



Données utiles pour tout l'exercice :

➤ Masses molaires atomiques

potassium K : $39,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; manganèse Mn : $54,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; oxygène O : $16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

➤ Masses molaires moléculaires

chlorure de fer FeCl_2 : $127 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;

permanganate de potassium KMnO_4 : $158 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

➤ Couples oxydant-réducteur : $\text{MnO}_4^-(\text{aq})/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$; $\text{MnO}_2(\text{s})/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$

➤ Couleurs de certaines espèces chimiques :

L'ion permanganate $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$ est violet, le dioxyde de manganèse $\text{MnO}_2(\text{s})$ est marron, l'ion $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ est vert pâle, pratiquement incolore. Les ions potassium $\text{K}^+(\text{aq})$ et chlorure $\text{Cl}^-(\text{aq})$ sont incolores.

Questions préalables

Sous forme de cristaux de couleur violette, soluble dans l'eau, le permanganate de potassium est un solide de formule KMnO_4 composé de cations $\text{K}^+(\text{aq})$ et d'anions $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$. [...] En solution diluée le permanganate de potassium est utilisé pour le traitement de l'eau, notamment pour oxyder le fer et le manganèse dans les eaux souterraines.

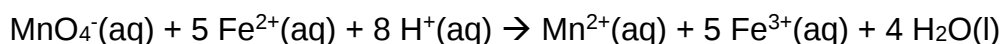
D'après : <http://www.societechimiquedefrance.fr/permanganate-de-potassium>

1. Vérifier par un calcul la valeur de la masse molaire moléculaire du permanganate de potassium de $158 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

2. Vérifier par un calcul qu'une masse $m = 0,25 \text{ g}$ de permanganate de potassium pur contient une quantité de matière $n = 1,6 \text{ mmol}$ de permanganate de potassium.

Réaction support du titrage

L'équation de la réaction support du titrage des ions permanganate par les ions ferreux Fe^{2+} s'écrit :



3. Justifier que pour procéder au titrage, le milieu doit être acidifié.

4. Écrire les couples oxydant-réducteur mis en jeu dans la réaction support du titrage.

5. Écrire les demi-équations électroniques associées à chacun de ces couples.

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :

(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat : (Les numéros figurent sur la convocation.)

N° d'inscription :

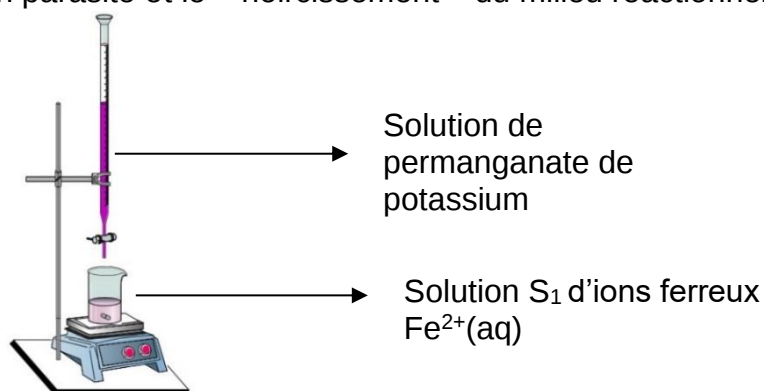
Né(e) le :

 Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

1.1

Montage expérimental

Le technicien s'interroge sur la place des solutions dans le montage expérimental. Bien que la solution de permanganate de potassium soit l'espèce titrée, il décide, après documentation, de la placer dans la partie haute du montage (voir figure ci-dessous) et de placer la solution titrante d'ions ferreux S_1 dans la partie basse. Ce choix est fait, car cela permet d'éviter le contact prolongé entre les ions permanganate $MnO_4^-(aq)$ et les ions manganèse $Mn^{2+}(aq)$ formés, qui engendrerait une réaction parasite et le « noircissement » du milieu réactionnel.



6. Nommer les éléments de verrerie contenant respectivement la solution de permanganate de potassium et la solution d'ions ferreux.

