Corrigé complet — Bac S 2018 Liban (ancien programme)

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

Ex 1	**La mission Proxima** Mouvement circulaire uniforme · Lois de Kepler · Énergie mécanique d'un satellite · Ondes ultrasonores · Retard et célérité · Échographie	11 pts	1 h 50	18 questions	p. 2
Ex 2	**Le manioc** Formule semi-développée · Spectre de RMN du proton · Couples oxydant/réducteur · Quantité de matière · Dilution · Titrage colorimétrique	4 pts	40 min	7 questions	p. 9
Ex 3	**Les caractéristiques d'un sol truffier** pH et concentration en ions oxonium · Diagramme de prédominance · Volume molaire d'un gaz · Dilution · Dosage par étalonnage spectrophotométrique · Loi de Beer-Lambert	5 pts	50 min	10 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Choix d'un adoucisseur d'eau** Titrage colorimétrique · Équivalence d'un titrage · Dureté d'une eau · Exploitation de documents · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 questions	p. 17

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

La mission Proxima

Bac S 2018 Liban (ancien programme) · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 50**

1.1 À l'aide de la période orbitale du module Soyouz, déterminer la valeur de sa vitesse V_S sur son orbite basse.

Données utiles $R_T = 6380$ km ; $h_S = 220$ km ; $T_S = 88{,}66$ min

L'orbite est circulaire, de rayon $R_T + h_S$. Pendant une période T_S, le module en parcourt la circonférence à vitesse constante :

$$V_S = \frac{2\pi\,(R_T + h_S)}{T_S}$$

avec $R_T + h_S = 6600\ \text{km} = 6{,}600 \times 10^6\ \text{m}$ et $T_S = 88{,}66 \times 60 = 5320\ \text{s}$.

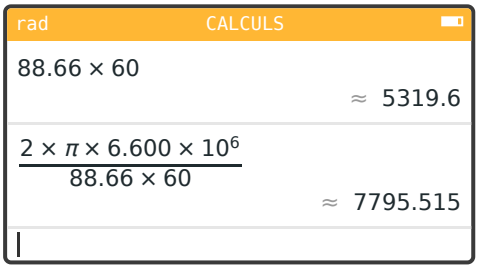
$$V_S = \frac{2\pi \times 6{,}600 \times 10^6}{88{,}66 \times 60}$$

$V_S = 7{,}796 \times 10^3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, soit $7{,}796\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$

PIÈGE
Utiliser l'altitude h_S seule comme rayon, ou laisser la période en minutes : le rayon de l'orbite se compte depuis le centre de la Terre et la période se convertit en secondes.

COMPRENDRE
Quatre chiffres significatifs : T_S en a quatre et la somme $6380 + 220 = 6600$ km est connue au kilomètre près, donc aussi avec quatre chiffres.

À LA CALCULATRICE



1.2 Démontrer, en explicitant la démarche, la relation $\frac{T_S^2}{(R_T + h_S)^3} = \frac{T_{ISS}^2}{(R_T + h_{ISS})^3}$.

Système : un satellite de masse m en orbite circulaire de rayon $r = R_T + h$, dans le référentiel géocentrique supposé galiléen. Seule force : l'attraction de la Terre, dirigée vers son centre, de valeur $F = \frac{G\,m\,M_T}{r^2}$.

Deuxième loi de Newton : $m\,\vec{a} = \vec{F}$. L'accélération est donc dirigée vers le centre ; pour un mouvement circulaire elle vaut alors $a = \frac{V^2}{r}$ et le mouvement est uniforme :

$$\frac{V^2}{r} = \frac{G\,M_T}{r^2} \quad \text{soit} \quad V = \sqrt{\frac{G\,M_T}{r}}$$

Période : $T = \frac{2\pi r}{V}$, donc $T^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{V^2} = \frac{4\pi^2 r^3}{G\,M_T}$, soit

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G\,M_T}$$

Ce rapport ne dépend que de la masse de la Terre : il a la même valeur pour le module Soyouz ($r = R_T + h_S$) et pour l'ISS ($r = R_T + h_{ISS}$).

$\frac{T_S^2}{(R_T + h_S)^3} = \frac{T_{ISS}^2}{(R_T + h_{ISS})^3} = \frac{4\pi^2}{G\,M_T}$: c'est la troisième loi de Kepler.

COMPRENDRE
La masse m du satellite se simplifie : deux satellites très différents, à la même altitude, ont la même période. Pour une orbite circulaire, le demi-grand axe de la loi de Kepler est le rayon.

MÉTHODE
Si la question dit « démontrer », citer la troisième loi de Kepler ne suffit pas toujours : la chaîne Newton, puis vitesse, puis période, tient en cinq lignes et assure tous les points.

1.3 Déterminer la valeur de la vitesse V_{ISS} de la station spatiale internationale sur son orbite.

Données utiles $R_T + h_S = 6600$ km ; $R_T + h_{ISS} = 6780$ km ; $T_S = 88{,}66$ min ; relation de la question 1.2

La relation de la question 1.2 donne la période de l'ISS :

$$T_{ISS} = T_S \sqrt{\frac{(R_T + h_{ISS})^3}{(R_T + h_S)^3}} = 88{,}66 \times 60 \times \sqrt{\frac{6780^3}{6600^3}} = 5{,}539 \times 10^3 \text{ s}$$

soit environ 92,3 min. Le rapport des rayons est sans unité : ils peuvent rester en kilomètres.

L'orbite de l'ISS est circulaire, de rayon $R_T + h_{ISS} = 6{,}780 \times 10^6$ m :

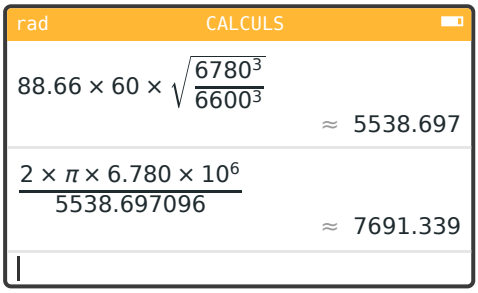
$$V_{ISS} = \frac{2\pi\,(R_T + h_{ISS})}{T_{ISS}} = \frac{2\pi \times 6{,}780 \times 10^6}{5{,}539 \times 10^3}$$

$V_{ISS} = 7{,}691 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit $7{,}691 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Oublier la racine carrée, ou inverser le rapport des rayons. Contrôle rapide : l'orbite de l'ISS est plus grande, donc T_{ISS} doit être supérieure à T_S.

COMPRENDRE
L'ISS, plus haute, est moins rapide que le module sur son orbite basse et sa période est plus longue : plus l'orbite est éloignée de la Terre, plus le satellite est lent.

