Additif alimentaire pour les agneaux

Bac 2021 Amérique du Nord Sujet 2 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

A.1 Indiquer, en justifiant, si la transformation mise en jeu lors du titrage est une réaction acido-basique ou d'oxydo-réduction.

L'ion ammonium cède un ion hydrogène H^+ à l'ion hydroxyde, qui le capte :

- couple NH_4^+ / NH_3 : $NH_4^+ = NH_3 + H^+$;
- couple H_2O / HO^- : $HO^- + H^+ = H_2O$.

Aucun électron n'est échangé.

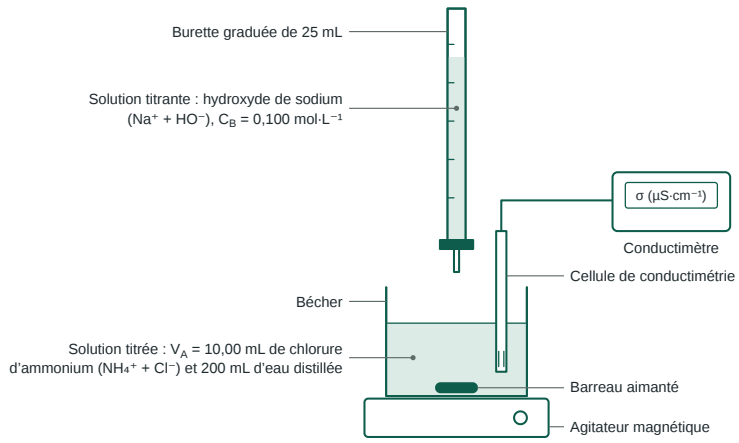
Transfert d'un ion H^+ de l'acide NH_4^+ vers la base HO^- : c'est une réaction **acido-basique**.

MÉTHODE
Pour trancher, chercher la particule échangée : un ion H^+ pour une réaction acido-basique, des électrons pour une oxydo-réduction. Les deux demi-équations suffisent à le prouver.

A.2 Réaliser un schéma légendé du dispositif de titrage conductimétrique, en nommant la verrerie et les solutions.

Le schéma montre la burette graduée contenant la solution titrante, le bécher contenant la solution titrée diluée, la cellule de conductimétrie plongée dans le bécher et reliée au conductimètre, et l'agitateur magnétique avec son barreau aimanté.

Schéma légendé ci-dessous : solution titrante d'hydroxyde de sodium dans la burette, solution titrée de chlorure d'ammonium dans le bécher.



A.2 · Dispositif du titrage conductimétrique

PIÈGE
Dessiner une sonde de pH ou oublier le conductimètre. Chaque solution doit être nommée : écrire seulement « solution titrante » et « solution titrée » ne rapporte pas tous les points.

COMPRENDRE
Les 10,00 mL sont prélevés à la pipette jaugée ; les 200 mL d'eau, mesurés à l'éprouvette, servent à immerger la cellule et à rendre la dilution négligeable pendant le titrage.

A.3 Exprimer, en fonction des données, la concentration C_A en chlorure d'ammonium de la solution préparée par l'éleveur, puis calculer sa valeur.

Données utiles $V_A = 10{,}00$ mL ; $C_B = 0{,}100\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; courbe de titrage

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques. Les nombres stœchiométriques valent 1, donc $n(\text{NH}_4^+)_{\text{initial}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versé}}$, soit $C_A\,V_A = C_B\,V_{eq}$:

$$C_A = \frac{C_B\,V_{eq}}{V_A}$$

Sur la courbe, on trace les deux droites qui modélisent les points avant et après la rupture de pente : elles se coupent en $V_{eq} = 14{,}0$ mL.