Choix de la concentration de la solution titrante d'ions ferreux

Le technicien s'interroge ensuite sur la concentration de la solution titrante S_1 d'ions ferreux placée dans le bécher. Il choisit de travailler avec un volume $V_1 = 20,0$ mL de cette solution S_1 d'ions ferreux.

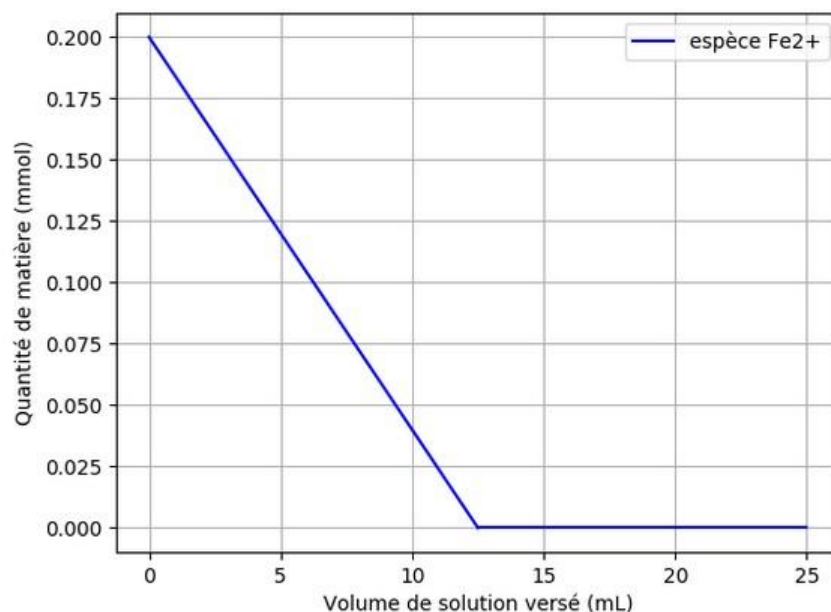
Son objectif est que, dans le cas d'un comprimé de permanganate de potassium non périmé, cette concentration de la solution titrante S_1 d'ions ferreux soit telle que l'équivalence du titrage se produise pour un volume de permanganate versé situé approximativement au milieu de la burette soit 12,5 mL environ.



Il décide de rédiger un programme en langage Python lui permettant de déterminer la concentration de la solution titrante S_1 d'ions ferreux à utiliser, et de suivre l'évolution de la quantité de matière en ions Fe^{2+} dans le bécher en fonction du volume de solution de permanganate de potassium versé.

```
1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3
4 c0=3.2          #concentration (mmol/L) de la solution S0
5 Veq=12.5        #volume (mL) de solution versée à l'équivalence
6 V1=20           #volume initial (mL) de solution titrante S1 dans le bécher
7 c1=5*c0*Veq/V1
8
9
10 V_verse_avt=np.linspace(0,Veq,10)
11 n1_avt=c1*V1*0.001-5*c0*V_verse_avt*0.001 #quantité de matière en ions Fe2+ avant l'équivalence
12
13 V_verse_apres=np.linspace(Veq,25,10)
14 n1_apres=0*V_verse_apres*0.001             #quantité de matière en ions Fe2+ après l'équivalence
15
16 plt.plot(V_verse_avt,n1_avt,color="blue",label='espèce Fe2+')
17 plt.plot(V_verse_apres,n1_apres,color="blue")
18 plt.plot
19 plt.xlabel("Volume de solution versée (mL)")
20 plt.ylabel("Quantité de matière (mmol)")
21
22 plt.legend()
23 plt.grid()
24 plt.show()
```

L'exécution du programme en langage Python permet d'obtenir la courbe suivante :



Modèle CCYC : ©DNE Nom de famille (naissance) : (Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)	
Prénom(s) :	
N° candidat :	
Né(e) le :	/ /
	N° d'inscription :

Liberté • Égalité • Fraternité
 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

1.1

7. Définir l'équivalence d'un titrage.

Le technicien prépare la solution S_0 de permanganate de potassium à titrer en dissolvant un comprimé de permanganate de potassium dans un volume $V_0 = 0,50$ L d'eau distillée.