À LA CALCULATRICE



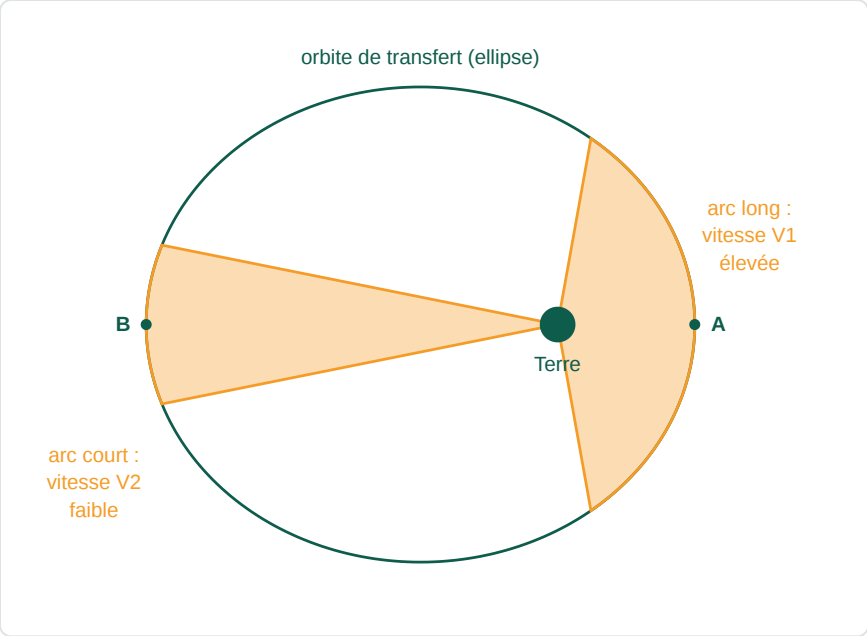
2.1 Énoncer la deuxième loi de Kepler. En quoi permet-elle de montrer que $V_2 < V_1$?

Deuxième loi de Kepler (loi des aires) : le segment qui relie le centre de la Terre au satellite balaie des aires égales pendant des durées égales.

Sur l'orbite de transfert, le point A est le point le plus proche du centre de la Terre et le point B le plus éloigné. Pour une même durée Δt, l'aire balayée autour de B doit être égale à celle balayée autour de A. Comme le segment Terre-satellite est plus long en B, l'arc parcouru pendant Δt y est plus court qu'en A.

Le module parcourt une distance plus petite pendant la même durée au voisinage de B : $V_2 < V_1$.

COMPRENDRE
Sur une orbite circulaire, la même loi impose une vitesse constante, puisque le rayon ne change pas : c'est ce qui a été utilisé à la question 1.1.



2.1 · Loi des aires sur l'orbite de transfert : les deux aires orange sont égales et balayées pendant la même durée

2.2 Montrer que l'énergie potentielle $E_P(B)$ du module Soyouz au point B est plus grande que l'énergie $E_P(A)$ au point A.

Données utiles $E_P = -\dfrac{G\,m\,M_T}{R_T + h}$; en A : $h = h_S = 220$ km ; en B : $h = H_S = 320$ km

B est sur l'orbite haute et A sur l'orbite basse : $H_S > h_S$, donc $R_T + H_S > R_T + h_S$.

Le quotient positif $\dfrac{G\,m\,M_T}{R_T + h}$ est donc plus petit en B qu'en A. Avec le signe « $-$ », l'ordre s'inverse :

$$-\frac{G\,m\,M_T}{R_T + H_S} > -\frac{G\,m\,M_T}{R_T + h_S}$$

$E_P(B) > E_P(A)$: l'énergie potentielle augmente quand le module s'éloigne de la Terre.

PIÈGE
Conclure trop vite que « le dénominateur est plus grand, donc E_P est plus petite ». Les deux énergies sont négatives : la plus grande est celle qui est la plus proche de zéro.

2.3 Justifier que l'énergie mécanique du module Soyouz sur son orbite de transfert, entre les points A et B, ne varie pas.

Entre A et B, la vitesse n'est plus modifiée par les moteurs et, à ces altitudes, les frottements sont négligés. Le module n'est soumis qu'à la force de gravitation exercée par la Terre, qui est une force conservative : c'est d'elle que provient l'énergie potentielle E_P.

Aucune force non conservative ne travaille entre A et B : l'énergie mécanique $E_M = E_C + E_P$ se conserve.

COMPRENDRE
L'énergie mécanique change seulement en A et en B, à l'instant où les moteurs modifient la vitesse : c'est ce qui fait passer le module d'une orbite à l'autre.

2.4 En déduire le signe de la variation d'énergie cinétique entre A et B. Ce résultat est-il en accord avec la deuxième loi de Kepler ?

Conservation de l'énergie mécanique : $E_C(A) + E_P(A) = E_C(B) + E_P(B)$, donc

$$E_C(B) - E_C(A) = -\big(E_P(B) - E_P(A)\big)$$

D'après la question 2.2, $E_P(B) - E_P(A) > 0$: la variation d'énergie cinétique est donc négative.

Comme $E_C = \frac{1}{2} m V^2$ avec m constante, une énergie cinétique plus faible en B signifie une vitesse plus faible en B.

$\Delta E_C < 0$ entre A et B, donc $V_2 < V_1$: c'est en accord avec la deuxième loi de Kepler (question 2.1).

COMPRENDRE
En s'éloignant de la Terre, le module convertit de l'énergie cinétique en énergie potentielle, comme une balle lancée vers le haut qui ralentit en montant.

2.5 Exprimer l'énergie mécanique du module Soyouz au point A en fonction de m, G, M_T, h_S, R_T et V_1.

Au point A, sur l'orbite de transfert, la vitesse vaut V_1 et l'altitude h_S :

$E_M(A) = E_C(A) + E_P(A)$

$$E_M(A) = \frac{1}{2} m V_1^2 - \frac{G m M_T}{R_T + h_S}$$

2.6 Sachant que $V_1 = 7{,}80 \times 10^3$ m · s^{-1}, déterminer la valeur de la vitesse V_2. Ce résultat est-il en accord avec les résultats précédents ?

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ SI ; $M_T = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg ; $R_T + h_S = 6{,}60 \times 10^6$ m ; $R_T + H_S = 6{,}70 \times 10^6$ m

Au point B, la vitesse vaut V_2 et l'altitude H_S. L'énergie mécanique se conserve entre A et B (question 2.3) :

$$\frac{1}{2} m V_1^2 - \frac{G m M_T}{R_T + h_S} = \frac{1}{2} m V_2^2 - \frac{G m M_T}{R_T + H_S}$$

On divise par m, on multiplie par 2 et on isole V_2 :

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + 2 G M_T \left(\frac{1}{R_T + H_S} - \frac{1}{R_T + h_S}\right)}$$

Terme de gravitation :

$$2 \times 6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}98 \times 10^{24} \times \left(\frac{1}{6{,}70 \times 10^6} - \frac{1}{6{,}60 \times 10^6}\right)$$

Ce terme vaut $-1{,}80 \times 10^6$ m^2 · s^{-2}, d'où :

$$V_2 = \sqrt{(7{,}80 \times 10^3)^2 - 1{,}80 \times 10^6}$$

Remarque : l'énoncé écrit l'unité de G « m^3 · s^2 · kg^{-1} » ; l'unité correcte est m^3 · kg^{-1} · s^{-2}. La valeur numérique est juste.

