Phytoremédiation

Bac 2026 Asie-Pacifique Jour 2 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Définir l'équivalence d'un titrage.

L'équivalence est l'état du titrage où le réactif titré et le réactif titrant ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction support du titrage.

À l'équivalence, les deux réactifs sont entièrement consommés : on change de réactif limitant.

PIÈGE
Écrire « les quantités de matière sont égales ». C'est faux dès que les nombres stœchiométriques diffèrent, comme ici (1 pour I_2, 2 pour $S_2O_3^{2-}$).

Q2 Déterminer, en justifiant, l'oxydant et le réducteur intervenant lors du titrage du diiode I_2 par les ions thiosulfate $S_2O_3^{2-}$.

On décompose l'équation du titrage en deux demi-équations électroniques :

$I_2\,(aq) + 2\,e^- = 2\,I^-\,(aq)$: le diiode capte des électrons.

$2\,S_2O_3^{2-}\,(aq) = S_4O_6^{2-}\,(aq) + 2\,e^-$: les ions thiosulfate cèdent des électrons.

I_2 est l'oxydant (couple I_2 / I^-) et $S_2O_3^{2-}$ est le réducteur (couple $S_4O_6^{2-}$ / $S_2O_3^{2-}$).

COMPRENDRE
Un oxydant capte des électrons, un réducteur en cède. Les réactifs d'une réaction d'oxydoréduction sont toujours l'oxydant d'un couple et le réducteur d'un autre couple.

MÉTHODE
Vérifier chaque demi-équation : conservation des éléments (2 I, 4 S, 6 O), puis des charges ($0 - 2 = -2$ pour l'iode ; $-4 = -2 - 2$ pour le soufre).

Q3 Donner, à l'équivalence, la relation entre la quantité de matière de diiode $n_1(I_2)$ et la quantité de matière des ions thiosulfate $n_E(S_2O_3^{2-})$.

D'après l'équation $I_2 + 2\,S_2O_3^{2-} \longrightarrow 2\,I^- + S_4O_6^{2-}$, une mole de diiode réagit avec deux moles d'ions thiosulfate.

$$\frac{n_1(I_2)}{1} = \frac{n_E(S_2O_3^{2-})}{2}$$

PIÈGE
Placer le 2 du mauvais côté. Il faut deux fois plus d'ions thiosulfate que de diiode : $n_E(S_2O_3^{2-}) = 2\,n_1(I_2)$.

MÉTHODE
À l'équivalence, on divise chaque quantité de matière par son nombre stœchiométrique et on écrit l'égalité des quotients.

Q4 Écrire la relation entre la quantité de matière de diiode formée $n_1(I_2)$ et celle des ions cuivre $n_0(Cu^{2+})$ présents dans le volume V_1.

Tableau d'avancement de la réaction de formation du diiode (quantités en mol) :

	$2\,Cu^{2+}$	$4\,I^-$	$2\,CuI$	I_2
État initial	n_0	excès	0	0
État final	$n_0 - 2x_{max}$	excès	$2x_{max}$	x_{max}

Les ions iodure sont en excès : Cu^{2+} est le réactif limitant, donc $n_0 - 2x_{max} = 0$, soit $x_{max} = \frac{n_0}{2}$. Or $n_1(I_2) = x_{max}$.

$$n_1(I_2) = \frac{n_0(Cu^{2+})}{2}$$

COMPRENDRE
C'est un titrage indirect : on ne titre pas les ions Cu^{2+}, mais le diiode qu'ils ont formé. L'excès d'ions iodure garantit que tout le cuivre a réagi.

Q5 En déduire que la quantité de matière d'ions cuivre contenue dans le volume V_1 est $n_0(\mathrm{Cu}^{2+}) = 3{,}0 \times 10^{-4}$ mol.

Données utiles $c_2 = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_E = 15{,}0$ mL

D'après Q4 : $n_0(\mathrm{Cu}^{2+}) = 2\,n_1(\mathrm{I_2})$. D'après Q3 : $n_1(\mathrm{I_2}) = \dfrac{n_E(\mathrm{S_2O_3^{2-}})}{2}$.

Donc $n_0(\mathrm{Cu}^{2+}) = n_E(\mathrm{S_2O_3^{2-}}) = c_2 \times V_E$.

