EXERCICE C : « L'AMMONIAQUE », UN PRODUIT MÉNAGER COURANT (5 points)



« L'ammoniaque » est une solution obtenue en dissolvant du gaz ammoniac, $NH_3(g)$, dans l'eau. Cette solution est présente dans de nombreux produits d'entretien.
On dispose d'une bouteille « d'ammoniaque » achetée dans le commerce dont l'étiquette précise : « Ammoniaque concentration 13% ».
« 13% » correspond au titre massique de la solution commerciale en ammoniac.
On souhaite mettre en œuvre un protocole permettant de déterminer la concentration en ammoniac dans la solution commerciale.

Données à 25°C :

- Masse molaire de l'ammoniac : $M(NH_3) = 17{,}0\ g{\cdot}mol^{-1}$
- Produit ionique de l'eau : $K_e = 1{,}0\times10^{-14}$
- Densité de la solution d'ammoniaque commerciale : $d = 0{,}97$
- pKa = − log K_a
- couple acide-base : NH_4^+ (aq) / NH_3 (aq), $pK_a = 9{,}2$
- NH_4^+ est la formule chimique de l'ion ammonium

Étude préliminaire : étude du couple ion ammonium/ammoniac

L'ammoniac est très soluble dans l'eau.

1. Préciser si l'ammoniac est un acide ou une base en solution aqueuse. Justifier.
2. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation mise en jeu entre l'ammoniac dissous, $NH_3(aq)$, et l'eau.
3. Donner la valeur de la constante d'acidité K_a du couple NH_4^+ (aq) / NH_3 (aq). Rappeler la relation la liant, à l'équilibre, aux concentrations des espèces.
4. Tracer le diagramme de prédominance du couple NH_4^+ (aq) / NH_3 (aq).
5. Expliquer comment retrouver le pK_a du couple NH_4^+ (aq) / NH_3 (aq) à partir du diagramme de distribution représenté en figure 1.

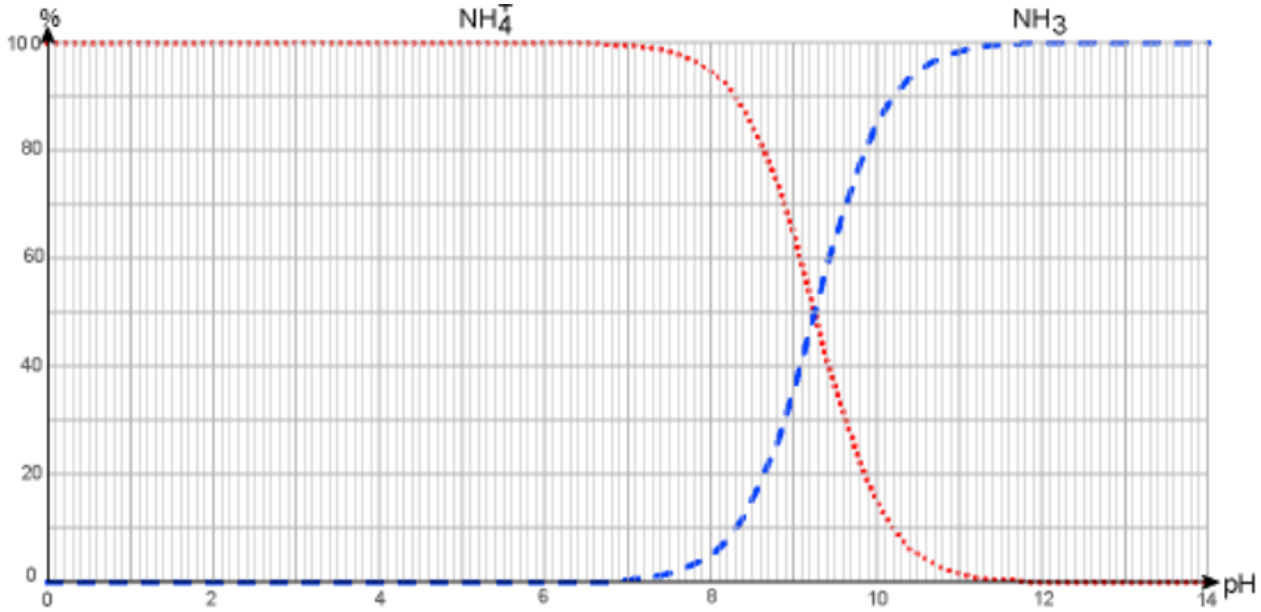


figure 1 : diagramme de distribution du couple $NH_4^+(aq)$ / $NH_3(aq)$ en fonction du pH

Concentration attendue en ammoniac dans la solution commerciale

6. À partir de la donnée figurant sur l'étiquette, montrer que la concentration en quantité de matière de l'ammoniac dans la solution commerciale est de l'ordre de 7,4 mol.L^{-1}.

