**Fiche de présentation et d’accompagnement**

Terminale - Physique-Chimie

Discipline(s) dominante(s) : Chimie

**Chapitre : Méthodes de suivi d’un titrage**

**Nom de l’activité : TP « Dosage par étalonnage conductimétrique »**

Activité expérimentale

En binôme

2 heures

|  |
| --- |
| Programme officiel |
| Savoir-faire |
| Mesurer une conductance et tracer une courbe d’étalonnage pour déterminer une concentration.Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).Simuler, à l'aide d'un langage de programmation, un processus aléatoire illustrant la détermination de la valeur d'une grandeur avec incertitudes-types composées. |

|  |
| --- |
| Compétences pouvant être évaluées au cours de l’activité |
| [x]  S’approprier | [x]  **Analyser** | [x]  **Réaliser** | [x]  **Valider** | [x]  **Communiquer** |

|  |
| --- |
| Organisation de la séance et remarques : |
| Etude préliminaire sous forme de classe inversée : formulation de la problématique et élaboration du protocole expérimental.Séance expérimentale (2h) : * Etude de la variabilité des grandeurs mesurées et évaluation des incertitudes par la méthode de Monte Carlo (utilisation du langage de programmation : Python).
* Mise en œuvre du protocole expérimentale (sonde conductimétrique et console CAMPUS d’Eurosmart).
* Réponse à la problématique.
 |

**Sérum phy**

*Terminale - Enseignement de spécialité PC*

**TP : Dosage par étalonnage conductimétrique**

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Compétences** | S'**APP**roprier | **ANA**lyser | **REA**liser | **VAL**ider | **COM**muniquer |
| **Coefficient** | **1** | **2** | **3** | **3** | **1** |

**Thème :** Constitution et transformations de la matière.

**Objectifs :**

* *Mesurer une conductance et tracer une courbe d’étalonnage pour déterminer une concentration.*
* *Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).*
* *Simuler, à l'aide d'un langage de programmation, un processus aléatoire illustrant la détermination de la valeur d'une grandeur avec incertitudes-types composées.*

|  |
| --- |
| **LE CONTEXTE** |

*Axel souffre d’une conjonctivite. Le médecin lui prescrit du sérum physiologique pour effectuer des lavages oculaires. En fouillant dans son armoire à pharmacie, Axel trouve un flacon de sérum physiologique sur lequel figure une date de péremption : 08/2019.*

***Ce sérum est-il encore efficace ?***

|  |
| --- |
| **DOCUMENTS MIS A DISPOSITION** |

|  |
| --- |
| **Document 1 : Le sérum physiologique****SERUM PHYSIOLOGIQUE***Hygiène nasale et ophtalmologique quotidienne*Solution de chlorure de sodium à 0,9% fabriquée en conditions stériles30 unidoses de 5 mLLe sérum physiologique est une solution pharmaceutique utilisée pour nettoyer les yeux, le nez … Elle contient de l’eau et du chlorure de sodium. Le pourcentage en masse de chlorure de sodium $(Na^{+}, Cl^{-})$ est indiqué sur chaque flacon : $0,9 \%$ c’est-à-dire que $100 g $de sérum physiologique contiennent $0,9 g$ de chlorure de sodium. *Données :* $M\left(NaCl\right)= 58,44 g.mol ^{-1}; ρ\_{sérum}= 1,00 g.mL^{-1}.$ |

|  |  |
| --- | --- |
| **Document 2 : Concentrations massique et molaire d’un soluté dans un solvant**La concentration massique $C\_{m} $d’un soluté en solution (en $g.L^{-1}$) est liée à sa concentration molaire $C $(en $mol.L^{-1}$) et à sa masse molaire $M$(en $g.mol^{-1}$) par la relation :

