Exercice III. CHAUFFERETTE CHIMIQUE (4 points)
Bac S Métropole rattrapage 09/2011

La neige tombe, les mains commencent à s'engourdir et le refuge est encore loin. Le randonneur sort alors de son sac à dos une pochette en plastique, remplie d'un liquide transparent et appuie sur un petit disque métallique placé à l'intérieur : le liquide commence à se solidifier tout en dégageant une douce chaleur.
Ce dispositif nommé chaufferette chimique est constitué d'une enveloppe souple de plastique qui contient une solution aqueuse d'acétate de sodium à 20 % en masse minimum. La solidification s'amorce à partir du disque, localement la solution s'échauffe. L'énergie qu'il a fallu fournir au matériau pour le faire fondre est restituée [...]. Après utilisation, on peut régénérer la chaufferette en faisant fondre le solide obtenu par chauffage. On laisse alors le matériau doucement refroidir...

Extrait de l'article « Idées de physique »
Pour la Science (2008)

Après l'étude d'une solution d'éthanoate de sodium (ou acétate de sodium), on se propose de vérifier par un titrage pH-métrique que la solution contenue dans une chaufferette chimique est une solution saturée en éthanoate de sodium.

Données :
- produit ionique de l'eau : $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$ à 25°C ;
- masse molaire de l'éthanoate de sodium : M (CH_3COONa) = 82,0 g.mol^{-1} ;
- la solubilité notée s d'une espèce chimique exprimée en g.L^{-1} est la masse maximale de cette espèce que l'on peut dissoudre dans un litre de solution à une température donnée ;
- solubilité de l'éthanoate de sodium dans l'eau à 25°C : s = 365 g.L^{-1} soit 4,5 mol.L^{-1}.

Les deux parties sont indépendantes.

1. Étude d'une solution aqueuse d'éthanoate de sodium

L'éthanoate de sodium CH_3COONa est un solide blanc. En solution aqueuse, l'éthanoate de sodium donne entre autres l'ion éthanoate CH_3COO^-.

1.1. Pourquoi l'ion éthanoate est-il une base selon Brönsted ? En déduire le couple acido-basique correspondant.
1.2. Lorsqu'on introduit dans un bécher un volume V = 100 mL d'une solution S d'éthanoate de sodium dont la quantité de matière en soluté apporté est $n = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol, le pH mesuré de cette solution S est égal à 8,9.
L'équation de la réaction chimique entre l'ion éthanoate CH_3COO^- et l'eau est :

$$CH_3COO^-(aq) + H_2O(\ell) = CH_3COOH(aq) + HO^-(aq)$$

1.2.1. Construire le tableau d'avancement de cette réaction en utilisant la quantité de matière n et l'avancement x de la réaction.
1.2.2. Calculer la concentration à l'équilibre $[H_3O^+]_{éq}$ en ions oxonium H_3O^+ dans la solution. En déduire la valeur de la concentration en ions hydroxyde à l'équilibre $[HO^-]_{éq}$ à la température de 25°C.
1.2.3. Pour la solution préparée, calculer l'avancement à l'équilibre $x_{éq}$.
1.2.4. Définir le taux d'avancement τ à l'équilibre. Calculer sa valeur. La transformation est-elle totale ?

2. Titrage de la solution d'éthanoate de sodium contenue dans une chaufferette chimique

Une chaufferette chimique contient une solution aqueuse S_0 d'éthanoate de sodium ($Na^+ + CH_3COO^-$). La solution a un volume V_0 = 100 mL et une masse m = 130 g.
La solution S_0 contenue dans la chaufferette chimique étant trop concentrée pour être dosée directement au laboratoire, on prépare une solution S_1 en diluant 100 fois le contenu de la chaufferette chimique.

2.1. Titrage de la solution S_1
Pour déterminer la concentration molaire C_0 en éthanoate de sodium apporté dans une chaufferette chimique, on place dans un bécher un volume V_1 = 25,0 mL de solution S_1 à titrer.

On réalise un titrage par pH-métrie par une solution d'acide chlorhydrique ($H_3O^+ + C\ell^-$) de concentration $C_A = 2{,}0 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1}. On note V_A le volume de la solution d'acide chlorhydrique versé.
L'équation de la réaction chimique support du titrage s'écrit :

$$CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq) = CH_3COOH(aq) + H_2O(\ell)$$

On obtient les courbes de la figure 5 ci-dessous :

