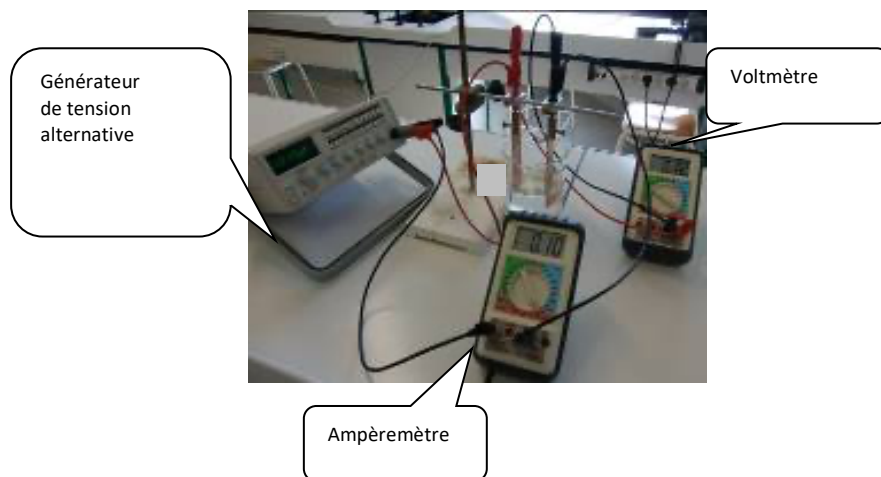


## Chapitre 3

# Conductimétrie - Exercices

### EXERCICE 1 : VRAI OU FAUX ?

On réalise le montage électrique suivant :



1. La conductance peut se calculer à l'aide de la relation  $G = \frac{U_{eff}}{I_{eff}}$
2. La relation entre la conductance  $G$  et la résistance  $R$  d'une solution est  $R \times G = 1$
3. La relation entre la conductance  $G$  et la conductivité  $\sigma$  d'une solution s'écrit :  $G = \sigma \cdot \frac{S}{L}$
4. Dans la relation  $\sigma = \sum_i \lambda_i \cdot [X_i]$ , les conductivités molaires ioniques  $\lambda_i$  s'expriment en mol/L.

### EXERCICE 2 : QCS

A partir du montage électrique de l'exercice 1, on fait varier certains paramètres :

1. On augmente légèrement la tension du générateur :
  - a. La résistance de la solution augmente, l'intensité du courant reste constante.
  - b. La conductance de la solution augmente, l'intensité du courant ne varie pas.
  - c. La résistance et la conductance de la solution restent constantes.
2. On écarte les plaques de la cellule conductimétrique :
  - a. La conductivité de la solution augmente.
  - b. La conductance de la solution diminue.
  - c. La conductance de la solution reste constante.
3. On ajoute de l'eau distillée à la solution :
  - a. La concentration des ions augmente.
  - b. La conductivité de la solution augmente.
  - c. La conductance de la solution diminue.

4. On augmente la température :
- La concentration des ions augmente.
  - La conductivité de la solution diminue.
  - La conductance de la solution augmente.

### EXERCICE 3 : Mesures et incertitudes

#### DOCUMENT 1 : Gamme de mesure et précision d'un conductimètre

Calibres : 2 mS.cm<sup>-1</sup> et 20 mS.cm<sup>-1</sup>

Gamme de mesure :

0 à 1,999 mS.cm<sup>-1</sup> ; résolution 0,001 mS.cm<sup>-1</sup> ;

2 à 19,99 mS.cm<sup>-1</sup> ; résolution 0,01 mS.cm<sup>-1</sup>

Précision donnée par le fabricant :

$U_{fab} = 1 \% \text{ de la valeur du calibre} + 2 \text{ unités de résolution}$

#### DOCUMENT 2 : Estimation de l'incertitude élargie pour un taux de confiance de 95%

$$U(\sigma) = 2 \times \frac{U_{fab}}{\sqrt{3}}$$

La mesure de la conductivité d'une solution électrolytique conduit à la valeur  $\sigma_{lue} = 0,145 \text{ mS/cm}$ . En vous aidant des différents documents :

