EXERCICE III. ÉTUDE D'UNE TRANSFORMATION CHIMIQUE (4 points)

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un professeur propose à ses élèves de déterminer la valeur du taux d'avancement final d'une transformation en effectuant une mesure pH-métrique et une mesure conductimétrique.

1. Solution de départ

Une solution commerciale, notée S_0, d'un acide AH porte les indications suivantes :



Acide AH
$c_0 = 17{,}5$ mol.L^{-1}

R36/R38 : Irritant pour la peau et les yeux
R37 : Irritant pour les voies respiratoires

Pour la suite, et tant qu'il n'aura pas été identifié, l'acide contenu dans la bouteille sera noté AH et sa base conjuguée A^-.

1.1. Donner la définition d'une espèce acide au sens de Brönsted.

1.2. Quelles précautions doit-on prendre pour manipuler ce produit ?

2. Accès à la valeur du taux d'avancement final par une mesure pH-métrique

Dans une fiole jaugée de volume $V = 500{,}0$ mL, partiellement remplie d'eau distillée, le professeur verse avec précautions 1,00 mL de la solution S_0 d'acide AH, puis il complète jusqu'au trait de jauge. La solution obtenue est notée S_1.

2.1. Déterminer la valeur de c_1, concentration molaire en soluté apporté de la solution S_1.

2.2. Compléter la ligne 1 du tableau d'avancement donné en **annexe (à rendre avec la copie)** en écrivant l'équation de la réaction acido-basique entre l'acide AH et l'eau.

2.3. On note x l'avancement de la réaction. Compléter les lignes 2, 3, 4 et 5 du tableau d'avancement donné en **annexe (à rendre avec la copie)** en fonction de c_1, V, x, x_{max} ou x_f.

2.4. Déterminer la valeur de l'avancement maximal de la réaction noté x_{max} en considérant la transformation comme totale.

Les élèves, après avoir étalonné un pH-mètre, mesurent le pH de la solution S_1 : ils obtiennent pH = 3,1.

2.5. Quelle est la valeur de la concentration finale en ions oxonium $\left[H_3O^+\right]_{1,f}$? En déduire la valeur de l'avancement final de la réaction noté x_{1f}.

2.6. La transformation associée à la réaction de l'acide AH sur l'eau est-elle totale ou limitée ? Justifier.

2.7. Donner la définition du taux d'avancement final d'une transformation chimique.

2.8. Calculer la valeur du taux d'avancement final τ_1, de la transformation associée à la réaction de l'acide AH sur l'eau.

Sur leur énoncé de TP, les élèves ont à leur disposition quelques valeurs du taux d'avancement final de la réaction d'un acide sur l'eau pour des solutions de même concentration c_1.

Acide contenu dans la solution	Valeur du taux d'avancement final
Acide méthanoïque HCOOH	0,072
Acide éthanoïque CH_3COOH	0,023
Acide propanoïque CH_3CH_2COOH	0,018

2.9. Identifier l'acide contenu dans la solution S_0.

3. Accès à la valeur du taux d'avancement final par une mesure conductimétrique

Dans la seconde partie de la séance, le professeur donne une solution aqueuse S_2 de l'acide précédent à la concentration $c_2 = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol.L^{-1}.
Les élèves procèdent à une mesure conductimétrique sur un volume V_2 de cette solution : ils trouvent une conductivité de valeur $\sigma_2 = 1{,}07 \times 10^{-2}$ S.m^{-1}.
La réaction support de cette étude est toujours la réaction de l'acide AH sur l'eau écrite à la question 2.2.

On rappelle que la conductivité σ d'une solution s'exprime selon la loi : $\sigma = \sum_i \lambda_i [X_i]$ où $[X_i]$ représente la concentration molaire d'une espèce ionique exprimée en mol.m^{-3} et λ_i la conductivité molaire ionique de cette espèce exprimée en S.m².mol^{-1}.
On donne les valeurs des conductivités molaires ioniques des ions suivants :

$\lambda_{A^-} = 4{,}1 \times 10^{-3}$ S.m².mol^{-1}

$\lambda_{H_3O^+} = 35 \times 10^{-3}$ S.m².mol^{-1}

3.1. Donner l'expression de la conductivité σ_2 en fonction des concentrations molaires ioniques $[H_3O^+]_{2,f}$ et $[A^-]_{2,f}$. On négligera la contribution des ions hydroxyde $[HO^-]$.

3.2. En déduire l'expression de σ_2 en fonction de la concentration finale en ions oxonium $[H_3O^+]_{2,f}$ dans la solution S_2 et des conductivités molaires ioniques λ_{A^-} et $\lambda_{H_3O^+}$.

3.3. Calculer la valeur de la concentration finale exprimée en mol.L^{-1} en ions oxonium $[H_3O^+]_{2,f}$ dans la solution S_2.

On admet que le taux d'avancement final τ_2 de la transformation étudiée est donné par l'expression suivante : $\tau_2 = \dfrac{[H_3O^+]_{2,f}}{c_2}$.

3.4. Calculer la valeur du taux d'avancement final τ_2 pour la transformation chimique entre l'acide AH et l'eau à la concentration c_2.

3.5. La valeur de τ_2 est-elle égale ou différente de celle de τ_1, calculée à la question 2.8. ? Ce résultat était-il prévisible ? Expliquer.

ANNEXE (À RENDRE AVEC LA COPIE)

Questions 2.2. et 2.3.

Ligne 1	**équation de la réaction**		AH(aq) + $H_2O(l)$ = ... + ...			
	État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (en mol)			
Ligne 2	État initial	0				
Ligne 3	En cours de transformation	x				
Ligne 4	État final	x_f				
Ligne 5	État maximal	x_{max}				