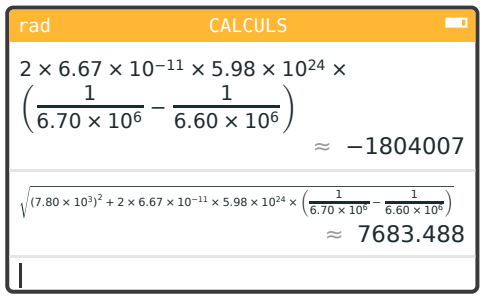
$V_2 = 7{,}68 \times 10^3$ m · s^{-1} : on a bien $V_2 < V_1$, en accord avec les questions 2.1 et 2.4.

PIÈGE
Les rayons doivent être en mètres, et la parenthèse est négative : si V_2 sort supérieure à V_1, les deux fractions ont été inversées.

COMPRENDRE
La masse m du module, qui n'est pas donnée, disparaît du calcul. Trois chiffres significatifs, comme V_1, G et M_T.

MÉTHODE
Contrôle de l'unité de G : $F = G m M / r^2$ donne G en N · m^2 · kg^{-2}, et 1 N = 1 kg · m · s^{-2}.

À LA CALCULATRICE



3 Que faut-il faire ensuite pour que le module Soyouz atteigne la station spatiale ISS ?

Données utiles orbite haute : $H_S = 320$ km ; ISS : $h_{ISS} = 400$ km ; $V_{ISS} = 7{,}691 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ (question 1.3)

L'orbite haute (320 km) est encore 80 km sous celle de l'ISS (400 km). Il faut recommencer la manœuvre : depuis l'orbite haute, modifier de nouveau la valeur de la vitesse pour placer le module sur une seconde orbite de transfert elliptique, dont le point le plus éloigné de la Terre est à 400 km d'altitude.

Arrivé à cette altitude, on ajuste une dernière fois la vitesse pour que l'orbite devienne circulaire.

Le module doit finir sur l'orbite de l'ISS avec la même vitesse qu'elle, $V_{ISS} = 7{,}691 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, et y arriver au moment où la station passe à cet endroit.

COMPRENDRE
Deux objets sur la même orbite circulaire ont la même vitesse : ils restent immobiles l'un par rapport à l'autre, ce qui permet l'amarrage.

4.1 Préciser la signification du mot « longitudinale ».

Une onde est longitudinale lorsque la perturbation (ici le déplacement des couches d'air) se fait dans la même direction que celle de la propagation de l'onde.

COMPRENDRE
À l'inverse, une onde est transversale si la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation (vague, corde). Cette distinction n'est plus exigible dans le programme actuel de spécialité.

4.2 Citer une différence entre une onde ultrasonore et une onde sonore.

Elles diffèrent par leur fréquence : un son audible a une fréquence comprise entre 20 Hz et 20 kHz environ, un ultrason a une fréquence supérieure à 20 kHz et n'est pas perçu par l'oreille humaine.

PIÈGE
Répondre que les ultrasons sont « plus rapides » : dans un même milieu, sons et ultrasons se propagent à la même célérité.

4.3 Déterminer la valeur du retard entre l'émission et la réception (figure 3).

Données utiles figure 3 : émission à $t = 0$; une graduation de l'axe des temps vaut 0,2 ms

La salve est émise à $t = 0$: le retard τ est la date à laquelle le signal reçu commence, c'est-à-dire l'instant où il sort du bruit de fond.

Sur la figure 3, le signal débute entre les graduations 0,8 ms et 1,0 ms, un peu après 0,8 ms.

$\tau \approx 0{,}85 \text{ ms} = 8{,}5 \times 10^{-4} \text{ s}$

PIÈGE
Lire la date du maximum d'amplitude (environ 1,25 ms) : le retard se repère au début de la salve reçue, pas à son sommet.

COMPRENDRE
La lecture se fait à 0,05 ms près environ : deux chiffres significatifs suffisent, et toute valeur comprise entre 0,80 et 0,90 ms est acceptable.

4.4 Sachant que la distance d entre l'émetteur et le récepteur vaut 30,0 cm, en déduire la célérité des ondes ultrasonores dans ce milieu.

Données utiles $d = 30{,}0 \text{ cm} = 0{,}300 \text{ m}$; $\tau = 8{,}5 \times 10^{-4}$ s (question 4.3)

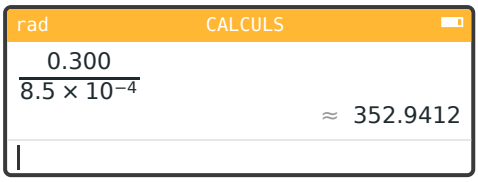
L'onde parcourt la distance d pendant la durée τ :

$$v = \frac{d}{\tau} = \frac{0{,}300}{8{,}5 \times 10^{-4}}$$

$v = 3{,}5 \times 10^{2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Le résultat est limité à deux chiffres significatifs par la lecture graphique de τ, même si d en a trois.

À LA CALCULATRICE



4.5 Commenter le résultat au regard de la nature du milieu de propagation.

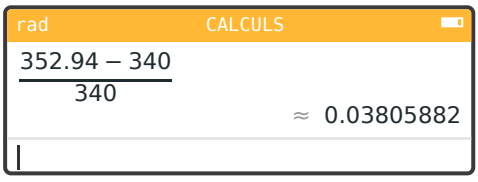
Le milieu de propagation est l'air. La célérité du son et des ultrasons dans l'air vaut environ $340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ à température ambiante.

La valeur obtenue, $3{,}5 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, s'en écarte de 4 % environ, ce que l'imprécision de la lecture de τ sur la figure 3 suffit à expliquer.

Le résultat est cohérent avec une propagation dans l'air, un gaz, où la célérité est bien plus faible que dans un liquide ou un solide.

COMPRENDRE
La célérité dépend du milieu : la question 6.2 donne $1{,}54 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ dans un organe, plus de quatre fois la valeur dans l'air.

À LA CALCULATRICE



5 Déterminer la valeur de la distance émetteur-écran (figure 4).

Données utiles figure 4 : une graduation vaut 0,1 ms ; $v = 3{,}5 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (question 4.4)

Sur la figure 4, le signal reçu débute entre 1,1 ms et 1,2 ms : le retard vaut $\tau_2 \approx 1{,}15\ \text{ms} = 1{,}15 \times 10^{-3}\ \text{s}$.