- Déterminer le calibre sur lequel a été effectuée la mesure
- Ecrire la valeur de la conductivité de la solution sous la forme :  $\sigma_{solution} = \sigma_{lue} \pm U(\sigma)$

### EXERCICE 4 : Demandez le corrigé !

**Consigne** : Lire l'énoncé et les questions puis l'extrait de la copie annotée d'un élève.

Rédiger un corrigé détaillé de l'exercice

**Énoncé** : on dispose d'une solution aqueuse de chlorure de potassium de concentration molaire  $c = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$ .

- Écrire l'équation de la réaction de dissolution du chlorure de potassium dans l'eau.
- Calculer la valeur de la conductivité  $\sigma$  de la solution aqueuse de chlorure de potassium.
- Calculer la valeur de la conductance  $G$  de la solution aqueuse de chlorure de potassium sachant que la cellule conductimétrique utilisée a été conçue avec deux plaques métalliques de surface immergée  $S = 1,0 \text{ cm}^2$  et séparées par une distance  $L = 1,0 \text{ cm}$ .

**Données** :  $\lambda(\text{Cl}^-_{(aq)}) = 7,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\lambda(\text{K}^+_{(aq)}) = 7,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{mol}^{-1}$

Extrait de la copie annotée d'un élève :



Incomplet

$$2) \quad \kappa = (\lambda_{\text{K}^+} + \lambda_{\text{Cl}^-}) \times c$$

$$\kappa = (7,4 \times 10^{-3} + 7,6 \times 10^{-3}) \times 8,0 \times 10^{-4}$$

$$\kappa = 1,2 \times 10^{-6} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$$

erreur d'unité sur c  
de  $\kappa$

$$3) \quad G = \kappa \frac{l}{S} \rightarrow \text{revoir l'expression de } G \text{ en fonction de } \kappa$$

$$G = 1,2 \times 10^{-6} \times \frac{1,00 \cdot 10^{-2}}{1,00 \times 10^{-4}}$$

$$G = 1,2 \times 10^{-4} \, \Omega \quad \text{erreur d'unité}$$

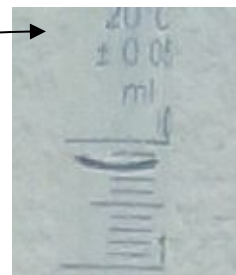
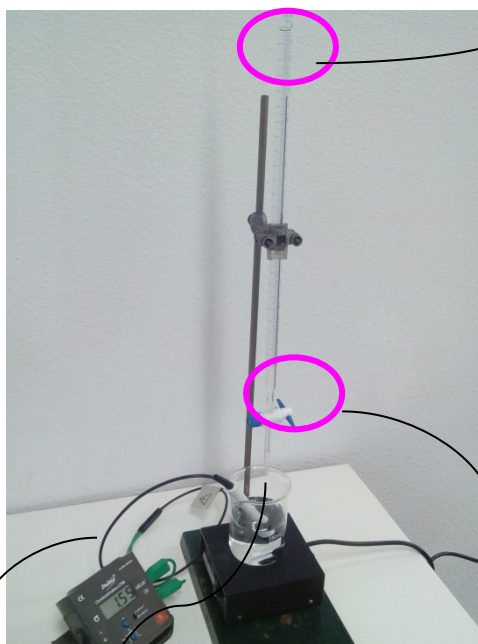
Revoir le cours et rédiger les réponses.

**EXERCICE 5 : Evaluation par compétences**

Lors d'une séance d'activités expérimentales en CDD, l'enseignant a relevé les comptes-rendus des groupes 1 et 2. Afin d'évaluer la compétence « réaliser », il étudie les photographies des montages réalisés par les élèves avant de débiter le titrage.

