

3 Pollution au plomb à Paris

Le 15 avril 2019, un incendie se déclare dans la charpente de la cathédrale Notre-Dame de Paris et transforme rapidement l'édifice pluricentenaire en un immense brasier. Malgré la chute de la flèche et l'effondrement de la toiture de la nef, les pompiers finissent par maîtriser le feu. Au total, ce sont plusieurs centaines de tonnes de plomb qui sont parties en fumée, entraînant un potentiel risque d'intoxication. Une partie des particules est retombée au sol. Des taux de plomb extrêmement élevés ont alors été mesurés sur le parvis de la cathédrale.



Doc. 1 Méthode de mesure du plomb

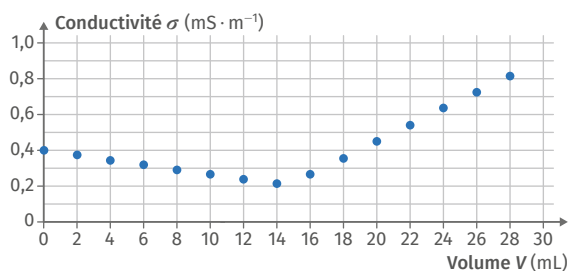
Une mesure du plomb sur une surface telle que le parvis de la cathédrale Notre-Dame de Paris doit suivre un protocole particulier. Une lingette spécifique (dénuée de toute trace de plomb) est utilisée pour essuyer une surface de $0,10 \text{ m}^2$ (un carré d'environ 32 cm par 32 cm) et est ensuite déposée dans un flacon hermétique et soigneusement étiqueté.

Une fois arrivé au laboratoire, par un procédé chimique, le contenu du flacon est passé en solution. Ainsi, il reste à doser la solution obtenue contenant des ions plomb (II) $\text{Pb}^{2+}(\text{aq})$. Cette dernière est appelée S_1 et a un volume $V_1 = 1000,0 \pm 0,3 \text{ mL}$.

Ce dosage peut être réalisé par suivi conductimétrique ou colorimétrique. Le premier utilise de l'iodure de potassium ($\text{K}^+(\text{aq}) ; \text{I}^-(\text{aq})$) comme réactif titrant avec une concentration $c_2 = (2,0 \pm 0,1) \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en soluté apporté. La réaction support du dosage est une réaction d'oxydoréduction.

Doc. 2 Dosage conductimétrique

Le suivi de la conductivité du milieu réactionnel en fonction du volume d'iodure de potassium versé V donne la courbe suivante.



Données

- **Couples d'oxydoréduction :** $\text{Pb}^{2+}(\text{aq})/\text{Pb}(\text{s})$ et $\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-(\text{aq})$
- **Conductivités molaires ioniques :** $\lambda(\text{K}^+) = 7,35 \text{ mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$, $\lambda(\text{Pb}^{2+}) = 14,2 \text{ mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$ et $\lambda(\text{I}^-) = 7,68 \text{ mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$
- **Masse molaire du plomb :** $M(\text{Pb}) = 207,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- **Dimensions du parvis de Notre-Dame de Paris :** $L = 135 \text{ m}$ et $l = 100 \text{ m}$.

Questions

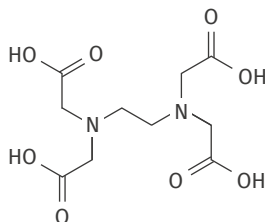
- Dosage par suivi conductimétrique**
 - Établir l'équation support du dosage.
 - À l'aide des valeurs de conductivités molaires ioniques, justifier l'allure du graphique du **doc. 2**.
 - Déterminer le volume à l'équivalence V_E en expliquant la méthode utilisée.
 - En déduire la concentration en masse γ_1 en ion $\text{Pb}^{2+}(\text{aq})$ dans la solution en ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).
 - En déduire la masse de plomb m trouvée sur le parvis de Notre-Dame de Paris.

Coups de pouce

- Faire le bilan des espèces chimiques et identifier les oxydants et les réducteurs.
- Écrire la loi de Kohlrausch avant et après l'équivalence.
- Interpréter le changement de pente dans le graphique du suivi conductimétrique.
- Préciser la relation vérifiée par les quantités de matière à l'équivalence, lorsque la pente varie brusquement.
- Calculer la superficie de ce parvis.