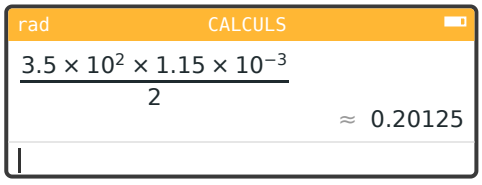
L'émetteur et le récepteur sont côte à côte : l'onde va jusqu'à l'écran, s'y réfléchit et revient. Si D est la distance émetteur-écran, elle parcourt $2D$ pendant τ_2, dans l'air, à la célérité v de la question 4.4 :

$$2D = v\,\tau_2 \quad \text{soit} \quad D = \frac{v\,\tau_2}{2} = \frac{3{,}5 \times 10^{2} \times 1{,}15 \times 10^{-3}}{2}$$

$D \approx 0{,}20\ \text{m}$, soit 20 cm

PIÈGE
Oublier l'aller-retour : sans la division par 2, on trouve 40 cm, le double de la distance réelle.

À LA CALCULATRICE



6.1 À quoi correspondent les deux échos reçus par la sonde aux instants t_1 et t_2 ?

Un écho apparaît à chaque changement de milieu rencontré par les ultrasons.

- Écho reçu à t_1 : réflexion sur la première face de l'organe, la plus proche de la sonde (passage de l'eau à l'organe).
- Écho reçu à t_2 : réflexion sur la seconde face de l'organe (passage de l'organe à l'eau), après traversée de l'organe.

Les deux échos proviennent des deux faces de l'organe ; le second arrive plus tard car l'onde a traversé l'organe deux fois en plus, à l'aller et au retour.

6.2 Sachant que la célérité des ultrasons dans l'organe vaut $1{,}54 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, déterminer la taille e de l'organe étudié. Commenter le résultat.

Données utiles $t_1 = 100\ \mu\text{s}$; $t_2 = 150\ \mu\text{s}$; $v = 1{,}54 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Les deux échos suivent le même trajet dans l'eau. La durée $t_2 - t_1$ correspond donc au seul aller-retour dans l'organe, soit une distance $2e$ parcourue à la célérité v :

$$2e = v\,(t_2 - t_1) \quad \text{soit} \quad e = \frac{v\,(t_2 - t_1)}{2}$$

$$e = \frac{1{,}54 \times 10^3 \times (150 - 100) \times 10^{-6}}{2} = 3{,}85 \times 10^{-2}\ \text{m}$$

Commentaire : quelques centimètres, c'est un ordre de grandeur réaliste pour un organe du corps humain.

$e \approx 3{,}9 \times 10^{-2}\ \text{m}$, soit environ 3,9 cm

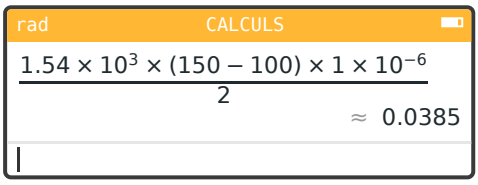
PIÈGE

Utiliser t_2 seul, ou oublier de diviser par 2. Les microsecondes se convertissent : $1\ \mu\text{s} = 10^{-6}\ \text{s}$.

MÉTHODE

En échographie, toujours raisonner en aller-retour : la distance entre deux interfaces vaut la célérité multipliée par la moitié de l'écart entre les deux échos.

À LA CALCULATRICE



Le manioc

Bac S 2018 Liban (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 40 min**

1.1 Donner la formule semi-développée des deux composés A formés avec le cyanure d'hydrogène après dégradation enzymatique de chacun des deux hétérosides de la figure 1.

D'après l'étape (b), le composé A est la cétone R_1-CO-R_2 : le carbone qui portait OH et CN dans la cyanhydrine devient celui du groupe carbonyle et garde ses deux groupes alkyles.

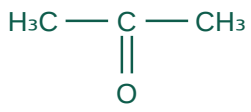
Linamarine : ce carbone porte deux groupes méthyle, donc $R_1 = R_2 = CH_3$.

Lotaustraline : il porte un groupe méthyle et un groupe éthyle, donc $R_1 = CH_3$ et $R_2 = CH_2-CH_3$.

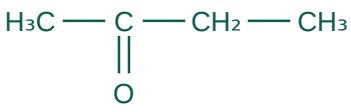
Linamarine : $CH_3-CO-CH_3$ (propanone). Lotaustraline : $CH_3-CO-CH_2-CH_3$ (butanone).

PIÈGE
Donner la formule brute ou garder l'écriture topologique : la question demande une formule semi-développée, où toutes les liaisons entre atomes autres que l'hydrogène apparaissent, dont la double liaison $C=O$.

MÉTHODE
Dans une formule topologique, chaque extrémité de trait et chaque sommet est un atome de carbone, complété par des hydrogènes jusqu'à quatre liaisons. Un trait seul partant du carbone central est donc un méthyle, deux traits enchaînés un éthyle.



issu de la linamarine



issu de la lotaustraline

1.1 · Formules semi-développées des deux composés A

1.2 Le spectre de RMN du composé A majoritaire présente un seul signal, un singulet. Identifier ce composé parmi les deux précédents, en argumentant.

Un seul signal : tous les protons de la molécule sont équivalents. Un singulet : ces protons n'ont aucun proton voisin (règle des $n+1$ uplets avec $n=0$).

Propanone $CH_3-CO-CH_3$: la molécule est symétrique, ses six protons sont équivalents ; le carbone voisin des deux groupes méthyle est celui du carbonyle, qui ne porte aucun hydrogène. Le spectre est donc un singulet unique.

Butanone $CH_3-CO-CH_2-CH_3$: trois groupes de protons équivalents, donc trois signaux (un singulet, un quadruplet et un triplet).

Le composé A majoritaire est la propanone $CH_3-CO-CH_3$.

PIÈGE
Justifier seulement le singulet ne suffit pas : le groupe CH_3 lié au carbonyle de la butanone donne lui aussi un singulet. C'est le nombre de signaux qui départage les deux molécules.

COMPRENDRE
La spectroscopie de RMN du proton figurait au programme de Terminale S ; elle n'est plus au programme actuel de la spécialité physique-chimie.

1.3 En déduire quel hétéroside est principalement présent dans la racine de manioc.

La propanone, obtenue très majoritairement, provient de l'hétéroside dont les deux groupes alkyles sont des groupes méthyle (question 1.1).

L'hétéroside principalement présent dans la racine de manioc est la linamarine.

2.1 Sachant que l'ion thiosulfate est un réducteur, écrire les deux couples oxydant/réducteur mis en jeu dans la réaction entre le diiode et les ions thiosulfate.

L'ion thiosulfate $S_2O_3^{2-}$ est le réducteur : il est oxydé en ion tétrathionate $S_4O_6^{2-}$, son oxydant conjugué.

Le diiode I_2 réagit avec ce réducteur : c'est l'oxydant, il est réduit en ion iodure I^-.

Couples : $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$ et I_2/I^-.