8. Vérifier par un calcul que, dans le cas d'un comprimé non périmé, la concentration C_0 en ions $MnO_4^-(aq)$ dans cette solution correspond à celle mentionnée en ligne 4 du programme.

La ligne 7 du programme en langage Python code la formule littérale permettant le calcul de la concentration en ions ferreux de la solution S_1 à préparer.

9. Vérifier la formule littérale utilisée en s'aidant de l'équation de la réaction support du titrage.

10. Vérifier que la valeur de la concentration en ions ferreux Fe^{2+} de la solution S_1 à préparer est $C_1 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

11. Ecrire une ligne de code (en ligne 8 par exemple) pour que la valeur de la concentration de la solution S_1 à préparer apparaisse à l'écran lors de l'exécution de son programme.

12. Commenter l'allure de la courbe obtenue à l'issue de l'exécution du programme.

Réalisation du titrage des ions permanganate par les ions ferreux

Le technicien réalise maintenant le titrage d'un comprimé de permanganate de potassium. Il prépare donc un volume $V_0 = 0,50$ L d'une solution aqueuse S_0 en dissolvant un comprimé de permanganate de potassium et il l'acidifie avec quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. Il prépare son montage puis il verse progressivement cette solution dans un volume $V_1 = 20,0$ mL de solution S_1 d'ions ferreux de concentration en ions ferreux $C_1 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

13. Expliquer comment le technicien saura qu'il a atteint l'équivalence.

Il juge que l'équivalence est atteinte lorsqu'il a versé un volume $V_{eq} = 12,8$ mL de solution de permanganate de potassium.

14. Déterminer la masse de permanganate de potassium dans le comprimé utilisé et l'écrire avec le nombre adapté de chiffres significatifs sachant que l'incertitude-type de la mesure de la masse $u(m) = 0,003$ g. Comparer qualitativement ce résultat à la valeur de référence de l'étiquette.



PARTIE B

Lévitation acoustique (10 points)

Inventée dans les années 70 par la NASA pour la manipulation d'échantillons liquides sans contact physique, la lévitation acoustique vise à suspendre des objets dans un milieu en utilisant des ondes sonores, comme s'ils étaient maintenus par des doigts invisibles. Cette technique a des applications intéressantes, par exemple pour l'obtention de nouveaux matériaux pour l'électronique ou pour la synthèse de médicaments.

La lévitation acoustique de deux boules de polystyrène peut être réalisée au laboratoire en utilisant deux émetteurs à ultrasons.

Placés verticalement en vis-à-vis, ils émettent deux ondes ultrasonores de même longueur d'onde dont la superposition génère des zones horizontales de surpression de l'air, appelées « ventres », alternant avec des zones de dépression, appelées « nœuds ».

C'est au niveau de ces « nœuds » que les objets peuvent rester en suspension.

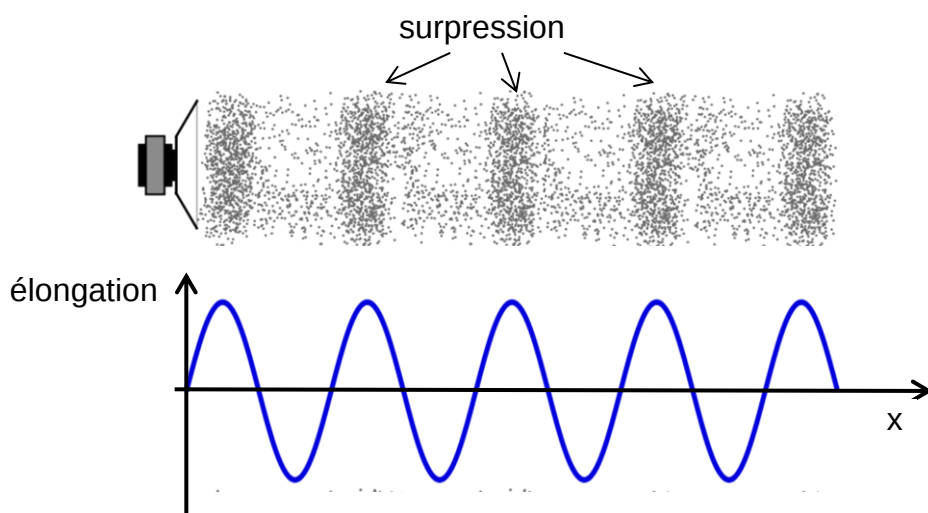


Données :