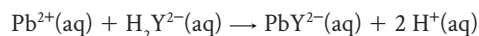
**Doc. 3 Dosage colorimétrique**

La même solution que précédemment S_1 est dosée par colorimétrie. Le dosage colorimétrique des ions plomb (II) $Pb^{2+}(aq)$ se fait en utilisant un sel disodique d'éthylènediaminotétraacétique (EDTA) de concentration $c_3 = (2,0 \pm 0,1) \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Pour simplifier, l'EDTA est notée $H_4Y(aq)$ (la formule topologique est donnée ci-dessous).

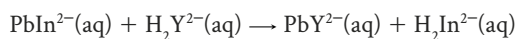


Ainsi, le réactif titrant a pour formule $Na_2H_2Y(aq)$.

L'équation support du dosage est la réaction suivante :



Pour repérer l'équivalence, l'orangé de xylénol est utilisé comme indicateur coloré et est noté $H_2In^{2-}(aq)$. Il forme un ion, noté $PbIn^{2-}(aq)$, avec les ions $Pb^{2+}(aq)$. Cependant, ce dernier est moins stable que $PbY^{2-}(aq)$. Ainsi, avant le dosage, un peu d'indicateur coloré est ajouté dans le milieu contenant $Pb^{2+}(aq)$ et il se forme des ions $PbIn^{2-}(aq)$ qui sont roses en solution. Ensuite, les ions $Pb^{2+}(aq)$ n'ayant pas réagi avec l'indicateur coloré sont dosés par l'EDTA selon la réaction écrite plus haut. Lorsque tous les ions $Pb^{2+}(aq)$ en solution ont été dosés, l'ajout d'EDTA entraîne la destruction de l'ion $PbIn^{2-}(aq)$ selon l'équation de réaction suivante :



Comme $H_2In^{2-}(aq)$ est jaune en solution, le milieu réactionnel passe à l'équivalence du rose au jaune.

Questions**2. Dosage colorimétrique**

- 2.1 Identifier sur la formule topologique de l'EDTA les groupes caractéristiques et donner le nom des familles fonctionnelles correspondantes.
- 2.2 L'EDTA possède quatre atomes d'hydrogène susceptibles de s'engager dans une réaction acide-base. En déduire la formule topologique du composé noté H_2Y^{2-} utilisé dans l'équation support du dosage.
- 2.3 Indiquer comment est repérée l'équivalence et justifier que tous les ions $Pb^{2+}(aq)$ sont bien dosés avec cette méthode.
- 2.4 Le volume à l'équivalence est $V_E = 7,2 \text{ mL}$. Déterminer la concentration en ion $Pb^{2+}(aq)$ dans la solution S_1 .

3. Comparaison des deux dosages

L'incertitude sur la concentration c_1 en ion $Pb^{2+}(aq)$ est donnée par la formule suivante :

$$\frac{u(c_1)}{c_1} = \sqrt{\left(\frac{u(c_2)}{c_2}\right)^2 + \left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(V_1)}{V_1}\right)^2}$$

On admet que l'incertitude concernant le repérage de l'équivalence par conductimétrie est de 0,1 mL, tandis que par colorimétrie, celle-ci est de 1 mL.

- 3.1 Déterminer un encadrement de la valeur de la concentration c_1 pour chacune des deux méthodes en précisant la méthode la plus précise.
- 3.2 Dans le dosage conductimétrique, préciser quel autre paramètre peut avoir un impact sur la mesure de la concentration.

**Coups de pouce**

- 2.1 Lister les groupes caractéristiques et les familles fonctionnelles connus.
- 2.2 Repérer les atomes d'hydrogène liés à un atome très électronégatif.
- 2.3 Repérer dans le texte toutes les formes adoptées par l'ion $Pb^{2+}(aq)$ et les processus qui conduisent à leur formation et leur disparition au cours du protocole et du titrage.
3. Écrire l'égalité entre les quantités de matière des réactifs au moment de l'équivalence.
- 3.1 Calculer les deux incertitudes en tenant compte de la variation de l'incertitude sur la mesure de l'équivalence et comparer les deux résultats.
- 3.2 Identifier un paramètre pouvant influencer la mesure obtenue.

Numérique

Connectez-vous sur lilivrescolaire.fr pour retrouver plus de sujets Bac. LLS.fr/PCTP133