PIÈGE
Un couple s'écrit toujours oxydant/réducteur, dans cet ordre, et associe deux espèces contenant le même élément : $I_2/S_2O_3^{2-}$ n'est pas un couple.

2.2 Écrire les demi-équations associées à ces couples qui permettent de retrouver l'équation de la réaction.

Réduction du diiode : $I_2 + 2\,e^- = 2\,I^-$

Oxydation de l'ion thiosulfate : $2\,S_2O_3^{2-} = S_4O_6^{2-} + 2\,e^-$

Chaque demi-équation met en jeu deux électrons : on les additionne membre à membre et les électrons se simplifient.

$I_2\,(aq) + 2\,S_2O_3^{2-}\,(aq) \longrightarrow 2\,I^-\,(aq) + S_4O_6^{2-}\,(aq)$: on retrouve l'équation de l'énoncé.

MÉTHODE
Pour une demi-équation : équilibrer l'élément commun (ici I, puis S), ensuite les charges avec des électrons. Vérifier les charges des deux côtés : -4 à gauche, $-2-2=-4$ à droite pour le thiosulfate.

2.3 Calculer la quantité de matière de thiosulfate de sodium présente dans une fiole de solution du kit antidote.

Données utiles $m = 12{,}5$ g de $Na_2S_2O_3$ par fiole ; $M(Na) = 23{,}0\ g\cdot mol^{-1}$; $M(S) = 32{,}1\ g\cdot mol^{-1}$; $M(O) = 16{,}0\ g\cdot mol^{-1}$

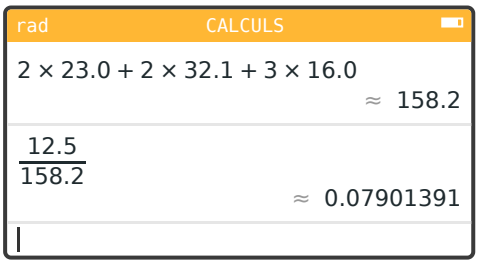
Masse molaire : $M(Na_2S_2O_3) = 2\times 23{,}0 + 2\times 32{,}1 + 3\times 16{,}0 = 158{,}2\ g\cdot mol^{-1}$

$$n = \frac{m}{M(Na_2S_2O_3)} = \frac{12{,}5}{158{,}2} = 7{,}90\times 10^{-2}\ mol$$

$n = 7{,}90\times 10^{-2}$ mol de thiosulfate de sodium dans une fiole.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme la masse 12,5 g. Une mole de $Na_2S_2O_3$ libère une mole d'ions $S_2O_3^{2-}$: la quantité d'ions thiosulfate dans la fiole est la même.

À LA CALCULATRICE



2.4 À l'aide du matériel disponible, proposer un protocole de titrage de la solution de thiosulfate de sodium de la fiole du kit, avec l'observation qui repère l'équivalence et un calcul du volume de diiode versé à l'équivalence, qui doit être pertinent.

Données utiles $n = 7{,}90 \times 10^{-2}$ mol (2.3) dans $V_{\text{fiole}} = 50$ mL ; $C_1 = 0{,}100\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; burette de 25,0 mL ; fioles jaugées de 50,0 mL et 100,0 mL ; pipettes jaugées de 10,0 mL et 20,0 mL

Relation à l'équivalence. Les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation : $n(\text{I}_2)_{\text{versé}} = \dfrac{n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})_{\text{titré}}}{2}$, soit $C_1\,V_E = \dfrac{n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})_{\text{titré}}}{2}$.

Titrage de la fiole entière. $V_E = \dfrac{n}{2\,C_1} = \dfrac{7{,}90 \times 10^{-2}}{2 \times 0{,}100} = 0{,}395\ \text{L} = 395\ \text{mL}$: c'est bien plus que les 25,0 mL de la burette. Il faut titrer environ vingt fois moins de thiosulfate, donc diluer puis ne titrer qu'un prélèvement.

Dilution au dixième. Concentration de la solution du kit : $C_0 = \dfrac{n}{V_{\text{fiole}}} = \dfrac{7{,}90 \times 10^{-2}}{50 \times 10^{-3}} = 1{,}58\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

- Prélever $V_0 = 10{,}0$ mL de la solution du kit avec la pipette jaugée de 10,0 mL.
- Les verser dans la fiole jaugée de 100,0 mL, compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, boucher et homogénéiser.

La quantité de soluté se conserve : $C = \dfrac{C_0\,V_0}{V_{\text{fille}}} = \dfrac{1{,}58 \times 10{,}0}{100{,}0} = 0{,}158\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Titrage.

- Prélever $V = 20{,}0$ mL de la solution diluée avec la pipette jaugée de 20,0 mL et les verser dans le bécher ; ajouter le barreau aimanté et quelques gouttes d'empois d'amidon.
- Remplir la burette avec la solution de diiode de concentration C_1 et ajuster le zéro.
- Sous agitation, verser le diiode, goutte à goutte à l'approche de l'équivalence.

Repérage de l'équivalence. Avant l'équivalence, le diiode versé est entièrement consommé : la solution reste incolore. Dès que les ions thiosulfate sont épuisés, le diiode n'est plus consommé et, avec l'empois d'amidon, la solution devient bleue. L'équivalence est atteinte à la première goutte qui donne une teinte bleue persistante.

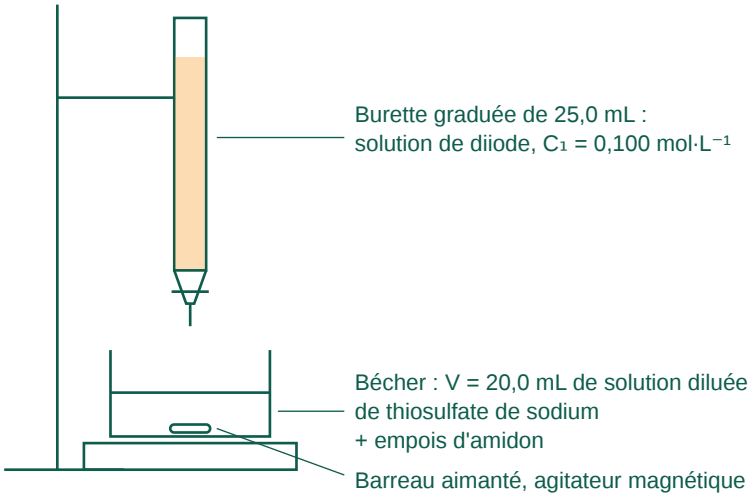
Volume attendu. $V_E = \dfrac{C\,V}{2\,C_1} = \dfrac{0{,}158 \times 20{,}0}{2 \times 0{,}100} = 15{,}8\ \text{mL}$

$V_E = 15{,}8$ mL : volume inférieur aux 25,0 mL de la burette et assez grand pour être lu avec précision, le protocole est pertinent.