Titrage de la solution « d'ammoniaque » commerciale

La solution S_0 de la bouteille « d'ammoniaque » étant trop concentrée pour réaliser le titrage, une solution S_d, 100 fois moins concentrée est préparée et on réalise un titrage suivi par pH-métrie de cette solution diluée.

- On prélève un volume V_d = 10,0 mL de solution S_d.
- On titre ce prélèvement par une solution d'acide chlorhydrique (H_3O^+ (aq), Cl^- (aq)) de concentration $C_A = (5{,}00 \pm 0{,}02) \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}.

Les résultats des mesures effectuées au cours du titrage et leur exploitation sont présentés dans la **figure 2**.

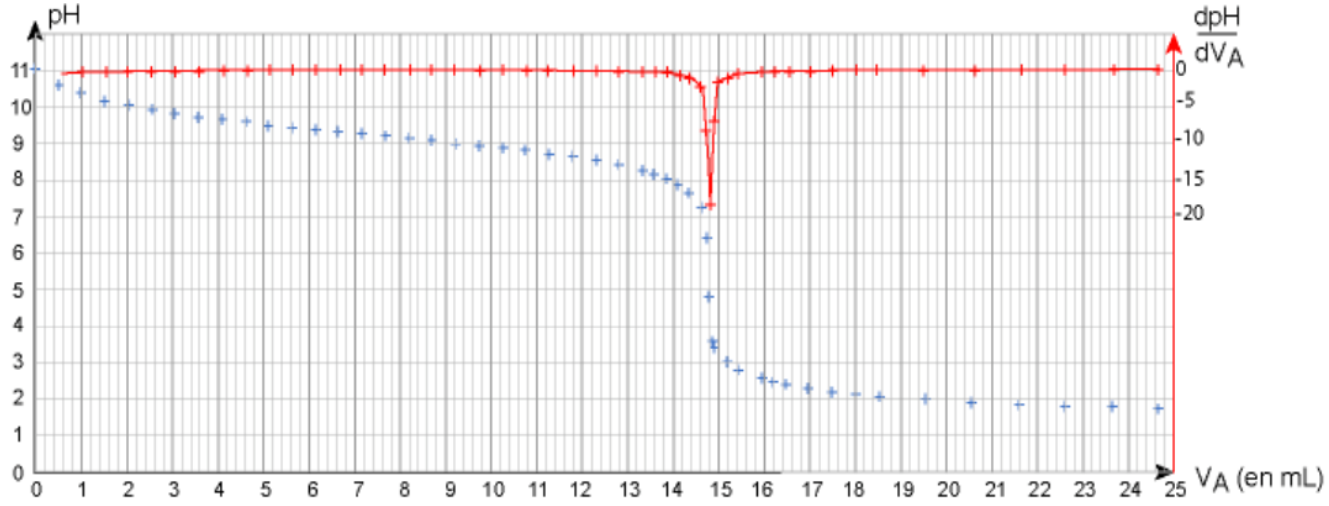


figure 2 : évolution du *pH* et de sa dérivée en fonction de V_A

7. À partir des résultats expérimentaux,

- déterminer la valeur du pH de la solution S_d ;
- déterminer l'espèce de couple ammonium/ammoniac prédominante au début du titrage, et celle prédominante à la fin du titrage ;
- en déduire que l'équation de la réaction acide-base support du titrage est la suivante :

$$NH_3\ (aq) + H_3O^+\ (aq) \rightarrow NH_4^+\ (aq) + H_2O\ (\ell)$$

8. Définir l'équivalence du titrage et déterminer le volume équivalent V_E de ce titrage.

9. Déterminer la valeur de la concentration C_d en ammoniac dans la solution S_d.

Les incertitudes-types sur les volumes prélevés sont estimées à 0,2 mL.
Par ailleurs, l'incertitude-type $u(C_d)$ sur la concentration C_d se déduit des grandeurs mesurées par :

$$\frac{u(C_d)}{C_d} = \sqrt{\left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(C_A)}{C_A}\right)^2 + \left(\frac{u(V_d)}{V_d}\right)^2}$$

Enfin, dans ces conditions expérimentales, le rapport entre la concentration C de la solution S_0 de la bouteille « d'ammoniaque » et son incertitude $u(C)$ est considéré comme étant le même qu'entre la concentration C_d de la solution diluée S_d et son incertitude $u(C_d)$:

$$\frac{u(C)}{C} = \frac{u(C_d)}{C_d}$$

10. Déterminer la valeur de l'incertitude-type $u(C)$ sur la concentration en ammoniac de la solution S_0 commerciale. Écrire le résultat de la mesure de cette concentration C avec son incertitude.

11. Confronter la valeur de la concentration déterminée expérimentalement avec l'indication de l'étiquette de la bouteille « d'ammoniaque » commerciale.
Commenter.