Delta t = 4$ h, la lampe brûle $V(\text{C}_2\text{H}_2) = 4 \times 14 = 56$ L.

Quantité d'acétylène. $n(\text{C}_2\text{H}_2) = \dfrac{V(\text{C}_2\text{H}_2)}{V_m} = \dfrac{56}{24{,}0} = 2{,}33$ mol.

Masse minimale de carbure de calcium. D'après l'équation, $n(\text{CaC}_2) = n(\text{C}_2\text{H}_2)$:

$$m_{\text{min}} = n(\text{C}_2\text{H}_2) \times M(\text{CaC}_2) = 2{,}33 \times 64{,}1 = 150 \text{ g}$$

Eau consommée. D'après l'équation, $n(\text{H}_2\text{O}) = 2\,n(\text{C}_2\text{H}_2) = 4{,}67$ mol, soit une masse $4{,}67 \times 18{,}0 = 84$ g et un volume $V = \dfrac{84}{1{,}0} = 84$ mL.

Ce volume est inférieur à 200 mL : le réservoir plein suffit pour toute la sortie.

Débit d'eau. Nombre de gouttes : $N = \dfrac{V}{V_{\text{goutte}}} = \dfrac{84}{0{,}05} = 1680$ gouttes, à répartir sur $4 \times 60 = 240$ min :

$$\frac{N}{\Delta t} = \frac{1680}{240} = 7 \text{ gouttes par minute}$$

Question préliminaire : $m(\text{CaC}_2) = 356$ g ≈ 360 g. Problème : $m_{\text{min}} \approx 1{,}5 \times 10^2$ g de carbure de calcium et un débit de 7 gouttes d'eau par minute.

PIÈGE
Utiliser le volume molaire V_m pour l'eau : il ne vaut que pour un gaz. Pour l'eau liquide, passer par la masse volumique puis la masse molaire. Autre erreur fréquente : oublier le facteur 2 entre l'eau et l'acétylène.

COMPRENDRE
La consommation (14 L par heure) n'a que deux chiffres significatifs : on annonce $1{,}5 \times 10^2$ g, et non 149,6 g. Le volume d'une goutte n'en a qu'un : 7 gouttes par minute est un ordre de grandeur de réglage.

MÉTHODE
Problème ouvert : partir de ce qui est imposé (le volume de gaz à brûler), remonter aux réactifs par l'équation, puis convertir (mol, g, mL, gouttes). Vérifier à la fin que la réserve d'eau suffit.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1.0 \times 200}{18.0} \approx 11.11111$$

$$\frac{\frac{1.0 \times 200}{18.0}}{2} \times 64.1 \approx 356.1111$$

$$\frac{56}{24.0} \approx 2.333333$$

$$\frac{56}{24.0} \times 64.1 \approx 149.5667$$

$$\frac{2 \times 56}{24.0} \times 18.0 \approx 84$$

$$\frac{84}{0.05} \approx 1680$$

$$\frac{1680}{240} \approx 7$$