PIÈGE
Oublier le coefficient 2 de l'équation : écrire $n(\text{I}_2) = n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$ double le volume équivalent, et 31,6 mL dépasserait la burette.

COMPRENDRE
Le titrage réel donnera V_E mesuré, d'où $n = 2\,C_1\,V_E \times \dfrac{100{,}0}{20{,}0} \times \dfrac{50}{10{,}0}$ pour la fiole : le volume titré représente un vingt-cinquième de son contenu.

MÉTHODE
Question ouverte : commencer par le cas le plus simple (tout titrer), constater que le volume ne convient pas, puis adapter. Cette démarche écrite rapporte des points même si le protocole final reste incomplet.



2.4 · Montage du titrage

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{7.90 \times 10^{-2}}{2 \times 0.100} \approx 0.395$$

$$\frac{7.90 \times 10^{-2}}{50 \times 10^{-3}} \approx 1.58$$

$$\frac{1.58 \times 10.0}{100.0} \approx 0.158$$

$$\frac{0.158 \times 20.0}{2 \times 0.100} \approx 15.8$$

Les caractéristiques d'un sol truffier

Bac S 2018 Liban (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Vérifier que les conditions de pH sont favorables à la culture de la truffe.

Données utiles $[H_3O^+] = 1{,}25 \times 10^{-8}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; sol truffier : pH entre 7,5 et 8,5

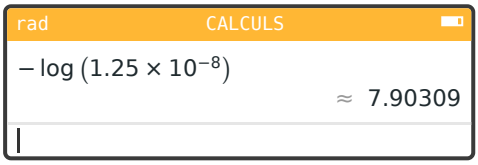
$$\text{pH} = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right) \text{ avec } c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

$$\text{pH} = -\log\left(1{,}25 \times 10^{-8}\right) = 7{,}90$$

$\text{pH} = 7{,}90$, et $7{,}5 < 7{,}90 < 8{,}5$: le pH du sol est favorable à la truffe.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : pour un pH, on garde autant de décimales que la concentration compte de chiffres significatifs. Ici trois chiffres pour $[H_3O^+]$, donc 7,90 et non 7,9.

À LA CALCULATRICE



1.2 Placer sur un axe gradué en pH les domaines de prédominance de HCO_3^-, CO_3^{2-} et CO_2, H_2O. En déduire l'espèce prédominante dans la solution de sol. Est-ce cohérent avec la réaction 1 ?

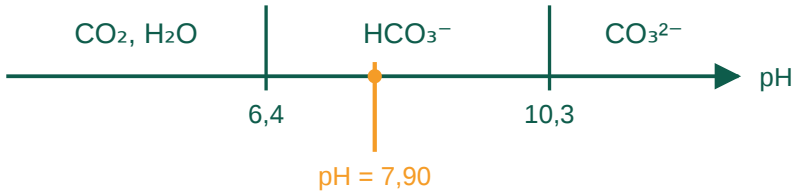
Données utiles $pK_A(CO_2, H_2O / HCO_3^-) = 6{,}4$; $pK_A(HCO_3^- / CO_3^{2-}) = 10{,}3$; $\text{pH} = 7{,}90$ (1.1)

Pour un couple acide/base, l'acide prédomine si $\text{pH} < pK_A$ et la base si $\text{pH} > pK_A$. On obtient le diagramme ci-dessous.

Dans la solution de sol, $6{,}4 < \text{pH} < 10{,}3$.

L'espèce prédominante est l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^-. C'est cohérent : HCO_3^- est l'espèce carbonatée formée par la réaction 1.

MÉTHODE
Un diagramme de prédominance se construit toujours ainsi : un axe de pH, une frontière à chaque pK_A, l'espèce la plus acide à gauche. HCO_3^-, base du premier couple et acide du second, occupe le domaine central.



1.2 · Diagramme de prédominance ; en orange, le pH de la solution de sol

1.3 Écrire l'équation de la réaction acido-basique entre le dioxyde de carbone dissous CO_2, H_2O et l'eau.

L'acide CO_2, H_2O cède un ion H^+ à l'eau, qui joue le rôle de base (couples $CO_2, H_2O / HCO_3^-$ et H_3O^+ / H_2O).

$$CO_2, H_2O\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCO_3^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

COMPRENDRE
La double flèche s'impose : CO_2, H_2O est un acide faible ($pK_A = 6{,}4$), sa réaction avec l'eau est limitée et conduit à un équilibre.

1.4 Expliquer comment évoluerait le pH du sol si la quantité de dioxyde de carbone dissous augmentait.

D'après l'équation écrite en 1.3, un apport de CO_2, H_2O entraîne la formation d'ions H_3O^+ supplémentaires : $[H_3O^+]$ augmente.

Or $\text{pH} = -\log\left([H_3O^+]/c^\circ\right)$ est une fonction décroissante de $[H_3O^+]$.

Le pH du sol diminuerait : le sol deviendrait plus acide.

PIÈGE
Confondre le sens de variation : quand $[H_3O^+]$ augmente, le pH baisse. Répondre « le pH augmente car il y a plus d'acide » fait perdre la question.

2.1 Expliquer pourquoi l'acide chlorhydrique doit être introduit en excès.

On veut déduire du volume de CO_2 recueilli la quantité totale de $CaCO_3$ contenue dans l'échantillon. Il faut donc que tout le carbonate de calcium réagisse : $CaCO_3$ doit être le réactif limitant.

Avec l'acide en excès, $CaCO_3$ est entièrement consommé ; sinon, le gaz dégagé ne correspondrait qu'à une partie du calcaire et la teneur serait sous-estimée.

2.2 La quantité de calcaire dans le sol étudié convient-elle à la culture de la truffe ?

Données utiles $V = 72\ \text{mL}$; $m = 1{,}2\ \text{g}$; $V_m = 24{,}1\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(CaCO_3) = 100{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; sol truffier : entre 20 % et 60 % en masse

Quantité de gaz recueilli : $n(CO_2) = \dfrac{V}{V_m}$.

D'après l'équation, une mole de $CaCO_3$ donne une mole de CO_2, et $CaCO_3$ est limitant : $n(CaCO_3) = n(CO_2)$.

$$m(CaCO_3) = \frac{V}{V_m} \times M(CaCO_3) = \frac{72 \times 10^{-3}}{24{,}1} \times 100{,}1 = 0{,}30\ \text{g}$$

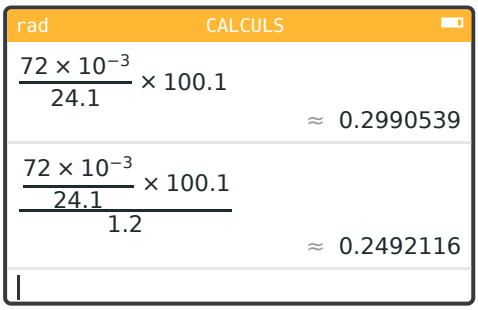
Pourcentage massique : $w = \dfrac{m(CaCO_3)}{m} = \dfrac{0{,}30}{1{,}2} = 0{,}25$

$w = 25\ \%$, compris entre 20 % et 60 % : la teneur en calcaire convient à la truffe.