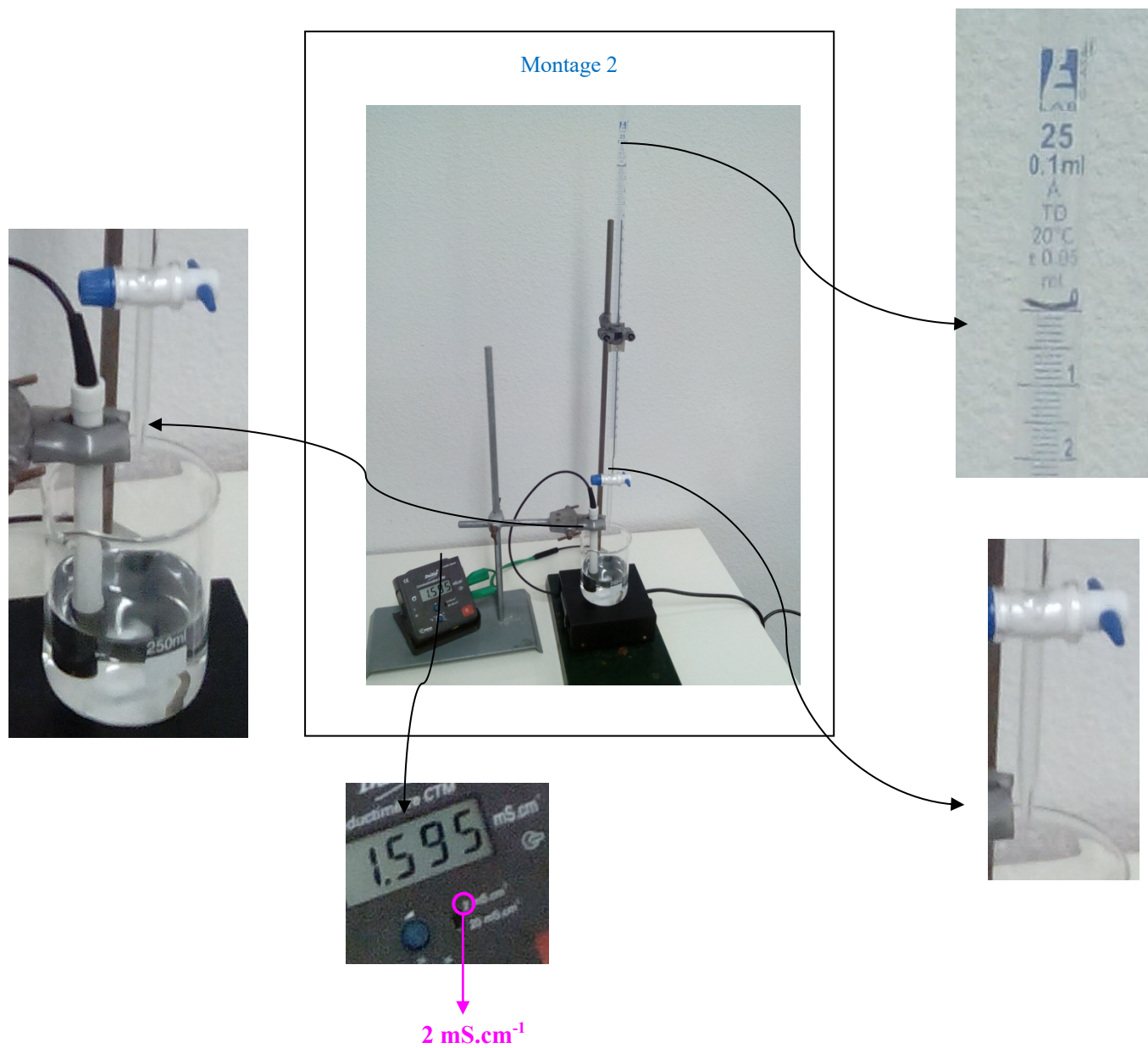
**Pour le groupe 1**

Montage 1



20 mS.cm<sup>-1</sup>

## Pour le groupe 2



1. En observant attentivement les images correspondant aux montages 1 et 2 et en les comparant, déterminer les 4 critères évalués par l'enseignant à partir de ces images.
2. Compléter la grille d'observation en annexe et attribuer un niveau d'acquisition à chacun des groupes 1 et 2 en vous aidant de la grille d'évaluation.