$$C_A = \frac{0{,}100 \times 14{,}0}{10{,}00}$$

$$\boxed{C_A = 0{,}140\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

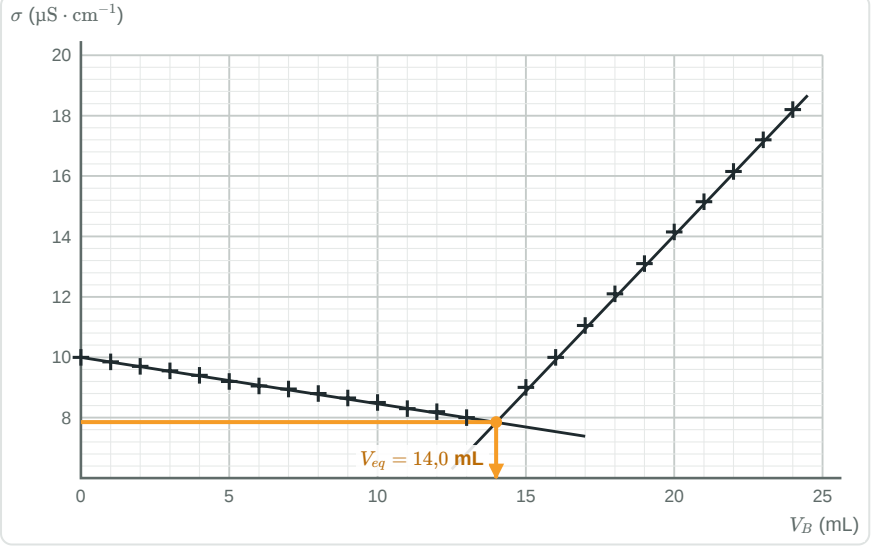
PIÈGE
Diviser par 210 mL. L'eau ajoutée ne change pas la quantité d'ions ammonium à titrer : le volume à utiliser est celui de la prise d'essai, $V_A = 10{,}00$ mL.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme C_B et V_{eq}. Les deux volumes peuvent rester en mL : leur rapport est sans unité.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.100 \times 14.0}{10.00} \approx 0.14$$



A.3 · Courbe du sujet : les deux droites se coupent à l'équivalence

A.4 Proposer un encadrement de la concentration de la solution préparée par l'éleveur.

Données utiles $U(C_B) = 0{,}002\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $U(V_{eq}) = 0{,}1$ mL ; pipette jaugée : $U(V_A) = 0{,}02$ mL ; C_A (A.3) ; V_{eq} (A.3)

V_A est prélevé à la pipette jaugée de 10 mL : $U(V_A) = 0{,}02$ mL.

$$U(C_A) = 0{,}140 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}002}{0{,}100}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{14{,}0}\right)^2 + \left(\frac{0{,}02}{10{,}00}\right)^2}$$

On obtient $U(C_A) = 2{,}99 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. L'incertitude est arrondie par excès à un chiffre significatif : $U(C_A) = 0{,}003\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, d'où $C_A = (0{,}140 \pm 0{,}003)\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

$$\boxed{0{,}137\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \leqslant C_A \leqslant 0{,}143\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

PIÈGE
Prendre l'incertitude de l'éprouvette (1 mL) ou de la burette (0,05 mL). L'éprouvette ne mesure que l'eau ajoutée, et l'incertitude sur V_{eq} est déjà donnée : 0,1 mL.

COMPRENDRE
Le terme dominant est celui de C_B (2 %) : c'est la concentration de la solution titrante, plus que la verrerie, qui limite ici la précision du résultat.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$0.140 \times \sqrt{\left(\frac{0.002}{0.100}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{14.0}\right)^2 + \left(\frac{0.02}{10.00}\right)^2} \approx 0.002986369$$

A.5 Déterminer la masse de chlorure d'ammonium apportée quotidiennement à l'agneau par l'éleveur et la comparer à la valeur préconisée.

Données utiles $M = 53{,}5\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $V = 1$ L par jour ; agneau de 24 kg ; 300 mg par kg à 10 % près ; encadrement de C_A (A.4)

Masse apportée chaque jour, dans $V = 1$ L de solution : $m = C_A\,V\,M$.

$m = 0{,}140 \times 1 \times 53{,}5 = 7{,}49$ g, et avec l'encadrement de C_A :

$0{,}137 \times 53{,}5 \leqslant m \leqslant 0{,}143 \times 53{,}5$, soit $7{,}33\ \text{g} \leqslant m \leqslant 7{,}65\ \text{g}$.

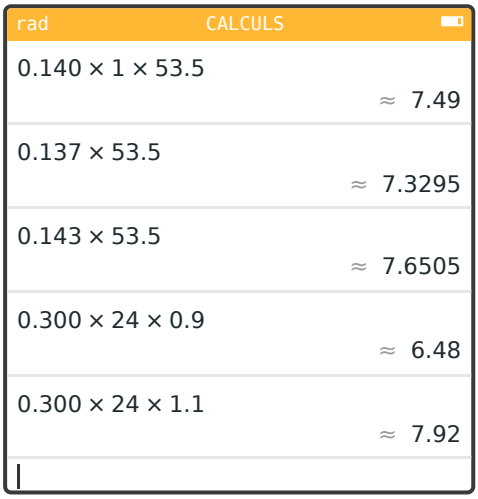
Masse préconisée pour 24 kg : $m' = 0{,}300 \times 24 = 7{,}2$ g à 10 % près, soit $6{,}5\ \text{g} \leqslant m' \leqslant 7{,}9\ \text{g}$.

$m = 7{,}49$ g, comprise entre 6,5 g et 7,9 g : la préparation de l'éleveur est conforme à la préconisation.