PIÈGE
Laisser V en millilitres alors que V_m est en litres par mole : on trouverait 300 g de calcaire dans 1,2 g de sol. Un résultat absurde doit alerter.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme V et m, les données les moins précises.

À LA CALCULATRICE



3.1 Proposer une liste de matériel et un protocole pour préparer la solution S_3 à partir de la solution S_0. Justifier.

Données utiles $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $C_3 = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 50{,}0\ \text{mL}$

Il s'agit d'une dilution : la quantité de soluté prélevée se conserve, $C_0\,V_0 = C_3\,V$.

$$V_0 = \frac{C_3\,V}{C_0} = \frac{5{,}0 \times 10^{-3} \times 50{,}0}{1{,}0 \times 10^{-2}} = 25\ \text{mL}$$

Matériel : bécher, pipette jaugée de 25,0 mL avec propipette, fiole jaugée de 50,0 mL avec bouchon, pissette d'eau distillée.

Protocole :

- verser un peu de S_0 dans le bécher et y prélever 25,0 mL à la pipette jaugée ;
- introduire ce prélèvement dans la fiole jaugée de 50,0 mL ;
- ajouter de l'eau distillée aux trois quarts, boucher, agiter ;
- compléter jusqu'au trait de jauge, boucher, homogénéiser.

On prélève $V_0 = 25\ \text{mL}$ de S_0 (pipette jaugée) que l'on dilue dans une fiole jaugée de 50,0 mL : dilution au demi.

PIÈGE
Proposer une éprouvette graduée ou un bécher pour mesurer les volumes. Une solution étalon exige de la verrerie jaugée, et on ne pipette jamais directement dans le flacon de solution mère.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{5.0 \times 10^{-3} \times 50.0}{1.0 \times 10^{-2}} \approx 25$$

3.2 Déterminer la concentration molaire en ions cuivre $[\text{Cu}^{2+}]$ de la solution de sol préparée.

Données utiles tableau des absorbances des solutions S_1 à S_4 et S_0 ; $A_S = 0{,}035$

On trace la courbe d'étalonnage $A = f(C)$ à partir des cinq solutions étalons.

Les points sont pratiquement alignés sur une droite passant par l'origine : la loi de Beer-Lambert $A = k\,C$ est vérifiée. La droite tracée passe par exemple par le point $(10\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}\ ;\ 0{,}101)$, soit $k \approx 10\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

La solution de sol contient la même espèce absorbante, mesurée à la même longueur d'onde : on reporte $A_S = 0{,}035$ sur la droite et on lit l'abscisse correspondante, $C_S = 3{,}5\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

$$[\text{Cu}^{2+}] = 3{,}5 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

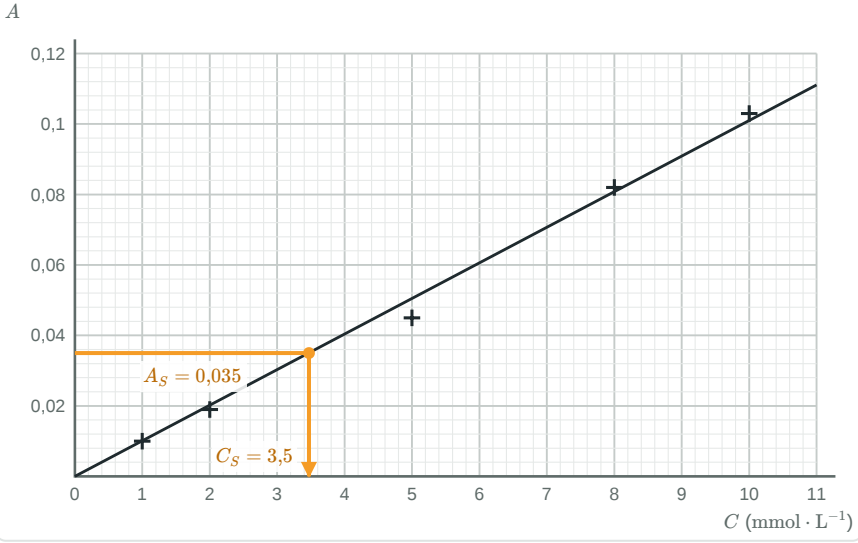
PIÈGE
Utiliser un seul étalon (par exemple S_0) pour calculer k : la démarche attendue exploite toute la gamme, par un tracé ou une modélisation. Vu la lecture graphique, deux chiffres significatifs suffisent.

MÉTHODE
Dosage par étalonnage : 1) tracer $A = f(C)$ avec les étalons ; 2) vérifier l'alignement avec l'origine ; 3) reporter l'absorbance de l'échantillon. La valeur doit tomber entre les étalons extrêmes, ce qui est le cas ici.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.035}{0.0101} \approx 3.465347$$



3.2 · Courbe d'étalonnage et lecture pour la solution de sol

3.3 En déduire la concentration massique C_{mS} (ou teneur) en ions cuivre $\mathrm{Cu^{2+}}$ dans le sol. Conclure.

Données utiles $[\mathrm{Cu^{2+}}] = 3{,}5 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ (3.2) ; $M(\mathrm{Cu^{2+}}) = 63{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; solution de 1,00 L préparée avec 500,0 g de sol ; limite : 100 mg par kg de sol

Concentration massique de la solution de sol :

$$C_{mS} = [\mathrm{Cu^{2+}}] \times M(\mathrm{Cu^{2+}}) = 3{,}5 \times 10^{-3} \times 63{,}5 = 0{,}22\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$$

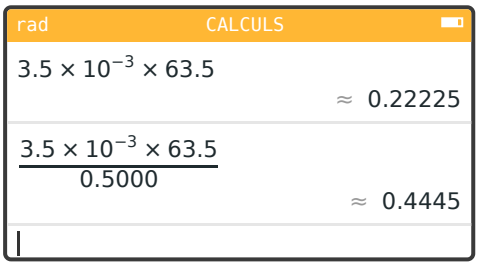
Le volume de solution étant de 1,00 L, les 500,0 g de sol ont libéré $0{,}22$ g d'ions cuivre. Rapportée à un kilogramme de sol :

$$t = \frac{0{,}22}{0{,}5000} = 0{,}44\ \mathrm{g \cdot kg^{-1}}$$

$C_{mS} = 0{,}22\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$, soit une teneur de $4{,}4 \times 10^2$ mg d'ions cuivre par kg de sol, très supérieure à 100 mg par kg : le sol contient trop de cuivre.

PIÈGE
Comparer directement $220\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$ au seuil de $100\ \mathrm{mg \cdot kg^{-1}}$: ce ne sont pas les mêmes grandeurs. Le critère porte sur un kilogramme de sol, or la solution n'en contient que 500,0 g.