**ANNEXE**  
**Grille d'observation**

| Critères évalués                                       | Groupe 1                                                                                                                                                                | Groupe 2                                                                            |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                        |                                                                                                                                                                         |                                                                                     |
| <b>Préparation de la burette</b>                       |                                                                                                                                                                         |                                                                                     |
| Rinçage et remplissage                                 |                                                                                        |    |
|                                                        |                                                                                        |    |
|                                                        |                                                                                        |    |
| <b>Conductimètre et dosage</b>                         |                                                                                                                                                                         |                                                                                     |
| Rinçage de la cellule conductimétrique                 |                                                                                        |    |
|                                                        |                                                                                        |    |
|                                                        |                                                                                        |    |
| Lecture de la conductivité à l'instant demandé         |                                                                                        |    |
| Agencement correct de la burette au dessus du bécher   |                                                                                      |  |
| Lecture correcte du volume versé                       |                                                                                      |  |
| Agitation du mélange                                   |                                                                                      |  |
| <b>Organisation de la paillasse</b><br><b>Sécurité</b> |                                                                                                                                                                         |                                                                                     |
| Zone de travail bien dégagée                           |                                                                                      |  |
| Flacons rebouchés                                      |                                                                                      |  |
| Rangement de la paillasse                              |                                                                                      |  |
| Port de la blouse, cheveux attachés                    |   |  |

**Grille d'évaluation**

| Critères retenus                            | Niveau d'acquisition de la compétence |
|---------------------------------------------|---------------------------------------|
| Ils apparaissent dans leur (quasi) totalité | <b>A</b>                              |
| Ils apparaissent partiellement              | <b>B</b>                              |
| Ils apparaissent de manière insuffisante    | <b>C</b>                              |
| Ils ne sont pas présents                    | <b>D</b>                              |

## EXERCICE 6 : Contrôle qualité

Un technicien de laboratoire effectue des contrôles sur la qualité d'additifs alimentaires. Il opère pour ce faire par titrage conductimétrique.

Il réalise deux titrages :

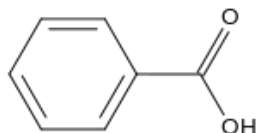
- Solution aqueuse d'acide benzoïque par une solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$ )
- Solution aqueuse de chlorure sodium par une solution de nitrate d'argent ( $\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$ )

Les courbes a et b, **en annexe**, ont été obtenues après exploitation des titrages 1 et 2.

Le technicien a oublié de noter les titres de chacune des courbes a et b.

À l'aide des documents suivants, vous attribuerez à chaque titrage la courbe correspondante. Vous expliquerez votre choix en étudiant les variations de la conductivité au cours du dosage. Pour étayer votre argumentation, vous pourrez utiliser un tableau afin de noter l'évolution des quantités de matière des ions dans le mélange avant l'équivalence et après l'équivalence.

### DOCUMENT 1: L'acide benzoïque



L'acide benzoïque est [...] naturellement présent dans la propolis [...] et dans les canneberges [...], il est [...] utilisé comme conservateur (E 210) dans certains aliments tels que les jus de fruits.

(D'après Sujet Bac Nouvelle Calédonie 2008)

### DOCUMENT 2 : Le chlorure de sodium



Le chlorure de sodium est un composé chimique ionique, sa formule en solution aqueuse est ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ ).

On l'appelle plus communément sel de table ou sel de cuisine, ou tout simplement sel dans le langage courant. [...] Cet exhausteur de goût, plus ou moins raffiné, est utilisé depuis des temps immémoriaux pour l'assaisonnement, la préservation et la conservation des aliments.