- extrait de la fiche technique des émetteurs à ultrasons :
 - émetteur à ultrasons 40 kHz ;
 - tension maximale : 50 Vpp ;
 - pression acoustique : > 110 dB @ 10 V – 30 cm ;
 - température d'utilisation : - 20°C à + 70°C ;
 - dimensions : diamètre 10 mm ; hauteur 7 mm ;
- volume d'une sphère de rayon R : $V = \frac{4}{3} \pi R^3$;
- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$;
- célérité du son dans l'air dans les conditions de l'expérience : $c = 343 \text{ m.s}^{-1}$;
- masse volumique du polystyrène expansé : $\rho = 20 \text{ kg.m}^{-3}$.

1. Étude de l'onde ultrasonore émise par un émetteur

Une onde sonore correspond à la propagation dans un milieu matériel, le plus souvent l'air, d'une surpression produite de manière périodique par la vibration d'une membrane de haut-parleur par exemple.



D'après <https://commons.wikimedia.org>

1.1. Proposer deux adjectifs pour caractériser l'onde sonore représentée ci-dessus et préciser la nature de la grandeur physique associée à l'élongation de cette onde.

1.2. Cette onde présente une « périodicité spatiale ».

1.2.1. Expliquer l'expression « périodicité spatiale ».

1.2.2. Recopier l'allure de la courbe représentée ci-dessus, donnant l'élongation en fonction de la distance x à une date t_0 donnée, en précisant la grandeur caractéristique associée à cette périodicité spatiale.

1.2.3. On note T la période temporelle de l'onde sonore. Donner, en justifiant, l'allure de la courbe donnant l'élongation en fonction de la distance x à la date $t_0 + \frac{T}{2}$.

1.3. Pourquoi utilise-t-on le terme « ultrasonore » pour l'onde émise par les émetteurs utilisés pour l'expérience de lévitation acoustique réalisée au laboratoire ?

2. Analyse de l'expérience de lévitation acoustique.

2.1. On peut établir que les nœuds où les billes de polystyrène peuvent léviter sont distants de $\frac{\lambda}{2}$, λ étant la longueur d'onde des ondes ultrasonores utilisées.

2.1.1. En utilisant la photo de l'expérience donnée en début de sujet et les caractéristiques géométriques des émetteurs, estimer la valeur de la longueur d'onde des ondes ultrasonores utilisées.



2.1.2. Rappeler la relation entre longueur d'onde λ , fréquence f et célérité c du son dans l'air.

2.1.3. Le résultat obtenu à la question **2.1.1** est-il compatible avec la valeur de la fréquence des ondes donnée par le constructeur ? Argumenter la réponse.

2.2. Le diamètre d'une bille de polystyrène peut être estimé à 2,5 mm.

2.2.1. Vérifier que la masse m de la bille est de l'ordre de 0,16 mg.

2.2.2. Déterminer la valeur de la force exercée par l'air sur chaque bille.

2.2.3. Dans une approche simplifiée, on cherche à expliquer la lévitation de la bille de polystyrène par l'existence de la force $\vec{F}_A$ exercée sur tout corps immergé dans un fluide de la part de celui-ci, appelée poussée d'Archimède, verticale, dirigée de bas en haut et dont l'expression de la norme F_A est donnée par :

$$F_A = \rho_{\text{fluide}} V g$$

où ρ_{fluide} est la masse volumique du fluide, V le volume du corps immergé et g l'intensité de la pesanteur.

- a) Que peut-on alors dire des masses volumiques de l'air et du polystyrène ?
- b) Critiquer cette approche sachant que la valeur de la masse volumique de l'air à 20 °C est 1,2 kg.m⁻³.