À LA CALCULATRICE



4 Après ces différentes analyses, peut-on affirmer que l'échantillon de sol étudié est propice à la culture de la truffe ?

Données utiles $\mathrm{pH} = 7{,}90$ (1.1) ; 25 % de $\mathrm{CaCO_3}$ (2.2) ; $4{,}4 \times 10^2$ mg de cuivre par kg (3.3)

Bilan des trois critères :

- pH : 7,90, compris entre 7,5 et 8,5, critère respecté ;
- calcaire : 25 % en masse, compris entre 20 % et 60 %, critère respecté ;
- cuivre : $4{,}4 \times 10^2$ mg par kg, au-delà de la limite de 100 mg par kg, critère non respecté.

Non : malgré un pH et une teneur en calcaire convenables, l'excès de cuivre rend ce sol impropre à la culture de la truffe.

MÉTHODE
Pour une question de synthèse, reprendre chaque critère du sujet avec la valeur trouvée, puis conclure : les conditions sont cumulatives, un seul critère non respecté suffit à répondre non.

Spécialité : Choix d'un adoucisseur d'eau

Bac S 2018 Liban (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

Q Question préliminaire. Faire un schéma légendé du montage utilisé lors du titrage effectué par le technicien, en précisant les solutions présentes.

Données utiles prise d'essai : $20{,}0$ mL d'eau ; EDTA : $c = 5{,}00 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; 50 mL de solution tampon pH 10 ; noir ériochrome T (NET)

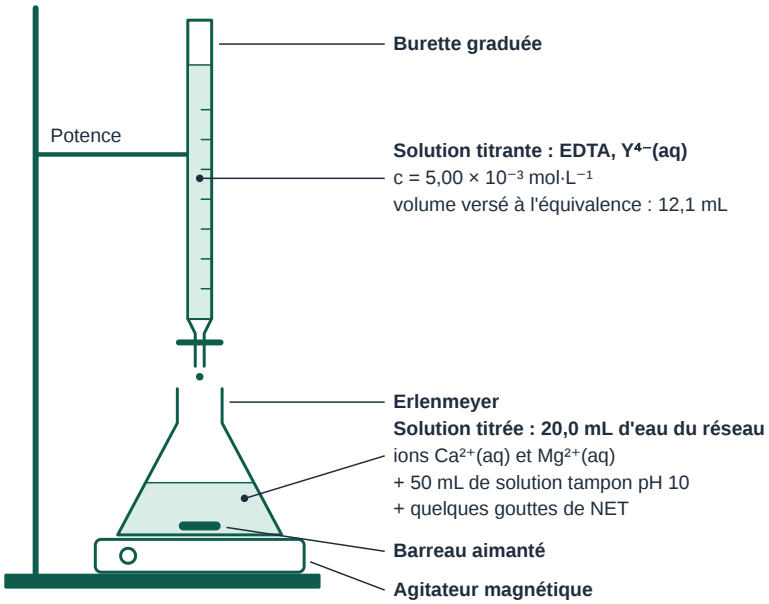
La solution d'EDTA a une concentration connue : c'est la solution titrante, placée dans la burette graduée.

L'eau du réseau contient les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} dont on cherche la concentration totale : c'est la solution titrée, placée dans l'erlenmeyer avec la solution tampon et l'indicateur coloré, sous agitation magnétique.

Burette : solution d'EDTA $\text{Y}^{4-}\,(\text{aq})$. Erlenmeyer : $20{,}0$ mL d'eau du réseau, solution tampon pH 10 et quelques gouttes de NET (schéma ci-dessous).

PIÈGE
Un schéma sans le nom des solutions ne rapporte pas tous les points : la question demande ce que contiennent la burette et l'erlenmeyer, pas seulement la verrerie.

COMPRENDRE
Les $20{,}0$ mL d'eau se prélèvent à la pipette jaugée. Le tampon et l'indicateur n'entrent pas dans le calcul : une éprouvette suffit pour les 50 mL.



Q · Montage du titrage de l'eau du réseau par la solution d'EDTA

P Problème. Rédiger un rapport sur l'installation d'un adoucisseur dans ce foyer de quatre personnes : dureté de l'eau analysée, choix justifié du modèle, nombre moyen de jours entre deux régénérations.

Données utiles $V_{\text{eau}} = 20{,}0$ mL ; $c = 5{,}00 \times 10^{-3}$ mol · L^{-1} ; $V_E = 12{,}1$ mL ; consommation : 500 L par jour ; documents 1, 4 et 5

1. Dureté de l'eau. Chaque ion Ca^{2+} ou Mg^{2+} réagit avec un ion Y^{4-} (document 2). À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :

$n(Ca^{2+}) + n(Mg^{2+}) = n_E(Y^{4-})$, soit $\left([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]\right) V_{\text{eau}} = c\,V_E$.

$$[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] = \frac{c\,V_E}{V_{\text{eau}}} = \frac{5{,}00 \times 10^{-3} \times 12{,}1}{20{,}0} = 3{,}03 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

soit $3{,}03$ mmol · L^{-1}.

D'après le document 1 : $TH = 10 \times 3{,}03 = 30{,}3$ °f.

2. Choix de l'adoucisseur. Comme $27 < 30{,}3 < 36$, l'eau est classée « dure ». Pour quatre personnes, le document 4 indique un volume de résine de 18 L. Dans le document 5, ce volume correspond au modèle 02, de pouvoir d'échange 99 m^3·°f.

3. Durée entre deux régénérations. Volume d'eau adoucie par cycle :

$$\text{Cycle} = \frac{\text{pouvoir d'échange}}{\text{dureté}} = \frac{99}{30{,}3} = 3{,}27\ \text{m}^3 = 3{,}27 \times 10^3\ \text{L}$$

Le foyer consomme 500 L par jour : $N = \dfrac{3{,}27 \times 10^3}{500} = 6{,}5$ jours.

$TH = 30{,}3$ °f (eau dure) ; adoucisseur modèle 02 (18 L de résine) ; une régénération tous les $6{,}5$ jours environ, soit à peu près une fois par semaine.

PIÈGE
La formule du document 1 exige des concentrations en mmol · L^{-1}. Avec $3{,}03 \times 10^{-3}$ mol · L^{-1} on trouverait $0{,}03$ °f. Autre oubli fréquent : convertir le cycle en litres avant de diviser par 500 L.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs pour la dureté, comme c, V_E et V_{eau}. Le pouvoir d'échange (99) n'en a que deux : la durée finale s'écrit $6{,}5$ jours, avec un chiffre de plus gardé dans le calcul intermédiaire.

COMPRENDRE
Les réactions de complexation par l'EDTA ne figurent plus au programme actuel de spécialité. Le raisonnement à l'équivalence, lui, reste exigible : seule compte la stœchiométrie fournie, ici un ion titré pour un ion Y^{4-}.

À LA CALCULATRICE