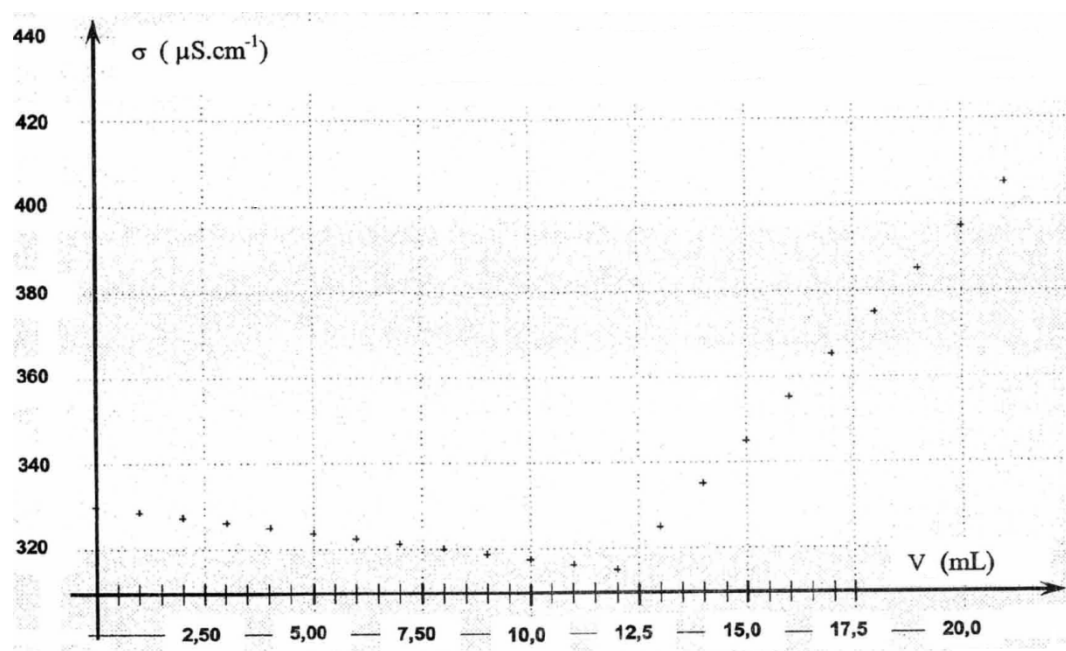
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Chlorure\\_de\\_sodium](https://fr.wikipedia.org/wiki/Chlorure_de_sodium)

### DOCUMENT 3 : Réactions supports de titrage

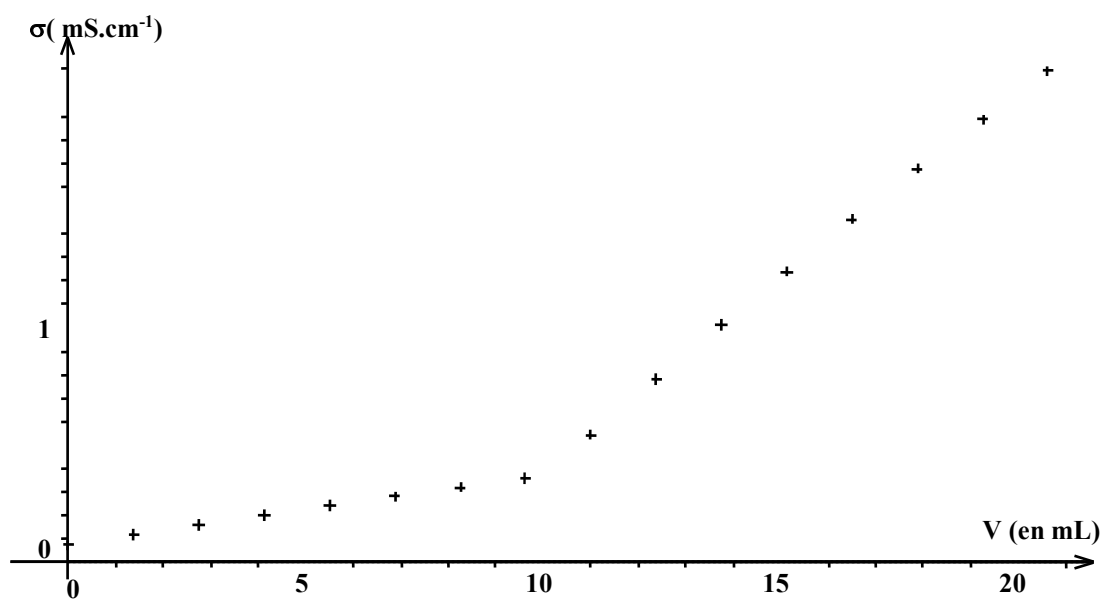
- Titrage 1 :  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$
- Titrage 2 :  $\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{AgCl}_{(\text{s})}$