|  |
| --- |
| $$C\_{m} = M×C$$ |

 |

|  |
| --- |
| **Document 3 : Dosage par étalonnage conductimétrique**Le **dosage par étalonnage** est une méthode qui repose sur l'utilisation de **solutions étalons** (de différentes concentrations connues) et d’un conductimètre. En reportant sur un graphique les valeurs mesurées de $σ$ en fonction des valeurs de la concentration, $σ=f\left(C\right)$ et en modélisant ces résultats par une relation mathématique adéquate on obtient **une courbe d’étalonnage.** La courbe d’étalonnage ainsi obtenue permet de déterminer avec précision la **concentration inconnue** d’une solution à partir de la valeur de la conductivité mesurée pour cette solution. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Document 4 : Conductivité et loi de Kohlrausch** La conductivité $σ$ d’une solution ionique traduit sa capacité à conduire le courant électrique. Elle s’exprime en Siemens par mètre ($S.m^{–1}$). 𝜎 dépend de la nature et de la concentration des ions présents.**Loi de Kohlrausch**Pour des solutions suffisamment diluées la conductivité **𝜎** d’une solution, s’écrit : $σ=\sum\_{}^{}λ\_{i}\left[X\_{i}\right]$ $[X\_{i}]$ *concentration en* $mol.m^{-3}$ *de chaque ion* $X\_{i} $*et* $λ\_{i}$ *conductivité molaire de l’ion* $X\_{i} $*en* $S.m^{2}.mol^{-1}$*.* *Exemple :* *Dissolution de chlorure de sodium dans de l’eau :* $NaCl\_{(s)} \rightarrow Na\_{(aq)}^{+} + Cl\_{(aq)}^{-}$$σ = λ\_{Na^{+}}.[Na^{+}] +λ\_{Cl^{-}}.[Cl^{-}] = C\_{NaCl} ×(λ\_{Na^{+}}+ λ\_{Cl^{-}})$*, avec* $[Na^{+}] = [Cl^{-}] = C\_{NaCl}$. *Cette expression fait apparaître une proportionnalité entre la conductivité* $σ$ *et la concentration* $C\_{NaCl} $*notée plus simplement :*

|  |
| --- |
| $$σ = k×C\_{NaCl}$$ |

 |

|  |
| --- |
| **Document 5 : Utilisation d’un conductimètre** Lorsque l’on utilise un conductimètre, il faut respecter certaines règles : * Laver la cellule de conductimétrie avec de l’eau distillée et essuyer la cellule
* Mesurer les conductivités des solutions par ordre croissant des concentrations
 |

|  |
| --- |
| **Document 6 : Matériel*** Bécher de $150 mL$ et fiole jaugée à $50 mL$
* Pipettes jaugées à $5, 10 et 20 mL$
* Solution mère $S\_{0}$ de chlorure de sodium de concentration$C\_{0}$
* Sonde conductimétrique et console CAMPUS
* Ordinateur équipé du logiciel LatisPro et de l’éditeur de script Edupython
 |

**CLASSE INVERSEE :**

|  |
| --- |
| **Etude préliminaire** *(à réaliser à la maison, en amont de la séance)* |

1. Faire émerger la problématique. **APP**

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

1. En vous appuyant sur les documents mis à disposition, élaborer un protocole expérimental pour répondre à la problématique. **ANA** *Indication : La solution commerciale étant trop concentrée, le contrôle qualité sera réalisé sur une solution de* s*érum physiologique diluée 20 fois.*

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

**SEANCE EXPERIMENTALE EN CLASSE :**

|  |
| --- |
| **Etude de la variabilité des grandeurs mesurées et évaluation des incertitudes**  |

|  |
| --- |
| **Document 7 : Méthode de Monte-Carlo**On dispose d’une solution mère $S\_{0} $de chlorure de sodium préparée par dissolution d’une masse $m=584 mg $de $NaCl\_{(s)} (M=58,44 g.mol^{-1})$ dans une fiole jaugée de volume $V\_{0}=500,00 mL$.$$C\_{0}=\frac{m}{M×V\_{0}}$$On cherche à évaluer l'incertitude-type de $C\_{0}$. La méthode de Monte-Carlo permet d'étudier la variabilité de $C\_{0}$ sans utiliser la relation de propagation des incertitudes. Cette variabilité est expliquée par différentes incertitudes qui s’accumulent tout au long du protocole : incertitudes de la pesée, de la masse molaire et de la fiole jaugée dans le cadre de la dissolution réalisée. On prendra :* Pesée : $u(m) = 1 mg$
* Masse molaire : $u(M) = 0,01 g.mol^{-1}$
* Fiole jaugée : $u(V\_{0}) = 0,00025 L$