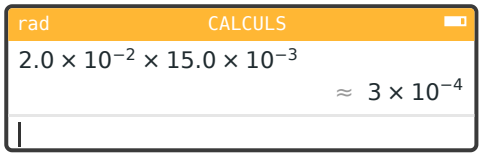
$$n_0(\mathrm{Cu}^{2+}) = 2{,}0 \times 10^{-2} \times 15{,}0 \times 10^{-3}$$

$n_0(\mathrm{Cu}^{2+}) = 3{,}0 \times 10^{-4}$ mol : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Laisser V_E en millilitres : c_2 est en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, il faut $V_E = 15{,}0 \times 10^{-3}$ L.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c_2, la donnée la moins précise. Les deux facteurs 2 se compensent : il y a autant d'ions cuivre dans le prélèvement que d'ions thiosulfate versés à l'équivalence.

À LA CALCULATRICE



Q6 Calculer la valeur de la masse $m(\mathrm{Cu}^{2+})$ de cuivre présent dans 1 kg de terre viticole analysée.

Données utiles $n_0(\mathrm{Cu}^{2+}) = 3{,}0 \times 10^{-4}$ mol (Q5) ; $M(\mathrm{Cu}) = 63{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $V_1 = 50{,}0$ mL ; $V_0 = 1$ L

Tout le cuivre du kilogramme de terre se retrouve dans le litre de solution S_0. Le prélèvement V_1 n'en est qu'une fraction : $\dfrac{V_0}{V_1} = \dfrac{1000}{50{,}0} = 20$.

Quantité d'ions cuivre dans S_0 : $n(\mathrm{Cu}^{2+}) = 20 \times n_0(\mathrm{Cu}^{2+})$.

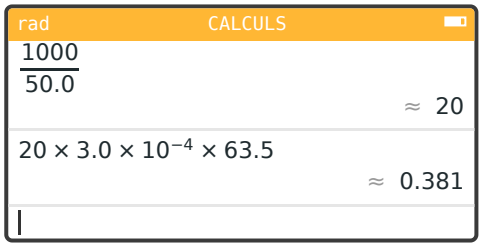
Masse : $m(\mathrm{Cu}^{2+}) = 20 \times n_0(\mathrm{Cu}^{2+}) \times M(\mathrm{Cu})$

$$m(\mathrm{Cu}^{2+}) = 20 \times 3{,}0 \times 10^{-4} \times 63{,}5 = 0{,}381\ \mathrm{g}$$

$m(\mathrm{Cu}^{2+}) = 0{,}38$ g, soit environ $3{,}8 \times 10^2$ mg de cuivre par kg de terre.

PIÈGE
S'arrêter à la masse contenue dans les 50,0 mL prélevés (0,019 g). La question porte sur le kilogramme de terre, donc sur le litre entier de S_0.

À LA CALCULATRICE



Q7 Déterminer la valeur du nombre minimum N_{min} de cycles de culture à réaliser pour atteindre la teneur limite en cuivre pour l'agriculture biologique.

Données utiles $m(\mathrm{Cu}^{2+}) = 381$ mg par kg de terre (Q6, valeur non arrondie) ; $m_t = 150$ mg par kg ; $m_e = 90$ mg par kg et par cycle

Après N cycles, la masse de cuivre restante par kg de terre est $m(\mathrm{Cu}^{2+}) - N \times m_e$. Elle doit être inférieure ou égale à la teneur limite :

$$m(\mathrm{Cu}^{2+}) - N \times m_e \leqslant m_t \quad \text{soit} \quad N \geqslant \frac{m(\mathrm{Cu}^{2+}) - m_t}{m_e}$$

$$N \geqslant \frac{381 - 150}{90} \approx 2{,}6$$

N est un nombre entier : on prend l'entier immédiatement supérieur.

Vérification : après 2 cycles il reste $381 - 2 \times 90 = 201$ mg par kg (trop) ; après 3 cycles, $381 - 3 \times 90 = 111$ mg par kg (conforme).

$N_{min} = 3$ cycles de culture.

PIÈGE
Arrondir 2,6 à 2 ou laisser un nombre décimal de cycles. Calculer $\dfrac{381}{90}$ est aussi une erreur : on ne cherche pas à retirer tout le cuivre, seulement à descendre sous 150 mg par kg.

MÉTHODE
Question à prise d'initiative : annoncer la démarche, poser l'inégalité, calculer, puis conclure par une phrase. Vérifier le résultat sur les deux entiers voisins sécurise la réponse.

À LA CALCULATRICE