### DOCUMENT 4 : Conductivités molaires ioniques à 25°C

- $\lambda(\text{Cl}^-_{(\text{aq})}) = 76,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $\lambda(\text{NO}_3^-_{(\text{aq})}) = 71,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $\lambda(\text{Ag}^+_{(\text{aq})}) = 61,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $\lambda(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-_{(\text{aq})}) = 32,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{mol}^{-1}$



*Courbe a*  $\sigma = f(V)$



*Courbe b*  $\sigma = f(V)$

ANNEXE : Courbes a et b obtenues à l'issue des titrages

## EXERCICE 7 : Suivi conductimétrique et incertitudes

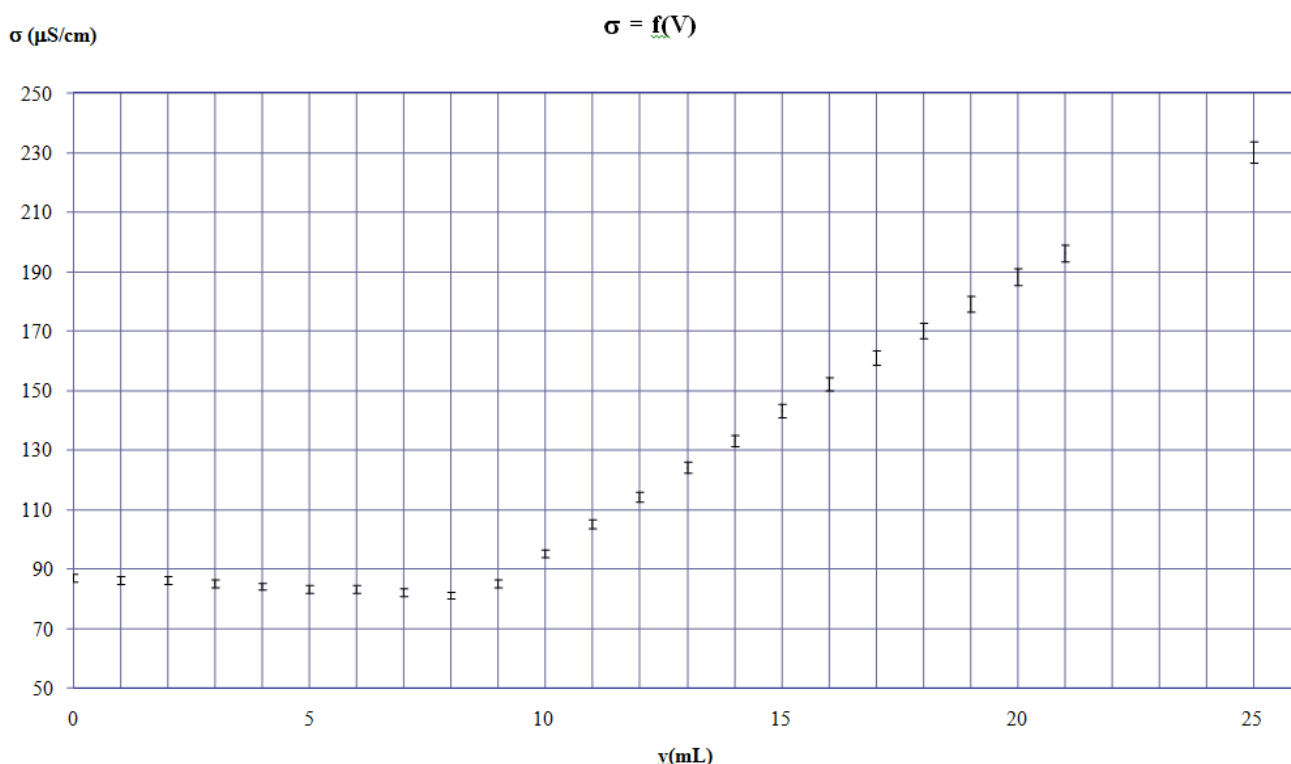
La courbe en annexe a été obtenue par titrage d'une solution de chlorure de sodium à l'aide d'une solution de nitrate d'argent. Le titrage a été réalisé dans les conditions suivantes :