Un jeu de données $(m, M, V\_{0})$ est tiré au sort (tirage avec écarts-types connus selon une loi normale) pour calculer $C\_{0}$. La procédure est répétée 100000 fois. On calcule la moyenne et l’écarts-types $u(C\_{0})$.*Source : Méthode présentée dans les travaux du GRIESP « Mesure et incertitudes » publiés en 2019*[*https://cache.media.eduscol.education.fr/file/2019-Mesure\_incertitudes/60/1/GRIESP\_Tle\_Beer\_Lambert\_Monte\_Carlo\_1207601.pdf*](https://cache.media.eduscol.education.fr/file/2019-Mesure_incertitudes/60/1/GRIESP_Tle_Beer_Lambert_Monte_Carlo_1207601.pdf) |

|  |
| --- |
| **Document 8 : Extrait du programme « Cf.py » à compléter** |

1. Ouvrir le programme « *Co.py* » qui permet de calculer **la** **valeur moyenne** et **l’incertitude-type** de la concentration molaire de $S\_{0}$ par la méthode de Monte-Carlo. Exécuter le programme. A partir de l’affichage de la console exprimer $C\_{0}$ et $u(C\_{0})$ en conservant le bon nombre de décimales. **REA**

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

1. Selon la même méthode on peut déterminer la concentration moyenne et l’incertitude-type pour chaque solution de la gamme étalon. Ouvrir le programme « *Cf.py* » dont un extrait apparait dans le **document 8**. A l’aide du programme compléter le tableau ci-dessous (excepté la dernière ligne). **REA**

*Attention : Exécuter le programme autant de fois qu’il y a de solutions filles en prenant soin de compléter au préalable les pointillés (****lignes 28, 31, 32, 33, 36 et 37*** *du script).*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Solution étalon*** | ***S1*** | ***S2*** | ***S3*** | ***S4*** | ***S5*** |
| *Facteur de dilution :*$$f=\frac{V\_{fille}}{V\_{mère}}$$ |  |  |  |  |  |
| *Vmère (mL)* | *10* | *15* | *20* | *30* | *40* |
| *Vfille (mL)* | *50* | *50* | *50* | *50* | *50* |
| *Cfille (mol.L-1)* |  |  |  |  |  |
| *u(Cfille) (mol.L-1)* |  |  |  |  |  |
| *σ (mS.cm-1)* |  |  |  |  |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | APPEL n°1 |  |
| 🖐 | Appeler le professeur pour lui présenter votre travailou en cas de difficulté | 🖐 |

|  |
| --- |
| **Mise en œuvre du protocole expérimental**  |

1. Mettre en œuvre le protocole expérimental. Compléter la dernière ligne du tableau et relever l’équation du modèle constituant la courbe d’étalonnage $σ=f(C)$. **REA**

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

*La méthode de Monte-Carlo permet également de déterminer l’incertitude-type portant sur le coefficient directeur et l’ordonnée à l’origine de la droite modélisée et d’en déduire si « 0 » est compatible avec l’ordonnée à l’origine.*

|  |
| --- |
| ***Démarche :***1. *Evaluation des incertitudes-type (de type B) :* $u(m)$*,* $u(M)$*,* $u(V\_{0})$*,* $u(V\_{fille})$*,* $u(V\_{mère})$ *et* $u(σ)$*.*
2. *Prise au hasard d’un jeu de données pour* $m, M,V\_{0}, V\_{fille}, V\_{mère} et σ$*.*
3. *Régression linéaire liée à ce jeu de données.*
4. *Répétition de cette procédure 100 000 fois pour obtenir la moyenne et l'écart-type de la pente et de l’ordonnée à l’origine.*
 |

1. Ouvrir le programme « *RegLin.py* ». Compléter la **ligne 26** du script en indiquant les valeurs de $σ$ mesurées pour la gamme de solutions étalons. Exécuter le programme. Exprimer la pente, l’ordonnée à l’origine et les incertitudes-types. La valeur « 0 » est-elle compatible avec l’ordonnée à l’origine ? La loi de Kohlrausch est-elle vérifiée ? **VAL**

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | APPEL n°2 |  |
| 🖐 | Appeler le professeur pour lui présenter vos résultatsou en cas de difficulté | 🖐 |

|  |
| --- |
| **Réponse à la problématique**  |

1. Mesurer la conductivité de l’échantillon de sérum physiologique dilué, $σ\_{dilué}. $Par report de point, déterminer graphiquement la concentration molaire de l’échantillon de sérum physiologique, celle-ci est notée $C\_{dilué}$. **REA**