PIÈGE
Comparer 7,49 g à 300 mg sans multiplier par la masse de l'agneau, ou oublier de convertir les milligrammes en grammes.

MÉTHODE
Pour juger une conformité, comparer deux intervalles : celui de la mesure (avec son incertitude) et celui de la tolérance. Ici le premier est entièrement contenu dans le second.

À LA CALCULATRICE



B.1 Compléter le code à écrire aux lignes 6, 7 et 8.

Dans l'équation $\text{NH}_4^+ + \text{HO}^- \longrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$, l'espèce titrée A est NH_4^+, l'espèce titrante B est HO^- et le produit C est NH_3 : leurs nombres stœchiométriques valent tous 1.

Ligne 6 : `a=1` ; ligne 7 : `b=1` ; ligne 8 : `c=1`

B.2 Identifier les espèces qui correspondent aux variables nS_A et nS_B.

`nS_A` reçoit toujours `Ca*Va` : cette quantité, constante, est celle d'une espèce apportée par la solution titrée et qui ne réagit pas, l'ion chlorure.

`nS_B` reçoit toujours `Cb*Vb` : cette quantité, proportionnelle au volume versé, est celle d'une espèce apportée par la solution titrante et qui ne réagit pas, l'ion sodium.

`nS_A` : ion chlorure Cl^- ; `nS_B` : ion sodium Na^+ (les deux ions spectateurs).

COMPRENDRE
Les lignes 21-22 et 27-28 sont identiques avant et après l'équivalence : ces quantités ne dépendent pas de la réaction, ce qui caractérise des ions spectateurs.

B.3 En justifiant le raisonnement, indiquer pour chaque graphe l'espèce chimique correspondante.

Données utiles $V_{eq} = 14{,}0$ mL (A.3) ; $C_A V_A = 0{,}14 \times 10{,}0 = 1{,}4$ mmol

- **Figure 1** : quantité nulle jusqu'à 14 mL, puis croissante. C'est le réactif titrant, entièrement consommé avant l'équivalence et en excès après : HO^-.
- **Figure 2** : quantité constante, égale à 1,40. C'est l'ion spectateur présent dès le départ dans le bécher : Cl^-.
- **Figure 3** : quantité croissante jusqu'à 14 mL, puis constante à 1,4. C'est le produit, qui cesse de se former quand NH_4^+ est épuisé : NH_3.
- **Figure 4** : quantité proportionnelle au volume versé pendant tout le titrage. C'est l'ion spectateur apporté par la burette : Na^+.
- **Figure 5** : quantité décroissante de 1,4 à 0, puis nulle après 14 mL. C'est le réactif titré : NH_4^+.

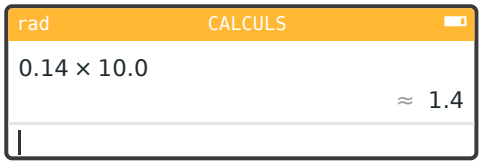
Remarque : les ordonnées sont notées en mol, mais le programme multiplie des $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ par des mL : les valeurs sont en mmol.

Figure 1 : HO^- ; figure 2 : Cl^- ; figure 3 : NH_3 ; figure 4 : Na^+ ; figure 5 : NH_4^+

PIÈGE
Confondre les figures 3 et 4, toutes deux croissantes au départ. Seule la quantité du produit plafonne à l'équivalence ; celle de Na^+ continue d'augmenter jusqu'à 2,5 pour 25 mL versés.

COMPRENDRE
Erreur d'unité du sujet : 1,4 mol d'ions dans 10 mL est impossible. Avec `Va` et `Vb` en mL, le programme calcule des millimoles ; le raisonnement sur l'allure des courbes reste inchangé.

À LA CALCULATRICE



B.4 Compléter le code des lignes 12 et 19.

Ligne 12 : à l'équivalence, $\frac{C_A V_A}{a} = \frac{C_B V_{eq}}{b}$, donc $V_{eq} = \frac{b\,C_A V_A}{a\,C_B}$. Avec `Va` en mL, `Veq` est bien en mL.

Ligne 19 : avant l'équivalence ($V_B < V_{eq}$), l'espèce titrante B est le réactif limitant : elle est entièrement consommée dès qu'elle est versée, sa quantité est nulle.

Ligne 12 : `Veq=b*Ca*Va/(a*Cb)` (ou `Veq=Ca*Va/Cb` puisque $a = b = 1$) ; ligne 19 : `nB.append(0)`

COMPRENDRE
Le programme donne `Veq` = 14,0 mL : c'est bien l'abscisse de la rupture de pente des figures 1, 3 et 5, et la valeur lue sur la courbe expérimentale.

À LA CALCULATRICE