- volume de solution titrée :  $V_0 = 10,0 \text{ mL}$  ;
- concentration massique de la solution titrée :  $c_{m0} \approx 1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  ;
- concentration molaire de la solution titrante :  $c_1 = 2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ;
- 200 mL d'eau ont été ajoutés au réactif titré.

Les barres d'incertitudes qui apparaissent verticalement sur le graphe ci-dessous sont centrées sur les valeurs expérimentales. Leur amplitude est liée à l'incertitude sur la mesure effectuée. Le centre correspond à la valeur lue.

1. Quelles sont les sources d'incertitudes sur la mesure de la conductivité  $\sigma$  de la solution en fonction du volume  $V$  de solution titrante au cours du dosage ?
2. Comment déterminer la valeur du volume équivalent  $V_{\text{eq}}$  à partir de la courbe ci-dessous ?
3. La réaction support du titrage est  $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$   
En déduire la valeur de concentration molaire  $C$  de la solution titrée lorsque  $V_{\text{eq}} = 8,50 \text{ mL}$ .
4. Calculer la valeur de la concentration massique  $C_{\text{mexp}}$  de la solution titrée et la comparer à  $c_{m0}$ . Conclure.

Donnée :  $M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$



**EXERCICE 8 : CONDUCTIVITÉ D'UNE SOLUTION**

**Données :** conductivités ioniques molaires à 25°C :

$$\lambda(\text{Na}^+) = 5,01 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1} \quad \lambda(\text{K}^+) = 7,35 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1} \quad \lambda(\text{Cl}^-) = 7,63 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$$

Au début d'une séance de laboratoire de chimie, Ingrid découvre sur sa paillasse un bécher contenant une solution incolore  $S_0$ , abandonné par des élèves peu soignés du groupe précédent. Ne sachant pas s'il s'agit d'une solution dangereuse pour l'environnement, elle hésite à la jeter dans l'évier... Arthur vient alors à son secours : la solution doit être une des trois solutions contenues dans les bouteilles étiquetées, que les élèves doivent utiliser au cours du TP :

- $S_1$  : solution de cyclohexane (molécule de formule brute  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ), de concentration  $c_1 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$
- $S_2$  : solution aqueuse de chlorure de sodium ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$ ,  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ ), de concentration  $c_2 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$
- $S_3$  : solution aqueuse de chlorure de potassium ( $\text{K}^+_{(\text{aq})}$ ,  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ ), de concentration  $c_3 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$

Arthur suggère de découvrir la composition de la solution inconnue, en déterminant sa conductivité et en la comparant à celle des solutions étiquetées.

1. Schématiser le montage expérimental que doivent réaliser les élèves pour déterminer la conductance  $G$  de la solution  $S_0$ .
2. En imposant une tension  $U = 2,0 \text{ V}$  aux bornes de la cellule conductimétrique, Ingrid mesure un courant  $I = 24 \text{ mA}$ .
  - a. La solution est-elle conductrice ? Peut-on éliminer une des solutions étiquetées ?
  - b. Calculer la valeur de la conductance de la portion de solution  $S_0$  comprise entre les électrodes.
3. La constante de la cellule conductimétrique utilisée est indiquée par le fabricant :  
 $k_{\text{cel}} = 17,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ .
  - a. Déterminer la valeur de la conductivité  $\sigma_0$  de la solution.
  - b. Pourquoi préfère-t-on utiliser la grandeur « conductivité  $\sigma_0$  » plutôt que la grandeur « conductance  $G$  » de la solution ?
4. Calculer en utilisant les données de l'énoncé les conductivités théoriques  $\sigma_2$  et  $\sigma_3$  des solutions  $S_2$  et  $S_3$ .