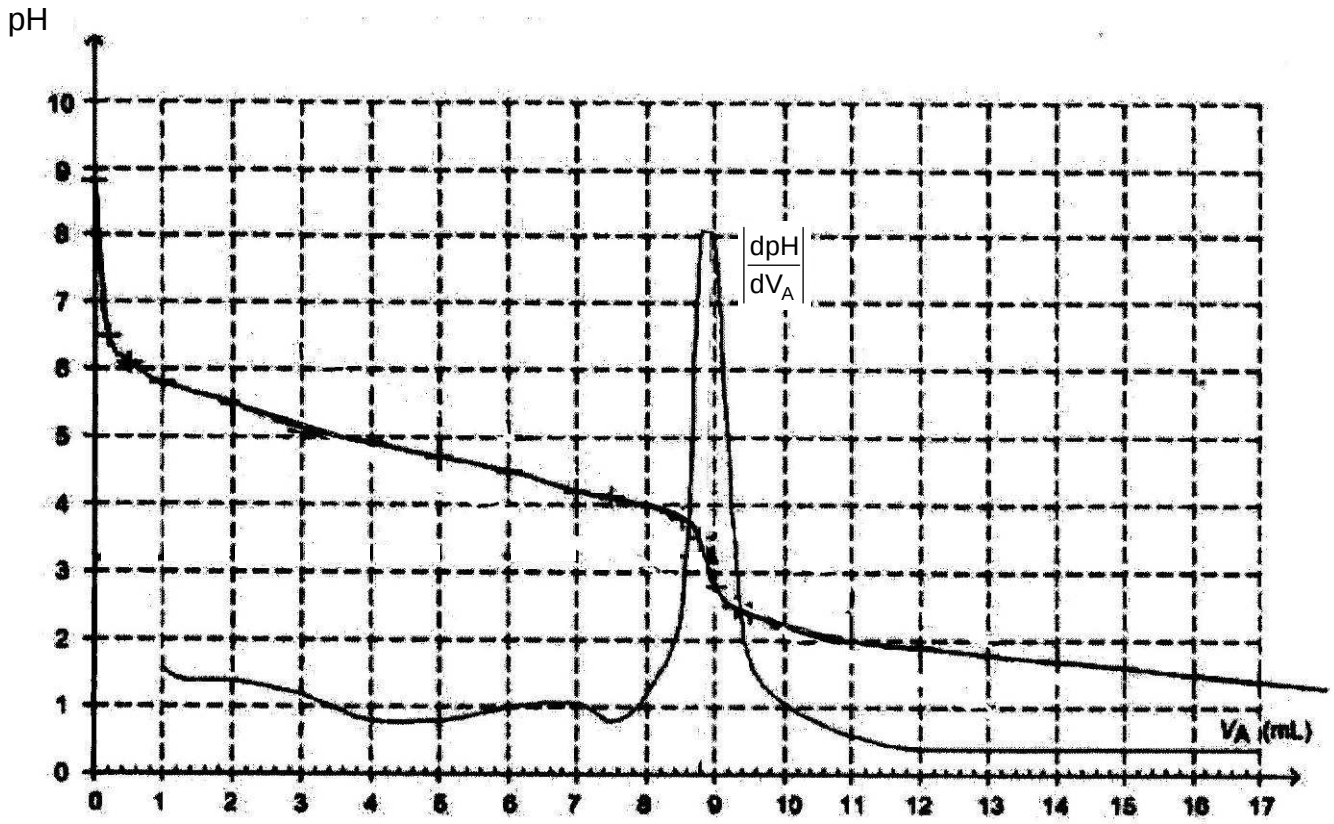


Figure 5. Courbes pH = f(V_A) et $\left|\frac{dpH}{dV_A}\right|$ = f(V_A)

2.1.1. Schématiser et légender le dispositif de titrage.
2.1.2. Après avoir défini l'équivalence, écrire la relation entre la quantité de matière d'ions éthanoate $n_i(CH_3COO^-)$ présente initialement dans le bécher et la quantité de matière d'ions oxonium $n_E(H_3O^+)$, qui permet d'atteindre cette équivalence. On pourra éventuellement s'aider d'un tableau d'avancement.
2.1.3. Déterminer le volume à l'équivalence V_E en expliquant la méthode utilisée.
2.1.4. Calculer la concentration C_1 en ions éthanoate de la solution dosée.

2.2. Saturation de la solution d'éthanoate de sodium contenue dans la chaufferette chimique
2.2.1. Calculer la concentration C_0 en éthanoate de sodium apporté dans la solution contenue dans la chaufferette. La solution d'éthanoate de sodium contenue dans la chaufferette est-elle saturée ?
2.2.2. Calculer la masse d'éthanoate de sodium dans la chaufferette.
2.2.3. La solution aqueuse de masse 130 g contenue dans la chaufferette est-elle au moins à 20% en masse d'éthanoate de sodium comme l'indique le texte introductif ?