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

*La méthode de Monte-Carlo nous permet à ce stade d’évaluer la moyenne et l’incertitude-type de la concentration massique en* $NaCl$ *du sérum physiologique* $(C\_{m,exp}$ *et* $u(C\_{m,exp}))$*.*

|  |
| --- |
| ***Démarche :***1. *Pour chacune des 100 000 droites de régression issues de données aléatoires, il est possible d’effectuer un report de point : on obtient un jeu de 100 000 données pour* $C\_{dilué}$*.*
2. *Prise au hasard d’un jeu de données pour*$ M,V\_{sérum}$ *(volume de sérum contenu dans une dosette) et* $V\_{fiole}$ *(volume de la fiole utilisée pour diluer 20× le sérum physiologique).*
3. *Détermination de la concentration massique en* $NaCl $*du sérum physiologique.*
4. *Répétition de cette procédure 100 000 fois pour obtenir la moyenne et l'écart-type de* $C\_{m,exp}$*.*
 |

1. Ouvrir le programme « *ReportPoint.py* ». Compléter les **lignes 27 et 30** du script en indiquant les valeurs de $σ$ mesurées pour la gamme de solutions étalons ainsi que $σ\_{dilué}$ et $u(σ\_{dilué})$ déterminées pour l’échantillon. Exécuter le programme. Exprimer $C\_{m,exp}$ et $u(C\_{m,exp})$. **VAL**

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

1. Exprimer la concentration massique $C\_{m,att}$ (en *g.L-1*) du sérum physiologique et répondre au questionnement initial. **APP, VAL**

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………….

|  |
| --- |
| **Eléments de correction** |

1. **Problématique**

Quelle est la concentration massique en $NaCl$ du sérum « périmé » ?

1. **Protocole expérimental**
	* *A partir d’une solution mère de* $NaCl$ *de concentration connue, on réalise par dilution une gamme de solution filles étalons.*
	* *A l’aide d’une sonde conductimétrique et du logiciel LatisPro, on mesure la conductivité de chaque solution étalon.*
	* *On trace la courbe d’étalonnage* $σ = f(C)$ *en modélisant les résultats expérimentaux par une fonction affine.*
	* *On mesure la conductivité de la solution diluée de sérum commercial.*
	* *A l’aide de l’équation de la droite d’étalonnage, on détermine la concentration molaire* $C\_{dilué} $*de cette solution. On en déduit la valeur de la concentration molaire en* $NaCl$ *du sérum :* $C\_{exp} = 20×C\_{dilué}$*.*
	* *Enfin la concentration massique :* $C\_{m,exp}= M\_{NaCl}×C\_{exp} (en g.L^{-1})$*.*
2. Affichage de la console :



*Calcul de Co : 0.01998631074606434 mol/L*

*Moyenne des Co : 0.019986559837822895 mol/L*

*Incertitude-type u(Co) : 3.59357921933388e-05 mol/L*

On retiendra :

 $C\_{0}=1,999×10^{-2} mol.L^{-1} $

 $u\left(C\_{0}\right)=0,004×10^{-2} mol.L^{-1}$

1. Tableau complété à l’aide du programme « Cf.py » (excepté la dernière ligne) :

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  ***Solution étalon*** | ***S1*** | ***S2*** | ***S3*** | ***S4*** | ***S5*** |
| *Facteur de dilution :*$$f=\frac{V\_{fille}}{V\_{mère}}$$ | *5* | *3,33* | *2,5* | *1,67* | *1,25* |
| *Vmère (mL)* | *10* | *15* | *20* | *30* | *40* |
| *Vfille (mL)* | *50* | *50* | *50* | *50* | *50* |
| *Cfille (mol.L-1)* | *4,00 × 10-3* | *6,00 × 10-3* | *7,99 × 10-3* | *1,199 × 10-2* | *1,599 × 10-2* |
| *u(Cfille) (mol.L-1)* | *0,02 × 10-3* | *0,03 × 10-3* | *0,03 × 10-3* | *0,004 × 10-2* | *0,005 × 10-2* |
| *σ (mS.cm-1)* | *0,2908* | *0,6421* | *0,8906* | *1,399* | *1,845* |

1. **Courbe d’étalonnage**$σ=f\left(C\right)$**, représentation graphique et équation du modèle**

Régression linéaire : $σ (en S.cm^{-1})=0,128×C\_{f}(en mol.L^{-1})-1,594×10^{-4}$.