Le problème d'Ingrid est-il résolu ?

5. Arthur suggère alors que la solution  $S_0$  soit un mélange de  $V_2 = 50 \text{ mL}$  de  $S_2$  et de  $V_3 = 50 \text{ mL}$  de  $S_3$ .
  - a. Montrer que dans ce cas  $[\text{Na}^+_{(\text{aq})}] = [\text{K}^+_{(\text{aq})}] = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  et que  $[\text{Cl}^-_{(\text{aq})}] = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .
  - b. En déduire la valeur de la conductivité théorique  $\sigma_{2-3}$  de ce mélange et conclure.

**EXERCICE 9 : DÉTERMINATION D'UNE CONSTANTE D'ÉQUILIBRE PAR CONDUCTIMÉTRIE**

**Données :** Couples acide-base :  $\text{HCO}_2\text{H} / \text{HCO}_2^-$   $\text{pK}_{a1} = 3,8$   
 $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} / \text{CH}_3\text{CO}_2^-$   $\text{pK}_{a2} = 4,8$

Conductivités molaires ioniques en  $\text{S.m}^2.\text{mol}^{-1}$  :  $\lambda_{\text{HCO}_2^-} = 5,46.10^{-3}$  ;  $\lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-} = 4,09.10^{-3}$  ;  $\lambda_{\text{Na}^+} = 5,01.10^{-3}$

Une solution aqueuse de volume  $V = 50,0 \text{ mL}$  a été obtenue en apportant  $n_1 = 1,25 \text{ mmol}$  d'acide méthanoïque ( $\text{HCO}_2\text{H}$ ) et  $n_2 = 2,50 \text{ mmol}$  d'éthanoate de sodium ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$ ,  $\text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})}$ ). A l'équilibre, sa conductivité vaut  $\sigma = 0,4865 \text{ S.m}^{-1}$ .

1. Ecrire l'équation de la réaction acide-base qui a lieu.
2. Etablir un tableau d'avancement pour cette réaction.
3. En utilisant la loi de Kohlrausch, exprimer la conductivité  $\sigma$  de la solution à l'équilibre en fonction des conductivités molaires ioniques et des concentrations molaires des espèces ioniques mises en jeu.
4. Déterminer les valeurs des concentrations effectives des espèces chimiques mises en jeu.
5. Déterminer la valeur de la constante d'équilibre  $K$  associée à cette réaction.
6. Peut-on vérifier ce résultat à l'aide des données ?

**EXERCICE 10 : DES IONS DANS L'EAU**

L'eau généralement utilisée pour les travaux pratiques chimie est de l'eau distillée, mais parfois, une eau encore plus « pure » est nécessaire : on l'appelle eau « ultra-pure ».

Cette eau ultra-pure est utilisée principalement dans les domaines du semi-conducteur et dans les industries pharmaceutiques.

Bien que très faible et donc difficile à mesurer, la conductivité de l'eau ultra-pure à  $25^\circ\text{C}$  est égale à  $5,5 \mu\text{S.m}^{-1}$ .

**Données :** Couples acide-base de l'eau :  $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2\text{O}$  et  $\text{H}_2\text{O} / \text{HO}^-$   
Conductivités molaires ioniques (en  $\text{mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$ ) :  $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35$  ;  $\lambda_{\text{HO}^-} = 20$

1. Pourquoi s'attendrait-on à mesurer une conductivité nulle pour l'eau ultra-pure ?
2. A l'aide des couples acide-base, écrire la réaction de l'eau sur elle-même. Comment expliquer la valeur non nulle de la conductivité de l'eau ultra-pure ?
3. En utilisant la loi de Kohlrausch, déterminer les valeurs des concentrations en ions oxonium et en ions hydroxyde dans l'eau ultra-pure.
4. En déduire la valeur du produit ionique de l'eau  $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+]_f \times [\text{HO}^-]_f$