On remarque que les abscisses des points sont bien réparties (pas d’amas) et que les points expérimentaux sont alignés. L’ajustement effectué permet d’obtenir la pente et l’ordonnée à l’origine de la droite de régression.

1. **Moyenne et incertitude-type de la pente et de l’ordonnée à l’origine par la méthode de Monte-Carlo**

*Remarque : la variabilité de la pente et de l’ordonnée à l’origine est expliquée par différentes incertitudes qui s’accumulent tout au long du protocole : incertitudes de la pesée, de la masse molaire et de la fiole jaugée pour la dissolution ; incertitudes sur les pipettes jaugées et la seconde fiole jaugée pour la préparation de la gamme étalon ; incertitude du conductimètre pour la mesure de la conductivité.*

Résultat (déduit de l’affichage de la console) :

$Pente = 128 mS.L.mol^{-1}.cm^{-1} et u(Pente) = 3 mS.L.mol^{-1}.cm^{-1}$.

$$Ordonnée à l’origine = -0,16 mS.cm^{-1} et u(Ordonnée à l’origine) = 0,02 mS.cm^{-1}$$

 « 0 » est compatible avec l’ordonnée à l’origine à 8 incertitude-type près. On peut considérer que la loi de Kohlrausch est vérifiée.

1. **Report de point graphiquement**

La conductivité de l’échantillon vaut : $σ\_{dilué}=0,7681 mS.cm^{-1}$. Par report de ce point graphiquement, on détermine sa concentration : $C\_{dilué}=7,223×10^{-3} mol.L^{-1}$.

1. **Concentration massique en** $NaCl $**du sérum physiologique (méthode de Monte-Carlo)**



Résultat : $C\_{m,exp} = 8,5 g.L^{-1}$

$et u(C\_{m,exp}) = 0,3 g.L^{-1}$.

1. **Réponse au questionnement initial**

Le sérum physiologique présente une concentration attendue en $NaCl$de $0,9 g$ pour $100 g$ (soit $100 mL$) soit une concentration massique théorique : $C\_{m,att} = 9 g.L^{-1}$.

**La valeur expérimentale s’écarte de moins de 2 incertitudes-type de la valeur attendue. Ces deux valeurs sont donc conformes, le sérum physiologique est encore efficace !**

|  |
| --- |
| **Grille d’évaluation par compétences** |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | oui | bof | non | Evaluation des compétences |
| **APP** | **Je sais m’approprier les informations issues des documents** | A B C D |
| Je sais formuler une problématique.  |  |  |  |
| Je sais exprimer la concentration massique en *NaCl* du sérum commercial.  |  |  |  |
| **ANA** | **Je sais élaborer un protocole expérimental** | A B C D |
| Je sais élaborer un protocole expérimental pour répondre à une problématique. |  |  |  |
| **REA** | **Je sais réaliser des mesures et évaluer des incertitudes** | A B C D |
| Je sais exécuter un programme python et exprimer *C0* et *u(C0)* avec le bon nombre de décimales. |  |  |  |
| Je sais déterminer les valeurs de *Cf*et de *u(Cf)* pour chaque solution étalon par la méthode de Monte-Carlo. |  |  |  |
| Je sais préparer une gamme de solutions filles par dilution d’une solution mère de concentration connue.  |  |  |  |
| Je sais construire une courbe d’étalonnage en modélisant des données expérimentales issues de mesures de conductivité. |  |  |  |
| Je sais déterminer graphiquement, la concentration molaire en *NaCl* d’un échantillon.  |  |  |  |
| **VAL** | **Je sais valider des résultats expérimentaux** | A B C D |
| Je sais vérifier si la valeur « 0 » est compatible avec l’ordonnée à l’origine en utilisant la méthode de Monte-Carlo. |  |  |  |
| Je sais utiliser la méthode de Monte-Carlo pour exprimer $C\_{m,exp} et u(C\_{m,exp})$ |  |  |  |
| Je sais répondre au questionnement initial. |  |  |  |
| **COM** | **Je sais communiquer à l’écrit** | A B C D |
| Je sais rédiger de façon claire et utiliser un vocabulaire scientifique précis et adapté. |  |  |  |